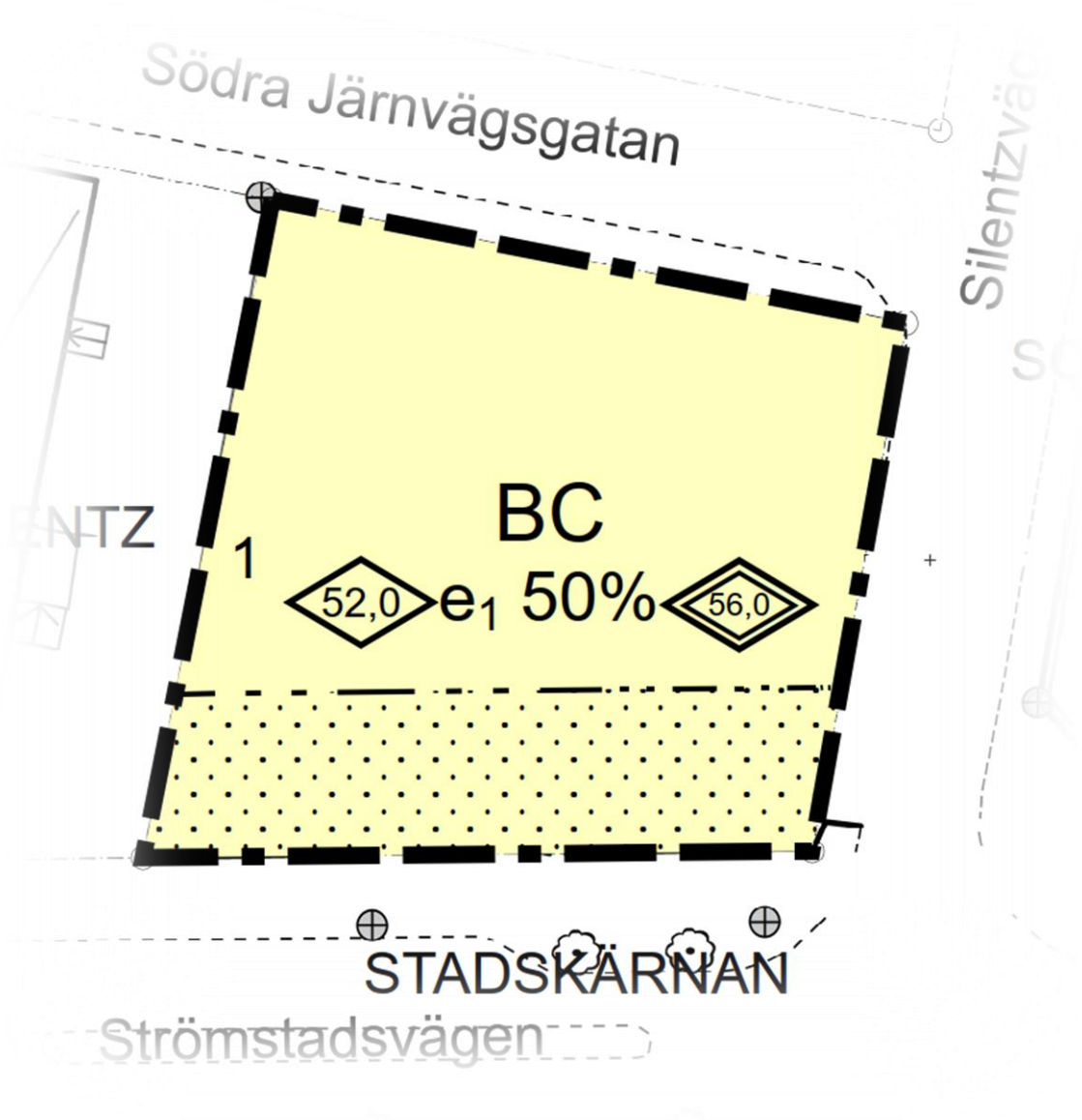


Silentz 1, Uddevalla

Riskutredning transport av farligt gods

Uppdragsnr: 108 42 48 Version: 1.3 Datum: 2024-08-27



Uppdragsgivare: Uddevalla kommun
Uppdragsgivarens kontaktperson: Hampus Segerud
Konsult: Norconsult AB, Theres Svenssons gata 11, 417 55 Göteborg
Uppdragsledare: Johan Hultman
Handläggare: Robert Kallin

1.3	2024-08-27	Mindre justering av skyddsåtgärd ventilation	Robert Kallin	Johan Hultman	Johan Hultman
1.2	2023-09-04	Uppdatererad färdig handling efter Länsstyrelsens synpunkter	Robert Kallin	Johan Hultman	Johan Hultman
1.1	2023-03-07	Uppdatererad färdig handling	Robert Kallin	Johan Hultman	Johan Hultman
1.0	2022-12-22	Färdig handling	Robert Kallin	Johan Hultman	Johan Hultman
0.8	2022-12-20	Interngranskning	Robert Kallin		
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

Uddevalla kommun arbetar med att förtäta centrum och tillskapa fler centralt belägna bostäder. Ett område som undersökts är fastigheten Silentz 1 i centrala Uddevalla. Inom fastigheten planeras två flerbostadshus med totalt 110 lägenheter samt service, parkeringsgarage och ett torg. Norr om fastigheten går Bohusbanan och väg 44. På Bohusbanan sker bland annat transporter till och från Uddevalla hamn som hanterar farligt gods. Väg 44 är inte utpekad som en rekommenderad väg för transport av farligt gods, men enligt uppgifter från Räddningstjänsten förekommer ändå transporter av farligt gods på vägen. Enligt Länsstyrelsens riskpolicy ska riskfrågor beaktas vid fysisk planering inom 150 meter från transportled för farligt gods och därför har denna riskutredning tagits fram.

Den kvantitativa riskanalysen visar att individrisken från både väg 44 och Bohusbanan är på en acceptabel nivå inom hela planområdet. I osäkerhetsanalysen, med 25 % fler transporter, ökar individrisken men ligger fortfarande på acceptabla nivåer inom hela planområdet.

Beräkningarna av samhällsrisken visar att risken ligger i övre delen av det riskområde där alla rimliga skyddsåtgärder, sett ur kostnadsperspektiv och praktisk genomförbarhet, ska vidtas både i ursprungsberäkningen och osäkerhetsanalysen. De dimensionerande olycksscenarierna från både väg och järnväg är molnbrand samt gasexplosion. Med hänsyn till de dimensionerande olyckorna samt de platsspecifika förutsättningarna föreslås följande åtgärder:

- Fasader som vetter mot Bohusbanan och väg 44 ska utformas i minst brandklass EI30, övriga fasader i svårantändligt material.
- Byggnader ska dimensioneras för att fortskridande ras inte inträffar vid en explosion med 2,5 kPa i reflekterat tryck och 737 Pas i reflekterad impulstäthet.
- Utrymning ska vara möjlig bort från Bohusbanan och väg 44.
- Luftintag till byggnadens ventilationssystem ska placeras minst 5 meter över marknivån och riktas bort från väg 44

Med fasadåtgärder med brandklass EI30, svårantändligt material och explosionsskydd så beräknas risknivån sänkas från övre- till mittdelen av ALARP-området. Åtgärderna om utrymningsväg och ventilation är svårkvantifierade och inte med i beräkningen för samhällsrisk efter åtgärd men bedöms ge lägre risknivåer i praktiken. Om skyddsåtgärderna genomförs bedöms risknivåerna vara tolerabla enligt använda riskkriterier.

Uddevalla hamn är utpekad som riksintresse med hänsyn till dess funktion som bulkhamn. Inför Uddevalla kommuns ambition att förtäta centrum så har kommunen identifierat ett behov av att skapa en influensstudie till hamnen. Utifrån influensstudien är den sammanlagda bedömningen att avståndet mellan planområdet Silentz 1 och Uddevalla hamn är tillräckligt långt för att hamnen och dess verksamheter inte ska medföra någon ökning av risknivån.

► Innehåll

1	Inledning	5
2	Risker med transport av farligt gods	6
2.1	Typer av farligt gods	6
2.2	Konsekvenser av en olycka med farligt gods	6
3	Riskbedömning i den fysiska planeringen	8
3.1	Vad är risker?	8
3.2	Bedömningsgrunder för risker vid transport av farligt gods	9
3.3	Riskhantering	11
4	Platsspecifika förutsättningar	14
4.1	Området	14
4.2	Antalet personer närvarande	14
4.3	Väg 44	15
4.4	Bohusbanan	17
4.5	Sannolikhet för olyckor	19
4.6	Verksamheter Uddevalla hamn	19
5	Resultat	21
5.1	Individrisk	21
5.2	Samhällsrisk	22
5.3	Osäkerhetsanalys	23
5.4	Åtgärder	25
6	Diskussion och slutsats	27
7	Referenser	28

Bilaga 1 Riskberäkning för transport av farligt gods på väg

Bilaga 2 Riskberäkning för transport av farligt gods på järnväg

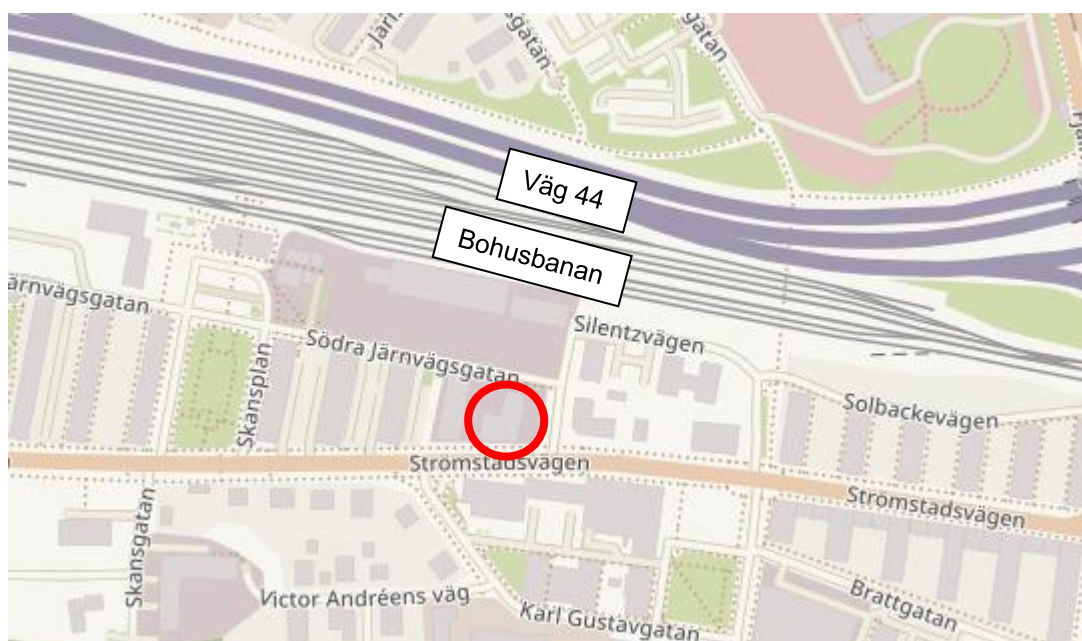
Bilaga 3 Fasadutformning mot explosionslast

1 Inledning

Uddevalla kommun arbetar med att förtäta centrum och tillskapa fler centralt belägna bostäder. Ett område som undersökts är fastigheten Silentz 1 som är beläget mellan Södra Järnvägsgatan, Silentzvägen och Strömstadsvägen i centrala Uddevalla se *figur 1*. Inom fastigheten planeras två flerbostadshus med service och parkeringsgarage samt utveckla den offentliga miljön med ett torg i söder mot Strömstadsvägen. Totalt planeras cirka 110 lägenheter byggas inom området.

Norr om fastigheten går Bohusbanan och väg 44. På Bohusbanan sker bland annat transporter till och från Uddevalla hamn som hanterar farligt gods. Väg 44 är inte utpekad som en rekommenderad väg för transport av farligt gods, men enligt uppgifter från Räddningstjänsten förekommer ändå transporter av farligt gods på vägen.

Enligt Länsstyrelsens riskpolicy (Lst 2006) ska riskfrågor beaktas vid fysisk planering inom 150 meter från transportled för farligt gods och därför har Norconsult fått i uppdrag att genomföra denna riskutredning. En kvantitativ beräkning har genomförts med hjälp av en beräkningsmetod i GIS-miljö och resultatet jämförs med kriterier från rapporten "Värdering av risk" (SRV 1997). Rapporten syftar till att ge bakgrundsinformation om risker med transport av farligt gods, redovisa förutsättningar för beräkningar samt presentera och diskutera resultat från riskberäkningarna.



Figur 1. Översiktsskarta med markerat läge för planområde. Bakgrundskarta: OpenStreetMap.

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

I detta avsnitt följer en allmän beskrivning av de olika sorters farligt gods som transporteras 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 för aktuella klasser beskrivs mer utförligt i *Bilaga 1*.

Klass 1. Explosiva ämnen

En explosion av så kallade massexplosiva ämnen kan ge omkomna upp till cirka 100 meter 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 så kallad 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, så kallad 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 meter.

Klass 3: Brandfarliga vätskor

Om en tank med mycket brandfarlig vätska (exempelvis bensin) skadas rinner bensinen ut och en 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. Om ett utsläpp av brandfarliga vätskor kan rinna ner mot bebyggelsen finns risk för att en brand uppstår i det bebyggda området.

Klass 4: Brandfarliga ämnen såsom svavel, fosfor, 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, svavelsyra.

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

Klass 9: Övriga farliga ämnen och föremål

Denna klass omfattar bland annat miljöfarligt avfall dock inga ämnen som är brandfarliga eller explosiva.

3 Riskbedömning i den fysiska planeringen

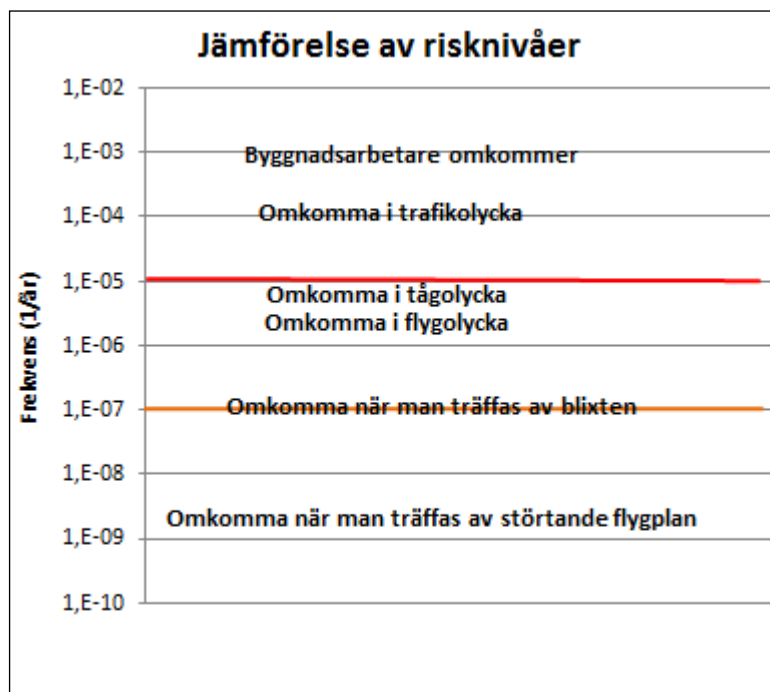
3.1 Vad är risker?

Risker beror på att händelser kan inträffa som har oönskade konsekvenser. Viktiga frågor är: "Hur ofta kan dessa händelser inträffa?" och "Vad är följderna om den händelsen inträffar?". Det handlar om 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 antal gånger det förväntas att en händelse kommer att 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 på 1000 år. Sannolikheten för olyckor med farligt gods är oftast mycket lägre, exempelvis 0,000 001 per år eller en gång på 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, hus och personer. I sådana fall måste det även beaktas hur svår skadan är. Det är enklare, rent utredningsmässigt, att räkna på antalet personer som omkommer. 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 sätts för risknivåer vid transport av farligt gods används oftast antalet omkomna.

Risker finns överallt omkring oss. Några risker och deras sannolikheter anges i figur 2.



Figur 2. Exempel på vilka risknivåer som finns i samhället. De röda och orangea strecken är kriterier för bedömning av risknivåer och förklaras i avsnitt 3.2.

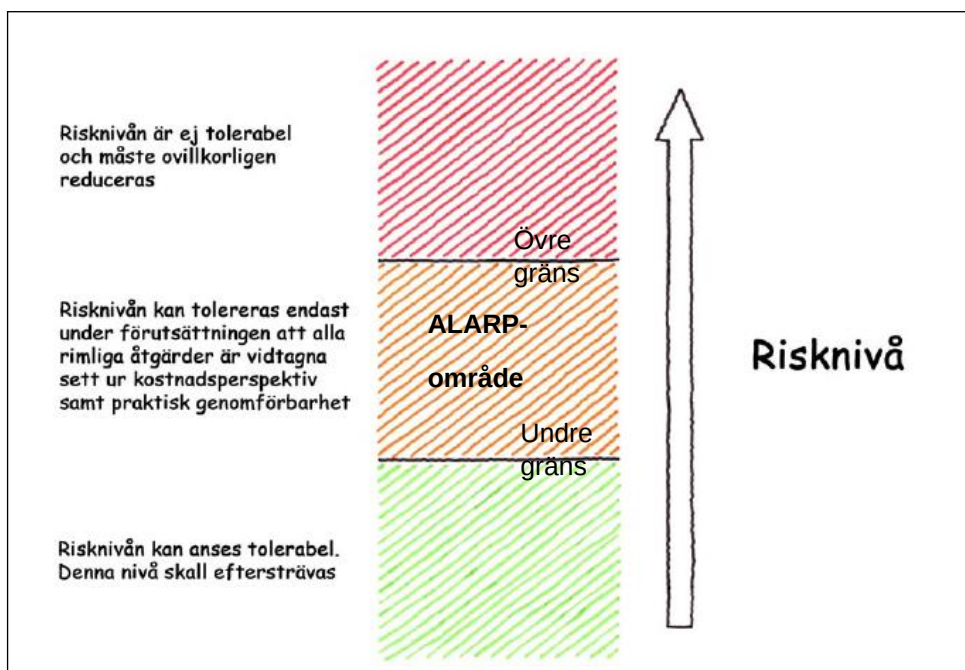
Vid riskutredning för den fysiska planeringen skiljs det på individrisk och samhällsrisk. Individrisken är risken för en person att omkomma i en olycka när han/hon befinner sig på en specifik plats i närheten av en riskkälla. För individrisken antas att personen befinner sig på denna plats under ett 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.

Samhällsrisk är ett mått på hur stora olyckor en riskkälla kan orsaka. Detta beror dels på riskkällans farlighet dels 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 meter från en transportled för farligt gods. Samhällsrisk anges som sannolikheten för olyckor där minst ett visst antal personer omkommer.

3.2 Bedömningsgrunder för risker vid transport av farligt gods

3.2.1 Kvantitativa kriterier för individrisk

I många fall – främst när det inte finns 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 3*. Om den övre gränsen överskrids bedöms att risknivån är så hög att den inte kan tolereras.



Figur 3. Risknivåer och gränserna mellan dem (Rtj Storgöteborg 2004).

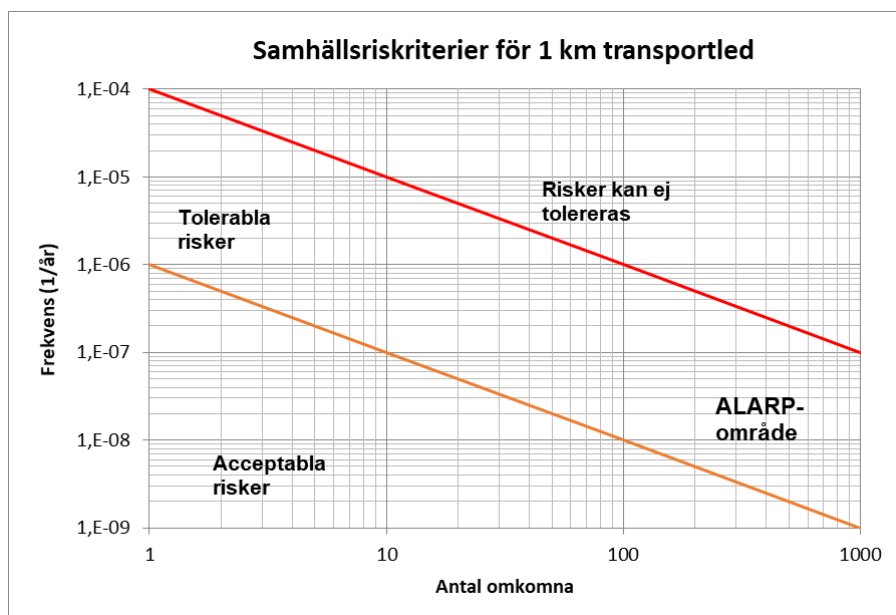
För individrisken ligger den övre gränsen på 1×10^{-5} per år och den undre på 1×10^{-7} per år. Den undre gränsen ligger under risken att omkomma till följd av naturolyckor, vilket innebär att en sådan risknivå inte ger en signifikant påverkan på individens totala risknivå. Om risknivån ligger under 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 risknivån ligger över denna gräns så ska åtgärder vidtas och effekten av dessa åtgärder ska verifieras (Lst 2006).

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

3.2.2 Kvantitativa kriterier för samhällsrisk

Även för samhällsrisk finns det kriterier i ovannämnda rapport. Kriterierna utgår från samhällsriskenivåer för ett område på båda sidor om en sträcka av 1 km längs transportleden för farligt gods, se *figur 4*.

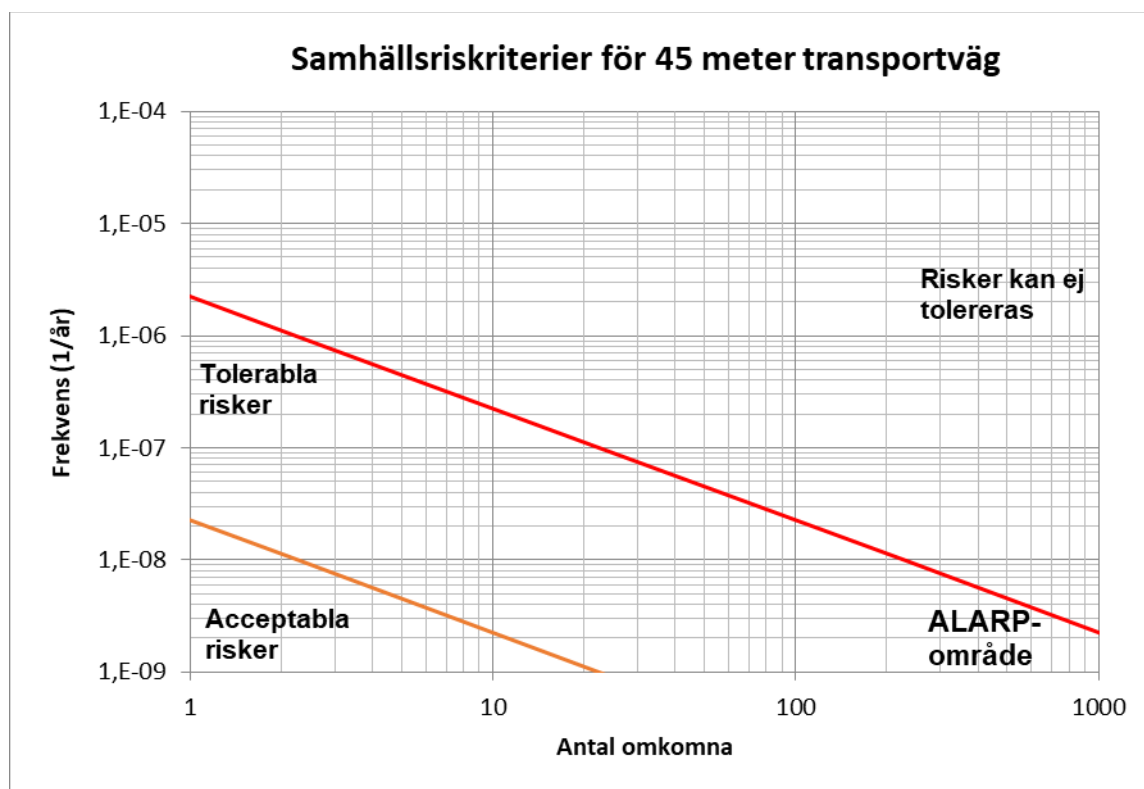


Figur 4. Riskkriterier för dubbelsidig bebyggelse längs 1 km transportled för farligt gods.

Kriterier i *figur 4* 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 mer än 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 ska rimliga skyddsåtgärder vidtas.

Kriterierna ovan gäller för 1 km område längs transportleden. Kriterier för det aktuella området beräknas utifrån områdets längd längs Bohusbanan och väg 44 samt att området ligger på en sida av leden. Omräknade kriterier visas i *figur 5*. Planområdets genomsnittliga längd utmed transportlederna är cirka 45 meter.



Figur 5. Riskkriterier omräknade till 45 meter enkelsidig bebyggelse.

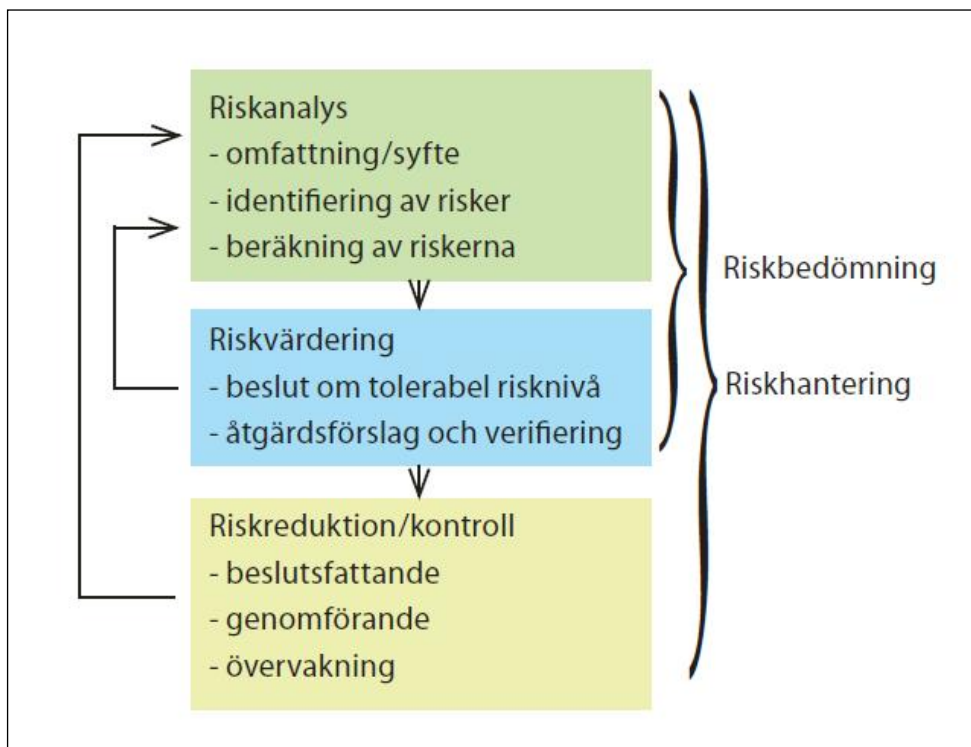
Observera att det endast är riskvärderingskriterierna som är omräknade för att gälla 45 meters enkelsidig bebyggelse. Riskberäkningarna är genomförda genom att plotta olycksscenario med 25 meters avstånd utefter en längre sträcka av transportleden och därmed tas hänsyn till olyckor som sker i randområdet till planområdet (Kallin 2019).

3.3 Riskhantering

3.3.1 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 ska beaktas så tidigt som möjligt i detaljplaneprocessen. Ofta startar detta arbete redan i programsamrådet för detaljplanen för att sedan bli mera detaljerat i plansamrådet. 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 tolerabel risknivå ska dessa om möjligt föras in som planbestämmelser på plankartan. Åtgärder som inte omfattas av detaljplanen bör befästas på annat sätt, till exempel genom avtal.

Riskhanteringsprocessen kan delas upp i tre delar; riskanalys, riskvärdering och riskreduktion/kontroll, se *figur 6* (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 6. Schema över riskhanteringsprocessen (Lst 2006).

I denna rapport genomförs den första delen – riskanalys – samt ges input till den andra delen – riskvärdering genom att riskerna jämförs med kriterier och förslag till åtgärder ges. Själva beslutet om hur riskerna ska 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 risknivåerna underskrider gränsen för det tolerabla.

3.3.2 ALARP-området

ALARP-området är området i riskkriterierna där riskerna är lägre än det som inte kan tolereras men högre än det som kan accepteras utan vidare. ALARP betyder As Low As Reasonably Practicable. På svenska betyder detta att risknivån ska göras så lågt som är praktiskt möjligt när riskerna hamnar i detta område.

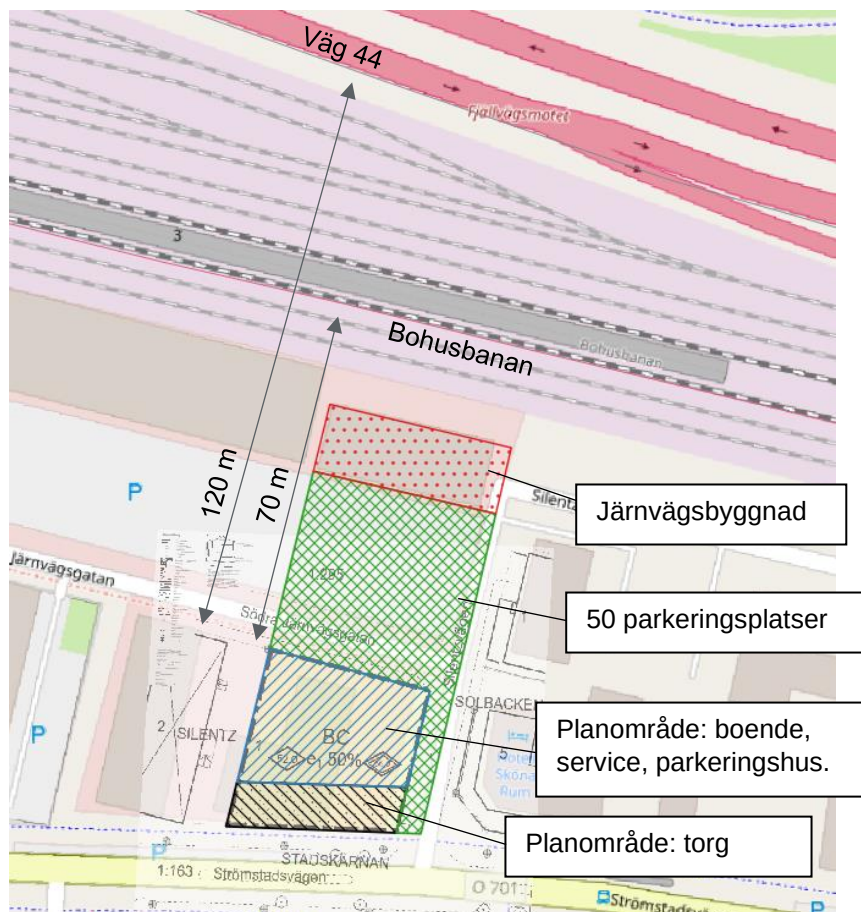
Området spänner över en faktor 100 i risknivåer, de lägsta nivåerna inom området är hundra gånger lägre än de högsta nivåerna. Området är så pass stort beroende på den osäkerhet som alltid finns i riskberäkningarna. Ofta anses att osäkerheten i resultaten av en riskberäkning kan vara så högt som en faktor 10, beroende på alla okända faktorer som ingår. Att ha ett brett område där det finns krav på visst hänsynstagande av riskerna säkerställer att inga risknivåer över det tolerabla släpps igenom utan vidare.

Kraven på skyddsåtgärder inom ALARP-området är att alla rimliga skyddsåtgärder, sett ur kostnadsperspektiv och praktisk genomförbarhet, är vidtagna.

4 Platsspecifika förutsättningar

4.1 Området

Området består idag av en envåningsbyggnad innehållande handel och bilvård samt tillhörande parkering. Den nya detaljplanen syftar till att uppföra cirka 110 lägenheter i form av två flerbostadshus i cirka 16 våningar. Byggnaderna planeras även innehålla service samt parkeringsgarage. Detaljplanen har dessutom som avsikt att utveckla de offentliga miljöerna med ett torg i söder utmed Strömstadsvägen. Planområdets yta är cirka 1 300 m² varav 470 m² får bebyggas. Avståndet till Bohusbanan är cirka 70 meter och avståndet till väg 44 är cirka 120 meter, se figur 7. Mellan planrådet och de två stora transportlederna finns en parkering med cirka 50 parkeringsplatser samt en järnvägsbyggnad. Terrängen i området är relativt plan och ligger på ungefär samma nivå som transportlederna. Detta innebär att brandfarliga vätskor inte rinner in mot bebyggelsen utan stannar kvar i transportledningens närmiljö.



Figur 7. Planområde med ungefärliga avstånd till Bohusbanan och väg 44. Bakgrundskarta: OpenStreetMap.

4.2 Antalet personer närvarande

Antalet boende i de planerade 110 lägenheterna baseras på statistik från statistiska centralbyrån (SCB 2022). Enligt statistiken bor i snitt 1,8 personer per flerbostadshus i Uddevalla kommun. På natten bedöms alla boenden i området vara närvarande. På dagtid antas hälften av dessa vara närvarande. Av dagbefolkningen antas cirka 7 % befinna sig utomhus. Av nattbefolkningen antas cirka 1 % vara utomhus.

I byggnaderna planeras även för service samt parkeringsgarage. Parkeringsgaraget antas tillhöra de personer som bor i byggnaderna och medför att inga tillkommande personer vistas i området. För servicen antas att bottenvåningen i byggnaderna blir handel. Persontätheten för handel baseras på en tidigare utredning (Norconsult 2019:1) där det antas befinna sig i snitt 11 personer per 1 000 m² dagtid och 2,5 personer per 1 000 m² nattid. I beräkningarna har det antagits att den maximalt tillåtna byggytan, 470 m², exploateras samt att hela bottenvåningen blir handelsverksamhet.

För utemiljöerna och det tilltänkta torget i södra delarna av planområdet beror persontätheten mycket på hur området utformas och hur många personer miljön lockar till sig. För att ta höjd för att ytterligare personer vistas i planområdet antas att 10 personer i snitt befinner sig i torgområdet dagtid och 2 personer nattetid.

I riskanalysen ska risken för hela området beräknas vilket medför att även området mellan planområde och transportlederna ska tas med. Antalet personer närvarande vid parkeringsplatserna norr om planområdet baseras på tidigare genomförd riskutredning vid Liseberg i Göteborg (Norconsult 2019:2). Antaganden som gjordes i den riskutredning var följande: parkeringshuset har 1 600 parkeringsplatser, 3 byten sker per parkeringsplats, 4 personer per bil, en total uppehållstid på ca 6 minuter i samband med parkering, 50 % beläggning dagtid och 12 % beläggning nattid. Samma antagande är gjorda i den här riskutredningen men antalet parkeringsplatser är justerade till gällande förutsättningar vid Silentz 1 där cirka 50 parkeringsplatser ligger i området mellan planområde och Bohusbanan. Järnvägsbyggnaden mellan planområde och järnvägen bedöms inte innehålla några personer.

I osäkerhetsanalysen beräknas konsekvenserna av om 25 % fler personer är på plats i området.

Tabell 2. Antal personer närvarande

Område	Personer dagtid	Personer nattid	Osäkerhetsanalys. Personer dagtid	Osäkerhetsanalys. Personer nattid
Bostadsbyggnad med handel	104	200	130	248
Torgyta	10	2	13	3
Parkering	3	1	3	1

4.3 Väg 44

Väg 44 är inte utpekad som rekommenderad väg för transport av farligt gods, men det förekommer ändå transporter av farligt gods på vägen. I en tidigare riskutredning väster om Uddevalla centrum, vid Herrestad, uppgav Räddningstjänsten att det idag transporteras cirka 35 transporter dagligen av brandfarlig vätska (klass 3), 2 transporter dagligen av ammoniumnitrat (klass 5) och 2 större transporter per vecka av explosiva varor (klass 1) (Norconsult 2022).

Vägsträckan förbi planområdet ingår även i MSB:s undersökning från september månad 2006. Enligt MSB:s uppgifter så transporteras cirka 11 900 transporter med farligt gods under hela 2006. Omräknat till år 2040 blir det cirka 21 200 transporter per år förutsatt en ökning av godstrafiken med 78 % (Trafikverket 2022:1).

En ytterligare källa som brukar användas vid riskanalyser av transport av farligt gods är nationellt genomsnitt. Uppgifter från nationell statistik anger att cirka 3,9 % av godstransporter innehåller farligt gods (TRAFA 2019). Antalet tunga fordon på väg 44 har av Trafikverket (2022:2) uppmäts till cirka 2 200 fordon per dygn. Med Trafikverkets trafikuppräkningsstal samt att cirka 3,9 % av transportererna är farligt gods så beräknas antal transporter av farligt gods enligt nationellt genomsnitt vara cirka 45 000 fordon/år 2040. Dessa transporter kan sedan fördelas till de olika ADR-klasserna enligt nationell statistik från TRAFA (2019), se tabell 3.

Av klasserna i *tabell 3* är det ämnen i klasserna 1, 2.1, 2.3, 3 och 5 som kan leda till olyckor med betydande konsekvenser för området och som används i riskberäkningarna. Dessa är därför markerade med fet stil i tabellen.

Tabell 3. Antal förväntade transporter år 2040 med farligt gods på väg 44 förbi planområdet.

Klass	MSB (uppräknat till 2040)	Nationellt genomsnitt (uppräknat till 2040)	Uppgift Räddningstjänsten vid Herrestad väster om planområde (nuläge)	Används i riskberäkningarna (prognosår 2040)
1 Explosiva ämnen	51	120	104	120
2.1 Brandfarliga gaser	5 800	2 100	Ingen uppgift	5 800
2.2 Ej brandfarliga eller giftiga gaser	64	6 900	Ingen uppgift	-
2.3 Giftiga gaser	0	14	Ingen uppgift	10
3 Brandfarliga vätskor	12 000	22 000	12 775	13 000
4 Brandfarliga fasta ämnen	110	1 200	Ingen uppgift	-
5 Oxiderande ämnen	0	1 100	730	1 000
6 Giftiga ämnen m m	94	3 100	Ingen uppgift	-
8 Frätande ämnen	2 300	6 100	Ingen uppgift	-
9 Övriga farliga ämnen	490	2 200	Ingen uppgift	-
Totalt	21 000	45 000		

För klass 1 har nationellt genomsnitt valts eftersom Räddningstjänstens uppgifter är närmre nationellt genomsnitt än MSB och för att ta höjd för eventuell framtida ökning så har nationellt genomsnitt valts. I klass 2.1 har MSB valts eftersom det inte går att utesluta att färre transporter sker. För klass 2.3 och klass 5 har samma tio- eller tusenpotens som för nationellt genomsnitt valts eftersom vägen inte är rekommenderad transportled för transport av farligt gods vilket medför att nationellt genomsnitt troligen är överskattat, men det går samtidigt inte att utesluta att transporter i dessa klasser sker. Räddningstjänsten uppgift för klass 5 indikerar även att 1 000 transporter kan vara rimligt år 2040.

De angivna klasserna 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 och förväntas ge konsekvenser i form av omkomna. 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). 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 stå för högst en tredjedel av den totala mängden. En sammanställning av antal transporter i de kategorier som främst bedöms innebära risker för området finns i *tabell 4*.

För att ta hänsyn till osäkerheten i antalet transporter har en osäkerhetsanalys genomförts med 25 % fler transporter än vad som anges i *tabell 4*.

Tabell 4. Farligt gods på väg 44 som medför betydande risker för området.

Klass och ämnesgrupp	Antal transporter
1.1 Massexplosiva ämnen	12
2.1 Brandfarliga gaser	5 800
2.3 Giftiga gaser	10
3. Mycket brandfarliga vätskor	9 750
5.1 Oxiderande ämnen med explosionsrisk	333

4.3.1 Sannolikhet för olyckor

Sannolikheten för olyckor fås från Trafikverkets handbok "Effektsamband för transportsystemet" (Trafikverket 2020). Risken för olyckor på en statlig väg med en högsta tillåten hastighet på 90 km/h anges till 0,078 olyckor per miljon fordonskilometer och år eller $7,8 \times 10^{-8}$ per fordonskilometer och år.

Andelen singelolyckor på den här typen av väg är cirka 45 % (SRV 1996) vilket innebär att det vid 55 % av olyckorna är minst två fordon inblandade. Om det bortses från olyckor med fler än 2 fordon inblandade, vilket inte påverkar resultatet nämnvärt, så är risken för att ett fordon blir inblandat i en olycka på en 1 km lång sträcka av vägen lika med $7,8 \times 10^{-8} \times (2 - 0,45) \times 1,1 = 1,33 \times 10^{-7}$. I denna beräkning tas även hänsyn till att antal standardaxlar är 1,1.

4.4 Bohusbanan

MSB:s undersökning från 2006 inkluderar även järnväg och enligt undersökningen transporteras bara 360 transporter per år av ämnen i klass 5.1. Men eftersom undersökningen genomfördes under en månad för 18 år sedan ska den inte användas som det enda underlaget för en riskanalys.

För att få en jämförelse har nationell statistik använts. Enligt Trafikverkets basprognos för 2040 kommer 6 godståg per dag trafikera Bohusbanan (Trafikverket 2022:3). Den prognosticerade längden för godstågen är 530 meter vilket innebär att varje tåg består av i snitt 25 godsvagnar. Det innebär att cirka 57 500 godsvagnar förväntas passera planområdet år 2040. För att få en uppfattning om vad detta kan innebära avseende transporter av farligt gods används det nationella genomsnittet för andelen farligt gods av den totala mängden godstransporter. Detta räknas ut med stöd av siffror från TRAFAs som varje år samlar in nationell statistik för godstransporter i Sverige (TRAFAs 2020). Utifrån denna statistik beräknas andelen farligt gods vara cirka 7 % av totala antalet godstransporter. Detta innebär cirka 4 000 tågagnar per år med farligt gods förbi planområdet. Även indelningen av farligt gods i RID-klasser kan göras utifrån TRAFAs statistik, se *tabell 5*.

Det beräknade antalet transporter har även jämförts med en tidigare utredning som Norconsult genomfört utmed Bohusbanan i Ljungskile "Skälläckeröd 1:45 och 1:12" (Norconsult 2016). Enligt den utredningen transporteras 7 300 vagnar med farligt gods på Bohusbanan år 2030.

För att göra en konservativ beräkning så har det maximala antalet vagnar från de tre olika källorna används i riskberäkningarna, se *tabell 5*. I osäkerhetsanalysen analyseras även konsekvenserna med 25 % fler transporter på järnvägen.

En jämförelse har även gjorts för mängder till och från Uddevalla hamn på deras bangård där 76 % av godset är klass 5 och 24 % klass 8 (Tyréns, 2022). Denna siffra kan inte jämföras rakt av med mängderna på

Bohusbanan men ger ändå en indikation på att de flesta transporter sker med ämnen i klass 5. I totala mängder transporterades 90 000 ton av klass 5 till och från Uddevalla hamn under 2008 (Tyréns, 2022) vilket motsvarar 1 800 fullastade vagnar på 50 ton. Uppräknat till år 2040 blir det cirka 3 200 vagnar med klass 5 på bangården. Att använda 5 250 vagnar med klass 5 i riskberäkningarna för Bohusbanan borde således vara ett konservativt antagande.

Av klasserna i *tabell 5* är det ämnen i klasserna 1, 2.1, 2.3, 3 och 5 som kan leda till olyckor med betydande konsekvenser för området och som används i riskberäkningarna. Dessa är därför markerade med fet stil i tabellen.

Tabell 5. Antal förväntade godsvagnar år 2040 med farligt gods på Bohusbanan förbi planområdet.

Klass	MSB (uppräknat till 2040)	Nationellt genomsnitt (uppräknat till 2040)	Tidigare utredning Ljungskile (år 2030)	Används i riskberäkningarna (prognosår 2040), andel i parentes
1 Explosiva ämnen	0	0	11	11 (0,2 %)
2.1 Brandfarliga gaser	0	630	460 (Ej uppdelad inom klass 2)	630 (9 %)
2.2 Ej brandfarliga eller giftiga gaser	0	20		-
2.3 Giftiga gaser	0	210		275 (4 %)
3 Brandfarliga vätskor	0	940	570	940 (13 %)
4 Brandfarliga fasta ämnen	0	200	20	-
5 Oxiderande ämnen	660	1 160	5 250	5 250 (74 %)
6 Giftiga ämnen m m	0	90	10	-
8 Frätande ämnen	0	780	590	-
9 Övriga farliga ämnen	0	10	410	-
Totalt	660	4 000	7 300	

För klass 3 har antagits att ca 75 % av transporterade mängder består av mycket brandfarliga vätskor som exempelvis bensen (ØSA 2004).

För klass 5 räknas endast de oxiderande ämnen med som bedöms kunna leda till en massexplosion. De uppskattas stå för högst 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 Bohusbanan 2040 som medför betydande risker för området.

Klass och ämnesgrupp	Antal vagnar 2040
1.1 Massexplosiva ämnen	1
2.1 Brandfarliga gaser	630
2.3 Giftiga gaser	275
3. Mycket brandfarliga vätskor	700
5. Oxiderande ämnen med explosionsrisk	1 750

4.4.1 Sannolikhet för olyckor

Största tillåtna hastighet på Bohusbanan förbi planområdet är 60 km/h (Trafikverket 2022:4). Sannolikheten för olyckor på den aktuella sträckan av Bohusbanan har beräknats med Trafikverket beräkningsmodell (Banverket 2001) till $5,9 \times 10^{-8}$ per vagnkilometer och år. I beräkningarna har hänsyn tagits till järnvägens växlar. Beräkningarna presenteras mer detaljerat i *Bilaga 2*.

4.4.2 Urspårningsrisk

Enligt statistik över urspårningsolyckor i Sverige (Banverket 2001) förväntas vagnar inte spåra ut mer än 30 meter från spårmittpunkt, se *tabell 7*. Eftersom planområdets närmaste avstånd till Bohusbanan är cirka 70 meter så beaktas ej urspårningsrisken vidare i riskbedömningen.

Tabell 7. Sannolikhet att någon del av tåget hamnar utanför spåret (Banverket 2001).

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%

4.5 Verksamheter Uddevalla hamn

Uddevalla hamn är utpekad som riksintresse med hänsyn till dess funktion som bulkhamn. Inför Uddevalla kommuns ambition att förtäta centrum så har kommunen identifierat ett behov av att skapa en influensstudie. Influensstudiens syfte är att identifiera vilka verksamheter som ligger inom Båveområdet och som kan påverka en utbyggnad av bostäder inom områdesplanen. Analysen och beräkningarna från influensstudien redovisas i *Influensstudie Båveområdet Uddevalla* (Ramböll 2018).

I influensstudie identifierades hamnverksamheten med tillhörande godsbangård som riskkällor med störst potentiell påverkan på området. Skyddsavståndet till bangården är hämtat från Länsstyrelsen i Skåne län som föreslår att inom 300 meter bör riskfrågan utredas vidare och ett avstånd på 500 meter anges som riktmärke för omlastningscentraler med större hantering av farligt gods. Avståndet från Silentz 1 till närmaste räl på bangården överskrider 600 meter och bedömts därför inte medföra någon ökning av risknivåerna inom fastigheten.

De verksamheter som inkluderas i influensstudien ligger cirka 350 meter från Silentz 1 och det längsta skyddsavståndet gällande risk är 100 meter från någon av verksamheterna. Den närmaste verksamhet är Skansverket som hanterar farligt gods samt har produktion av rötgas (biogas). Enligt influensstudien för Uddevalla hamn respektive från riskutredningen för nytt medborgarhus så är konsekvensavståndet från Skansenverket 30 respektive 44 meter (Ramböll, 2018 ; Tyréns, 2022). Avståndet till Skansenverket från Silentz 1 är cirka 350 meter vilket medför att riskerna är på en acceptabel nivå.

Den sammanlagda bedömningen är att avståndet mellan planområdet Silentz 1 och Uddevalla hamn är tillräckligt långt för att hamnen och dess verksamheter inte ska medföra någon ökning av risknivån.

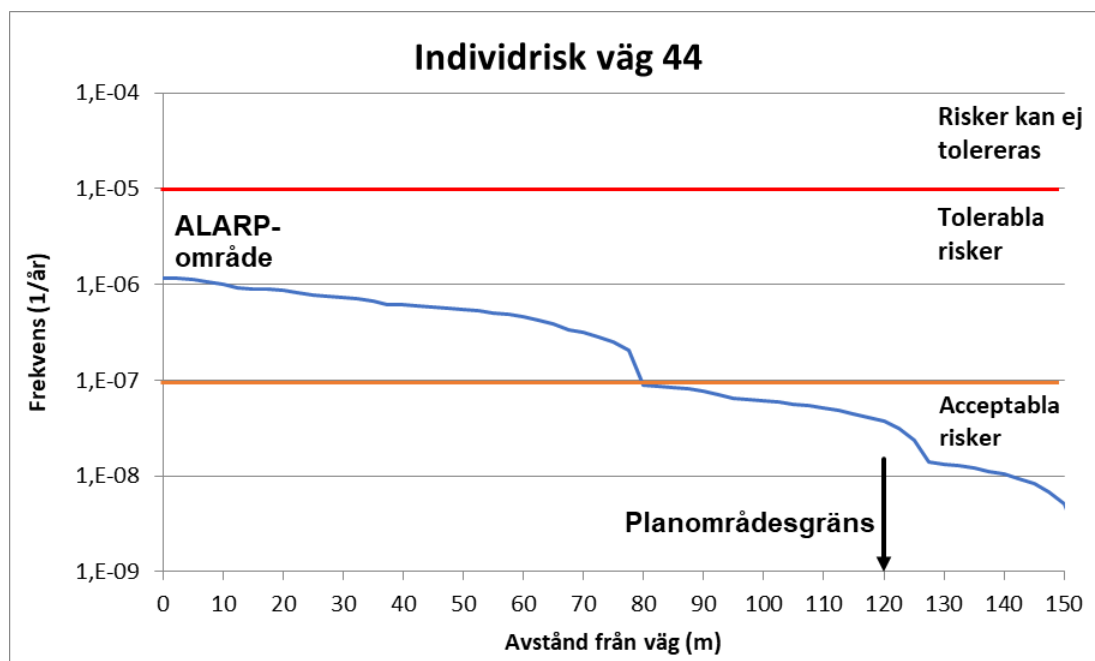
5 Resultat

I detta kapitel redovisas beräkningsresultaten för individ- och samhällsrisk utan skyddsåtgärder för transporter av farligt gods på Bohusbanan och väg 44. Dessutom redovisas en osäkerhetsanalys där antalet transport av farligt gods och antal personer närvarande i området ökas med 25 %. De ingångsvärden för beräkningarna som är specifika för området har redovisats i *kapitel 4*.

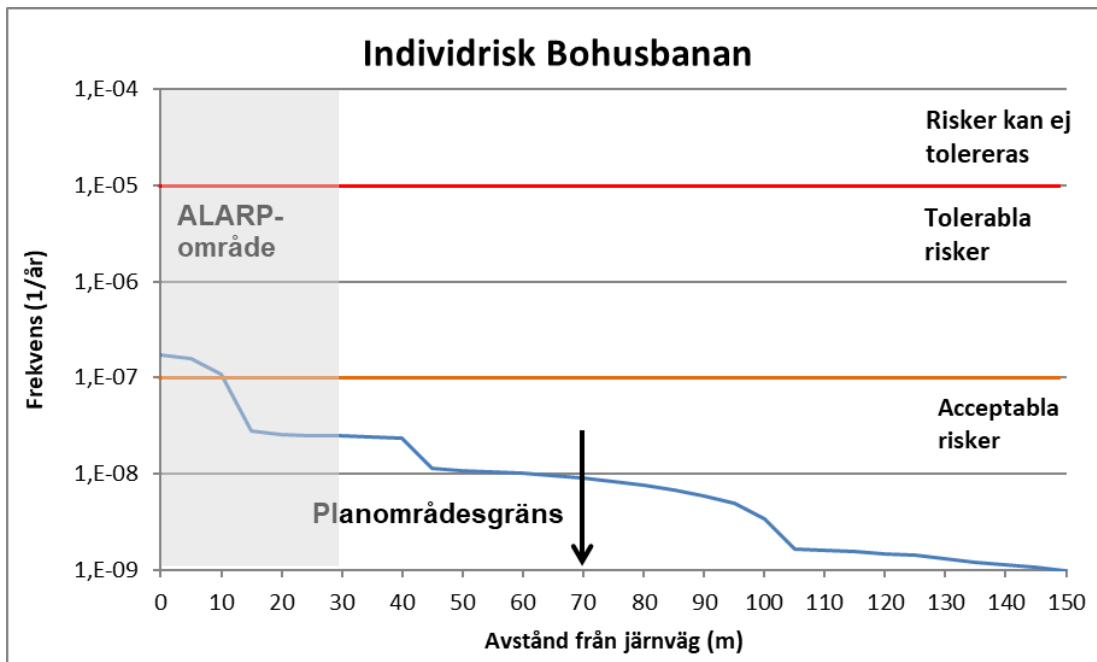
Ingångsvärden för sannolikheter och konsekvenser för de möjliga händelseförlopp när en olycka väl inträffat samt beräkningsmetoderna redovisas i *Bilaga 1* och *2*.

5.1 Individrisk

I *figur 8* och *9* visas individrisken från väg 44 respektive Bohusbanan. Individrisken beräknas vara på en acceptabel nivå inom hela planområdet. Eftersom individrisken beror på avstånd från transportled är individrisken uppdelad på väg 44 och Bohusbanan. För individrisken från Bohusbanan påverkas området innanför 30 meter från närmaste spår av urspärningsrisk, se *avsnitt 4.4.2*, och därför är detta område gråmarkerat i figuren.



Figur 8. Individrisken vid planområdet längs väg 44.

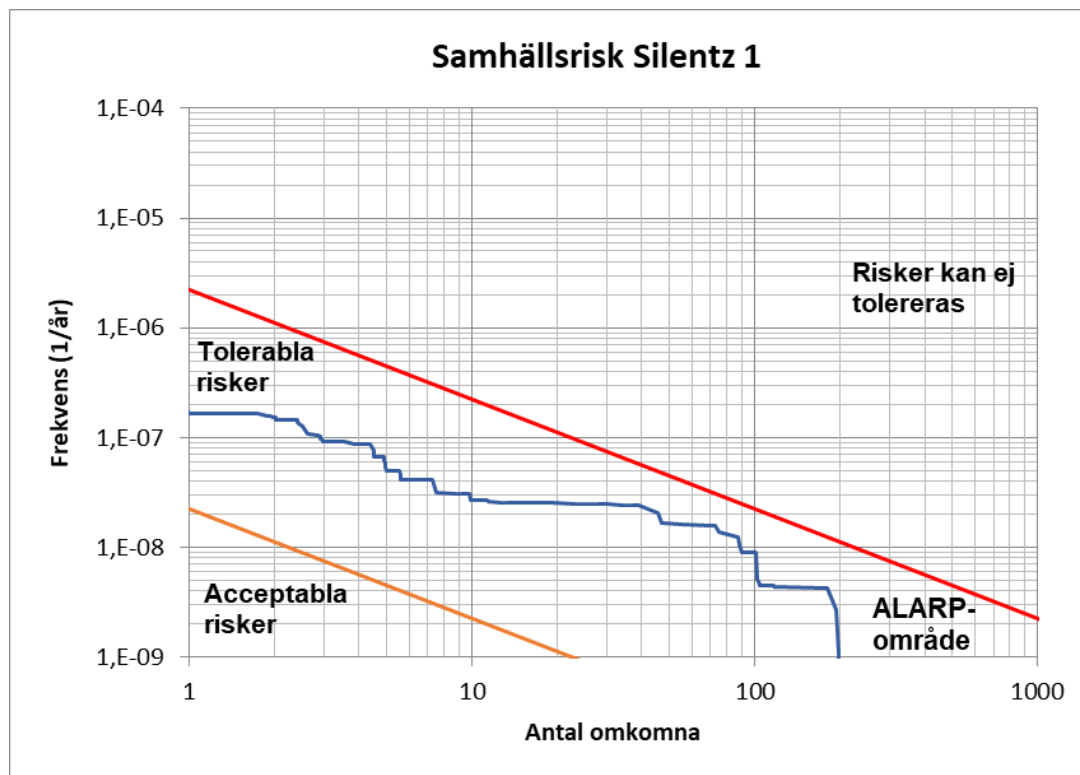


Figur 9. Individrisken vid planområdet längs Bohusbanan.

5.2 Samhällsrisk

I figur 10 visas samhällsrisk i planområdet från väg 44 och Bohusbanan. Beräkningen visar att risknivån ligger i översta delen av ALARP-området vilket medför att ekonomisk rimliga och praktiskt genomförbara åtgärder ska genomföras.

De dimensionerande olycksscenarierna är de med molnbrand och gasmolnexplosion både från olyckor på väg och järnväg.



Figur 10. Samhällsrisk för Silentz 1 från väg 44 och Bohusbanan.

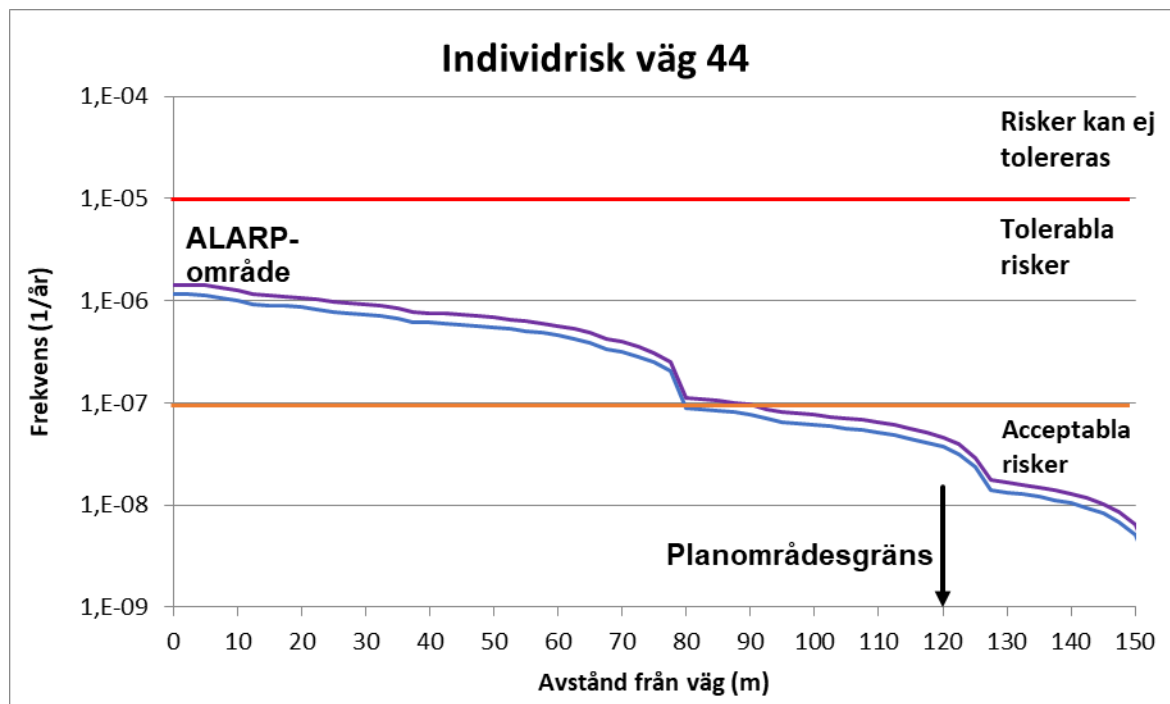
5.3 Osäkerhetsanalys

Det finns alltid osäkra faktorer i beräkningar av risker i samband med transporter av farligt gods förbi områden där det vistas människor. Eftersom det handlar om en prognos för en framtida situation så är osäkerheten i vilka mängder farligt gods som kommer transporteras förbi området i framtiden av betydelse. Osäkerhetsanalysen studerar vilka resulterande risknivåer det blir om antal transporter av farligt gods ökas med 25 %.

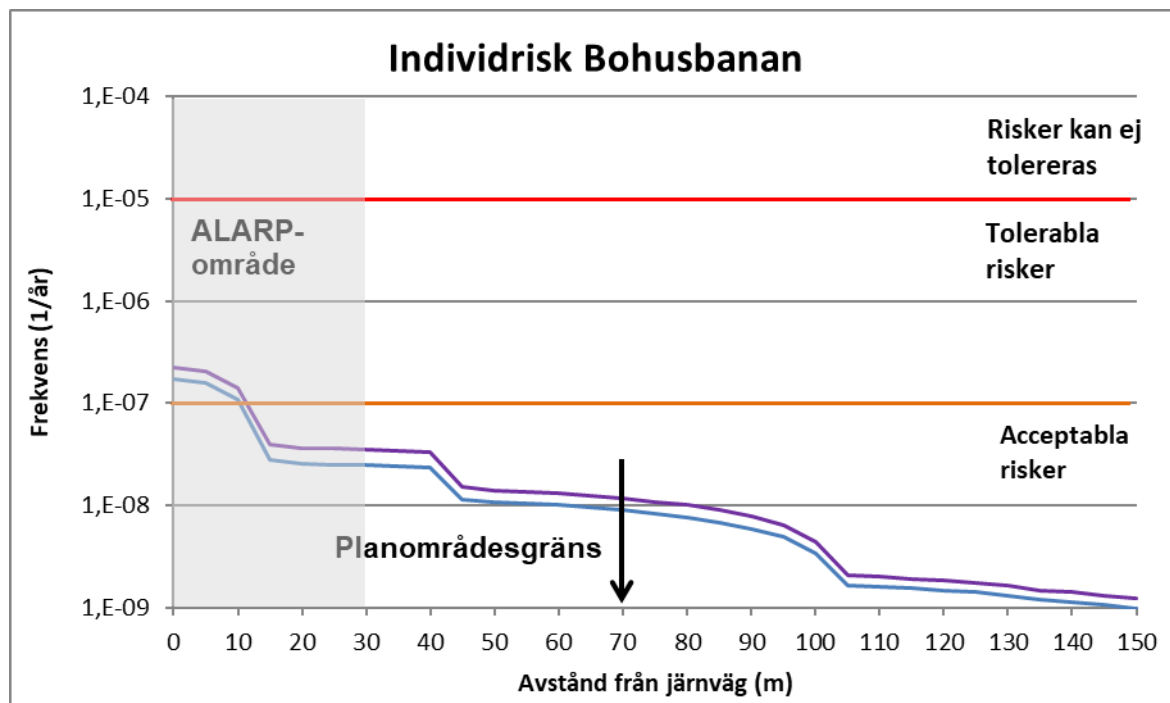
Ytterligare en källa till osäkerhet kan vara att det inte helt går att förutspå hur många personer som kommer att vistas inom området. I osäkerhetsanalysen studeras därför risknivåerna om det är 25 % fler personer på plats i planområdet.

5.3.1 Individrisk

Individrisken vid 25 % fler transporter av farligt gods presenteras i *figur 11* och *12*. Enligt beräkningarna ökar individrisken men ligger fortfarande på en acceptabel nivå inom hela planområdet.



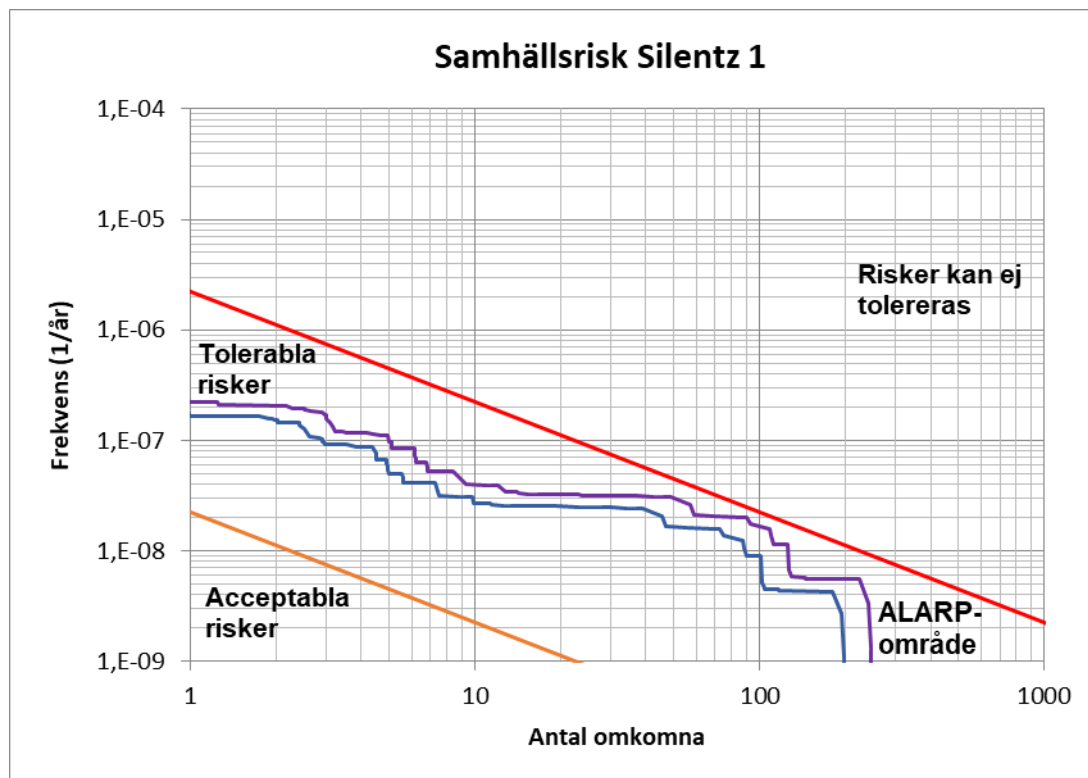
Figur 11. Individrisken vid planområdet längs väg 44. Ursprunglig beräkning visas med blå linje och osäkerhetsanalysen med lila linje.



Figur 12. Individrisken vid planområdet längs Bohusbanan. Ursprunglig beräkning visas med blå linje och osäkerhetsanalysen med lila linje.

5.3.2 Samhällsrisk

Figur 13 visar att samhällsrisken ökar men ligger fortfarande kvar i ALARP-området. I osäkerhetsanalys har antalet transporter av farligt gods samt att antalet personer närvarande i planområdet ökats med 25 %.



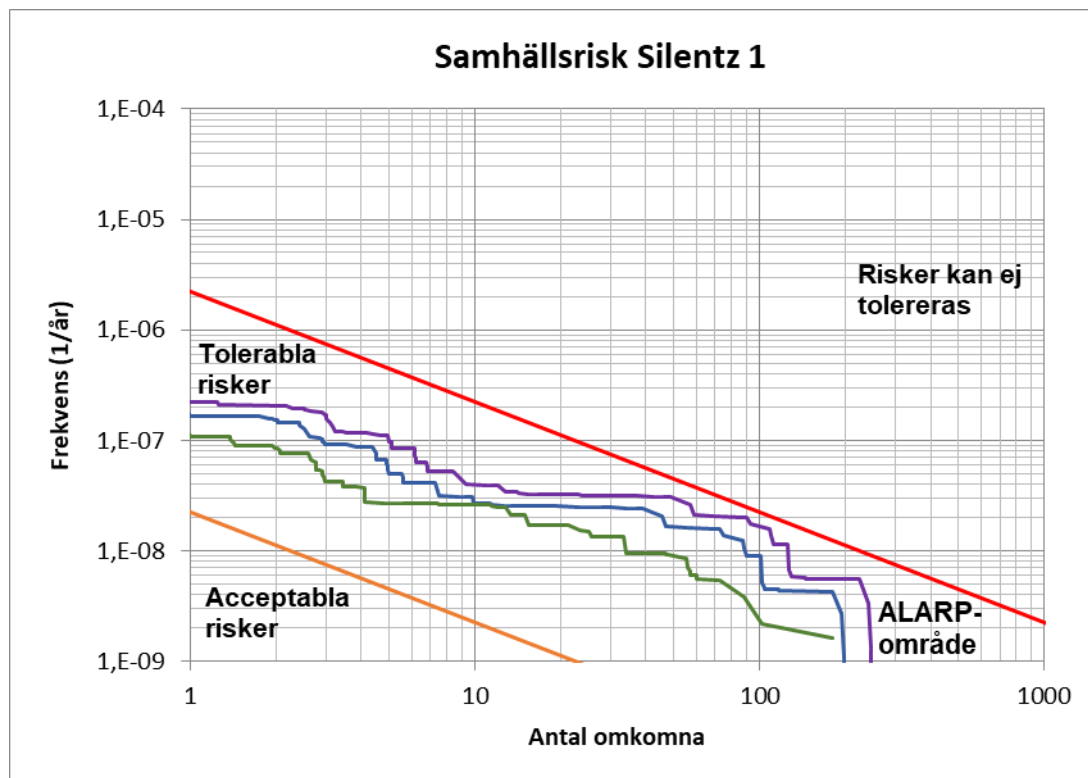
Figur 13. Osäkerhetsanalysen för Silentz 1 visas med lila linje. Ursprunglig beräkning med blå linje.

5.4 Åtgärder

Åtgärderna som föreslås består av att byggnaderna skall utformas så att de kan motstå eller fördröja konsekvenserna som de dimensionerande olyckorna kan leda till. I praktiken innebär detta krav på brandklass EI30 eller svårantändligt material på fasader samt att de ska kunna motstå den påfrestning som en gasexplosion kan leda till. Minsta avståndet mellan transportled och bebyggelse inom planområdet är cirka 70 meter, se avsnitt 4.1. Enligt tidigare riskutredning är påfrestningen på 70 meters avstånd från en gasexplosion 2,5 kPa i reflekterat tryck och 737 Pas i reflekterad impulstäthet (Norconsult 2018), påfrestningen avtar med avståndet från explosionscentrum enligt figur 3 i bilaga 3. Dessa angivna explosionslasten gäller för gasexplosioner på öppna ytor vilket anses som det mest troliga scenariot i detta fall. I beräkningarna tas även hänsyn till osäkerheter i skyddseffekterna och att alla explosioner inte kan klassas som öppen yta.

Inom planområdet föreslås brandklass EI30 på fasader som vetter mot Bohusbanan och väg 44 samt svårantändligt material på resterande fasader. Vidare föreslås att byggnader ska dimensioneras för att fortskridande ras inte inträffar vid en explosion med 2,5 kPa i reflekterat tryck och 737 Pas i reflekterad impulstäthet.

Figur 14 visar beräkningarna med och utan åtgärder för att fördröja konsekvenserna av de dimensionerande olyckorna. För beräkningen med åtgärder antas en verkningsgrad på 90 %. Enligt beräkningarna går risknivån från övre delen till mittdelen av ALARP-området.



Figur 14. Samhällsrisk Silentz 1 från väg 44 och Bohusbanan med åtgärder visas i grön linje. Ursprungsberäkning blå linje och osäkerhetsanalys visas med lila linje.

Ytterligare en åtgärd som anses effektiv är att se till att inga byggnader enbart kan utrymmas i riktning mot leden där det transporteras farligt gods. Sker en olycka på transportleden ska ingen tvingas utrymma i riktning mot olyckan.

Att anordna ventilationen på byggnaderna på så sätt att friskluften tas från ett högt läge och så långt bort från transportleden för farligt gods som möjligt är en effektiv skyddsåtgärd för att inte få in brandfarliga och giftiga gaser i byggnaderna.

Åtgärderna om utrymningsväg och ventilation är svårkvantifierade och inte med i beräkningen för samhällsrisk efter åtgärd men bedöms ge lägre risknivåer i praktiken.

Om ovanstående skyddsåtgärder genomförs bedöms risknivåerna vara tolerabla enligt använda riskkriterier.

6 Diskussion och slutsats

Riskberäkningarna för individrisken är på en acceptabel risknivå inom hela planområdet både från väg 44 och Bohusbanan. I osäkerhetsanalysen, med 25 % fler transporter, ökar individrisken men ligger fortfarande på acceptabla nivåer inom hela planområdet. Detta medför att markanvändning där personer i huvudsak vistas utomhus, till exempel torg, är acceptabelt i hela planområdet.

Beräkningarna av samhällsriskerna visar att risken ligger i övre delen av ALARP-området i både ursprungsberäkningen och osäkerhetsanalysen. De dimensionerande olycksscenarierna från både väg och järnväg är molnbrand samt gasexplosion. Med hänsyn till de dimensionerande olyckorna samt de platsspecifika förutsättningarna föreslås följande åtgärder:

- Fasader som vetter mot Bohusbanan och väg 44 ska utformas i minst brandklass EI30, övriga fasader i svårantändligt material.
- Byggnader ska dimensioneras för att fortskridande ras inte inträffar vid en explosion med 2,5 kPa i reflekterat tryck och 737 Pas i reflekterad impulstäthet.
- Utrymning ska vara möjlig bort från Bohusbanan och väg 44.
- Luftintag till byggnadens ventilationssystem ska placeras minst 5 meter över marknivå och riktas bort från väg 44

Med fasadåtgärder med brandklass EI30, svårantändligt material och explosionsskydd så beräknas risknivån sänkas från övre- till mittdelen av ALARP-området. Åtgärderna om utrymningsväg och ventilation är svårkvantifierade och inte med i beräkningen för samhällsrisk efter åtgärd men bedöms ge lägre risknivåer i praktiken. Om skyddsåtgärderna genomförs bedöms risknivåerna vara tolerabla enligt använda riskkriterier.

7 Referenser

Banverket 2001	Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Banverket Miljösektionen Rapport 2001:5; 2001-10-22.
Kallin 2019	Risk assessment of transport of dangerous goods with GIS, Chalmers tekniska högskola, 2019. https://hdl.handle.net/20.500.12380/300121 (Hämtad 2019-08-20)
Lst 2006	Riskhantering i detaljplaneprocessen, Länsstyrelserna Skånelän, Stockholms län och Västra Götalands län, september 2006
Norconsult 2016	Skälläckeröd 1:45 och 1:12 – Riskanalys av transport av farligt gods. Norconsult 2016-11-04
Norconsult 2018	Stenungsund centrum, dagligvaruhandel – Riskhantering farligt gods. Norconsult 2018-01-24
Norconsult 2019:1	Riskutredning inför planprogram, Mariesjö. Version 4, 2019-03-13.
Norconsult 2019.2	Riskanalys farligt gods – Detaljplan för Lisebergs utbyggnad öster om Nellickevägen. Norconsult 2019-11-29
Norconsult 2022	Källdal Herrestad – Riskutredning transport av farligt gods. Norconsult 2022-12-16.
Ramböll 2018	Influensstudie Bäveområdet Uddevalla – Verksamhetens påverkan på områdesplan Bäveområdet. Ramböll 2018-04-13
Rtj Storgöteborg 2004	Riktlinjer för riskbedömningar, Räddningstjänst Storgöteborg 2004
SCB 2022	Antal hushåll och genomsnittligt antal personer per hushåll efter region, boendeform och lägenhetstyp (exklusive småhus). År 2012–2021. https://www.statistikdatabasen.scb.se . Hämtad 2022-11-16
SRV 1996	Farligt gods – Riskbedömning vid transport, Räddningsverket 1996
SRV 1997	Värdering av risk; FoU rapport, Räddningsverket 1997.
TRAFA 2019	Lastbilstrafik 2000–2018. Årliga rapporter utgivna av TRAFA (f.d. SIKa) tillsammans med SCB. Publicerad 2019
TRAFA 2020	Bantrafik 2019, publiceringsdatum 2020-06-15, Trafikanalys, Sveriges officiella statistik
Trafikverket 2020	Effektsamband för transportsystemet – Fyrstegsprincipen Steg 3 och 4, Bygg om eller bygg nytt, 2020-06-15.
Trafikverket 2022:1	Trafikuppräkningsstal för EVA och manuella beräkningar 2017-2040-2060. Trafikverket 2022-06-20.
Trafikverket 2022:2	NVDB på webb. NVDB på webb (trafikverket.se) . Hämtad 2022-11-14.
Trafikverket 2022:3	Trafikuppgift järnväg T22 och bullerprognos 2040. Hämtad 2022-12-12

Trafikverket 2022:4	Uttag ur nationell järnvägsdatabas NJDB, https://njdbwebb.trafikverket.se/ Hämtat 2022-12-12.
Tyréns 2022	Riskutredning avseende farligt gods och verksamheter, dp för Uddevalla medborgarhus. Rapport 2022-10-25
ØSA 2004	Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen; Øresund Safety Advisers AB, 2004

Bilaga 1 – Beräkning av risker transport av farligt gods på väg

Innehåll

1	Beräkning av sannolikhet för olycka	3
2	Händelseträd	5
2.1	Händelseträd från RBM II	5
2.1.1	Klass 2.1	5
2.1.2	Klass 2.3	6
2.1.3	Klass 3	6
2.2	Klass 1	7
2.3	Klass 5.1	8
3	Konsekvenser av scenario	10
3.1	Klass 1	11
3.1.1	Skador på bebyggelsen	13
3.1.2	Skador utomhus	14
3.2	Klass 5.1	15
3.3	Individrisk	15
	Referenser	16

Riskberäkningsmetoden bygger på den GIS-modell som beskrivs i Kallin (2019). För en fullständig beskrivning av modellen hänvisas till den rapporten. Denna bilaga är en sammanfattning av de mest väsentliga delarna och vad dessa baseras på.

Riskberäkningsmetoden kan delas upp i fyra steg. Steg 1, 2 samt 4 genomförs i excelblad och steg 3 genomförs i GIS-programmet QGIS.

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

1 Beräkning av sannolikhet för olycka

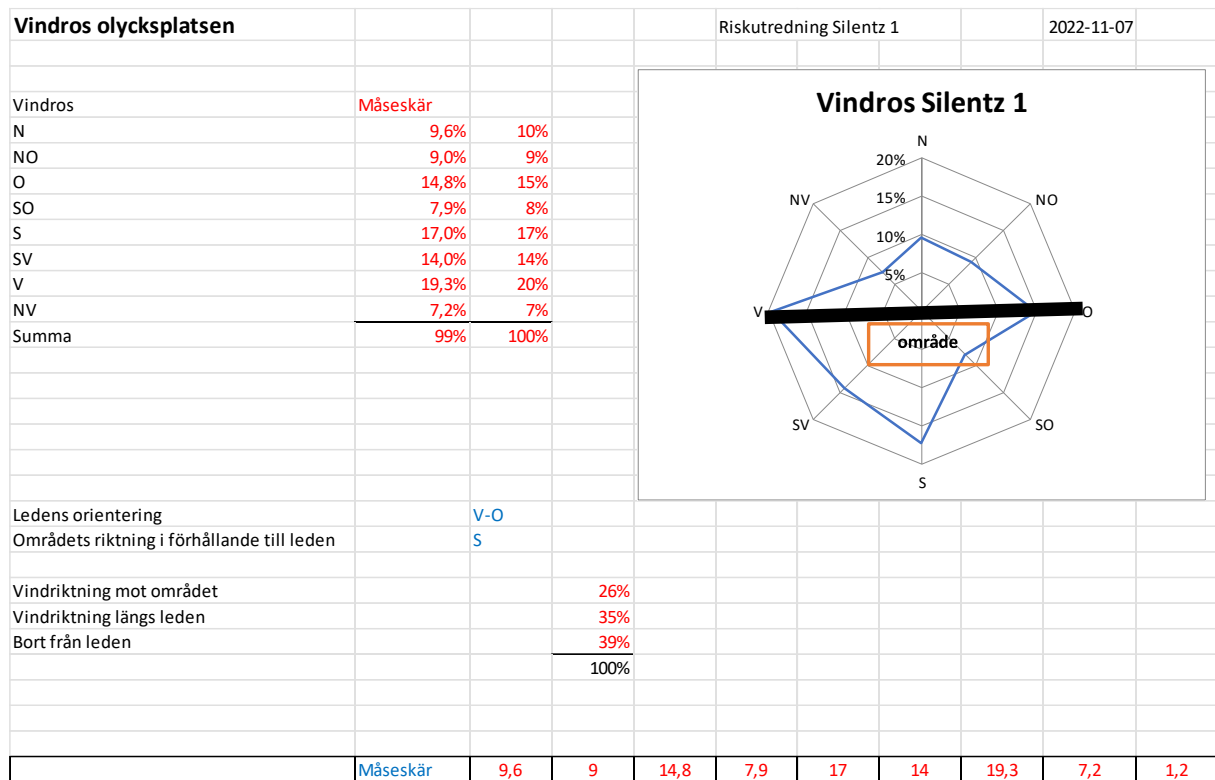
Sannolikheten för en olycka med transport av farligt gods beräknas utifrån de av Trafikverket angivna sannolikheter för personskadeolyckor per fordonskilometer på en vägsträcka av den aktuella typen (Vägverket 2008). Olycksrisken för enstaka fordon har beräknats ur risken per fordonskilometer för olyckor 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. Att sannolikheten beräknas per kilometer beror på att vägsträckan som skall användas i sannolikhetsberäkningar varierar beroende på vilket scenario som är aktuellt. Ingångsdata och beräkningsresultaten för sannolikhet för olyckor finns i *figur 1*. I *figur 1* framgår också ungefärliga avstånd till planområdet samt uppskattning av bredd på hus.

Ingångsdata		Uppdragsnamn: Riskutredning Silentz 1		2022-11-07	
Olycksrisk					
Risk för olycka	7,80E-08	1/fordonskm, år			
Andel singelolyckor	0,45				
Olycksrisk fordon	1,33E-07	1/km, år			
Område enl nedan	4	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 nattetid					
Andel transporter dagtid	0,7				
Faktor för osäkerhetsanalys (1,0 i vanliga fall 1,25 vid osäkerhetsanalys)	1				
	antal transporter totalt	risk>100 kg	utsläppsrisk dag/km,år	utsläppsrisk natt/km, år	
Klass 1, massexplosiv	12,0	1	1,1E-06	4,8E-07	
Klass 2.1	5800,0	0,043	2,3E-05	1,0E-05	
Klass 2.3	10,0	0,043	4,0E-08	1,7E-08	
Klass 3, bensin	9750,0	0,089	8,1E-05	3,5E-05	
Klass 5.1, explosionsrisk	333,3	0,089	2,8E-06	1,2E-06	
Bredd på hus första raden [m]	20				
Medelavstånd till område inne [m]	70				
Medelavstånd till område ute [m]	70				
Områdets längd längs leden [m]	45				

Figur 1. Ingångsdata för riskberäkning

I *figur 2* 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. Närmaste mätstation där det finns tillgänglig vindstatistik från SMHI (SMHI 2006) har använts i beräkningarna.



Figur 2. Vindros för planområdet.

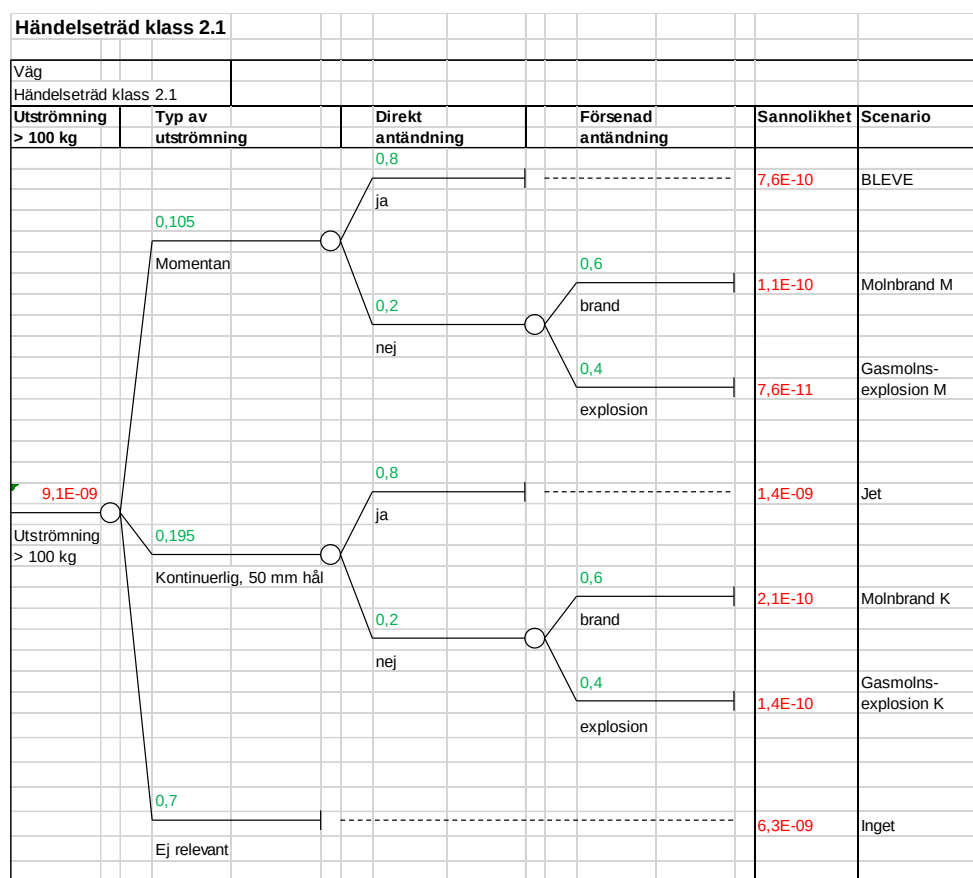
2 Händelseträäd

Händelseträden för klass 2.1, 2.3 och 3 har kopierats från RBM II och presenteras i *avsnitt 2.1*. Händelseträden för klasserna 1.1 och 5.1 är till viss del baserade på uppgifter från RBM II och beskrivs mer i detalj under deras underkategori. I beräkningsmodellen finns händelseträd för dag och nattscenarion och det som skiljer dem åt är den initiala olycksfrekvensen som kan ses i *figur 1*.

2.1 Händelseträd från RBM II

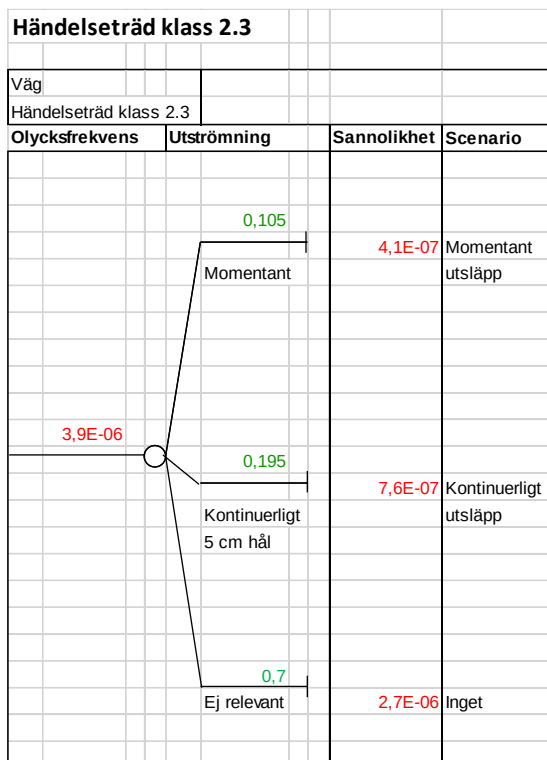
Den initiala olycksfrekvensen för händelseträden för klass 2.1, 2.3 och 3 beräknas enligt *avsnitt 1* och resterande delen av händelseträdet baseras på RBM II. RBM II skiljer på om utsläppet sker momentant eller kontinuerligt för de berörda klasserna. Om utsläppet sker momentant släpps hela innehållet av det farliga godset ut på en gång. Om utsläppet däremot sker kontinuerligt släpps innehållet ut över en längre tid och baseras på att ett hål på 5 cm uppkommer i tanken på tankvagnen. För klass 3 skiljer man på utsläppets storlek istället för om utsläppet är momentant eller kontinuerligt. Händelseträden för klass 2.1, 2.3 och 3 kan ses i *figur 3 – figur 5*.

2.1.1 Klass 2.1



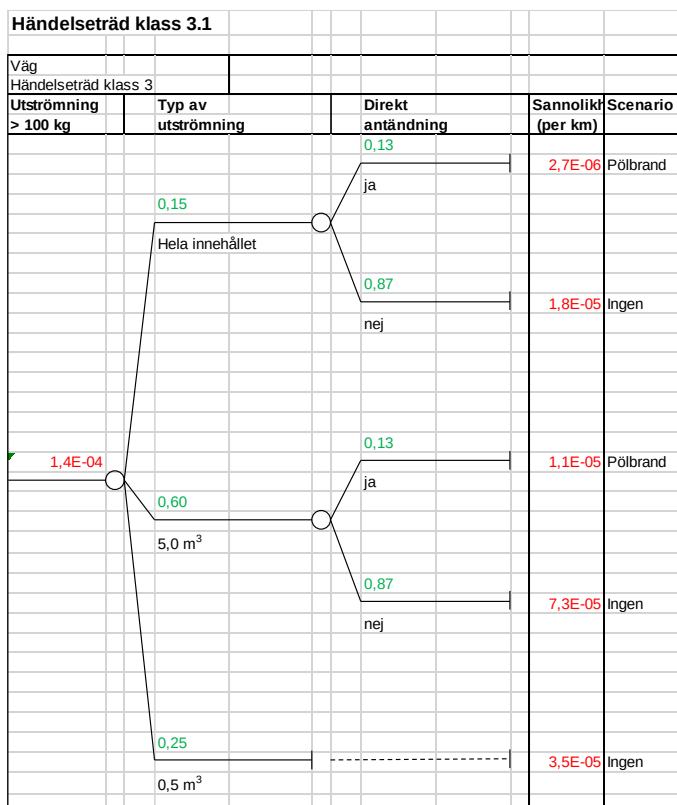
Figur 3. Händelseträd olycka brandfarlig gas.

2.1.2 Klass 2.3



Figur 4. Händelseträäd för olycka giftiga gaser.

2.1.3 Klass 3



Figur 5. Händelseträäd för mycket brandfarliga vätskor i klass 3.

2.2 Klass 1

Sannolikheten för en olycka med massexplosiva sprängämnen framgår av *figur 1*.

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.

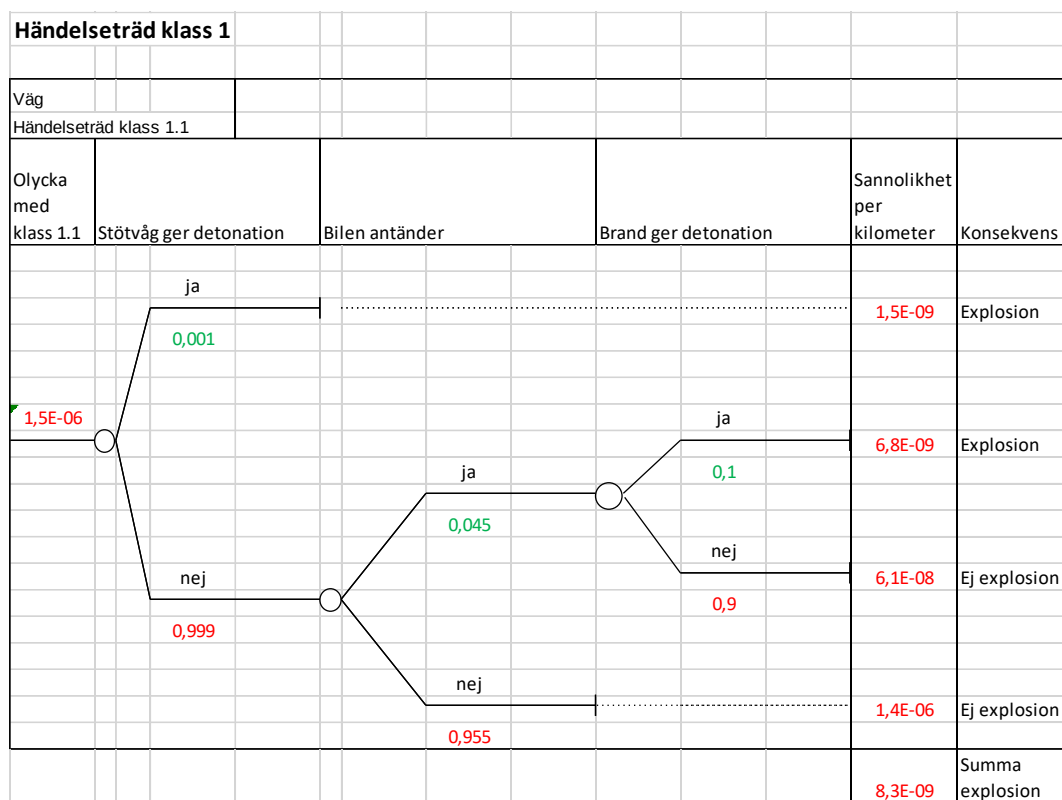
Tidigare studier har visat att den kritiska hastigheten för att en projektil skall leda till en explosion för ett emulsionssprängämne är några tiotals gånger större än för dynamit. En studie med fallvikter på nitroglycerinbaserade sprängämnen har visat att sannolikheten för antändning låg under 0,1 %. 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 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 hela händelseförloppet vid olycka med sprängämnen visas i *figur 6*.



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

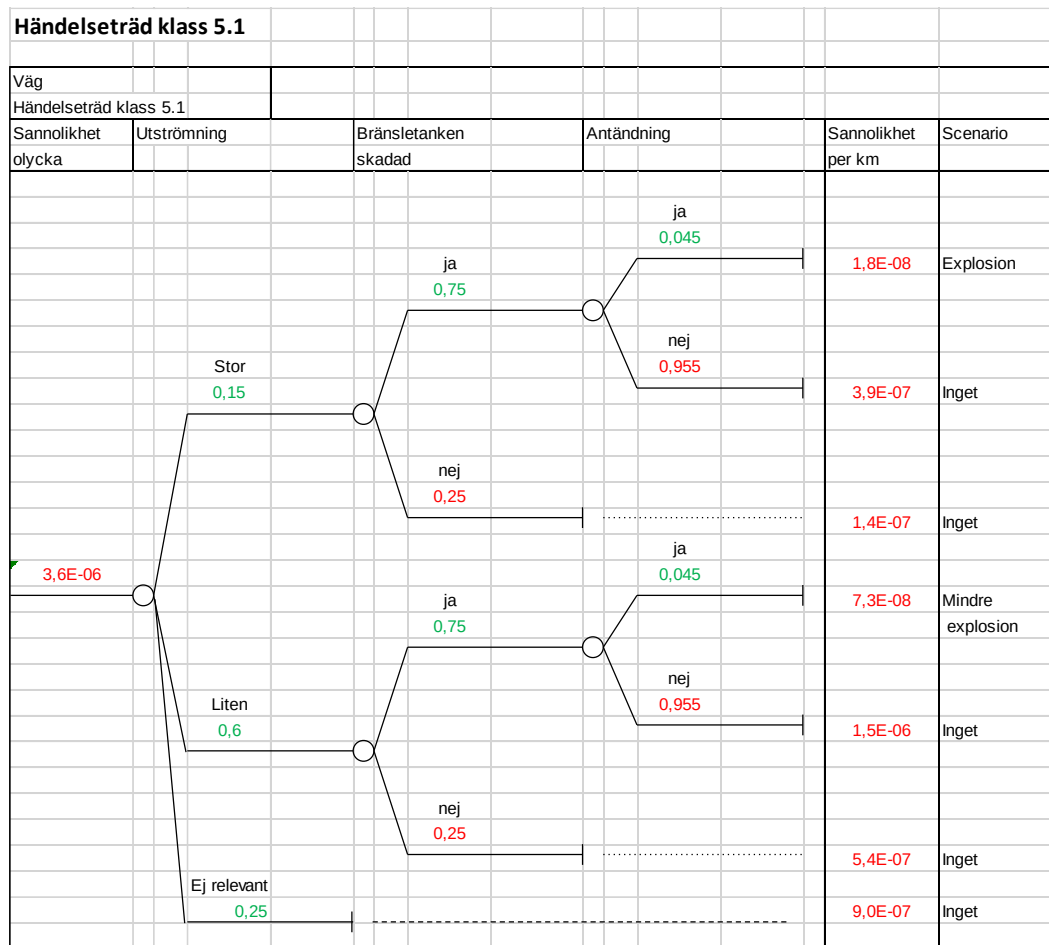
2.3 Klass 5.1

Detta scenario baseras på att transporterna sker som ammoniumnitrat som vid blandning med dieselolja kan leda till en explosion som motsvarar 3 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.

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 7* nedan. Händelseträdet är baserat på statistik för tunnväggiga tankbilar.



Figur 7. Händelseträd oxiderande ämnen i klass 5.1 som kan orsaka explosion.

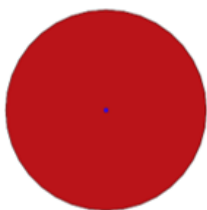
3 Konsekvenser av scenario

Detta steg görs i QGIS där antalet omkomna i var och ett av scenarierna beräknas med ekvationen nedan.

$N = \text{Överlappande område} \times \text{sannolikhet omkomna} \times \text{befolkningstäthet}$

Det överlappande området är det område som påverkas av ett effektområde för de olika scenarierna. Sannolikheter för omkomna (P) samt effektområdets form och storlek kan ses i *figur 8*. För klass 2.1, klass 2.2 och klass 3 har sannolikhet för omkomna och effektområdets storlek tagits från den nederländska beräkningsmetoden RBM II. För klass 1.1 och klass 5.1 beskrivs mer i detalj hur sannolikheterna och effektområdets storlek har beräknats i *avsnitt 3.1* respektive *3.2*.

Klass 1 och klass 5



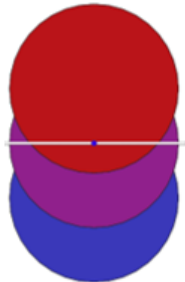
	Klass 1	Klass 5 stor	Klass 5 liten
Radie (begränsas av avstånd till första raden + bredd på byggnad)	130 meter	72 meter	57 meter
P (inne)	0,17	0,17	0,17
P (ute)	1	1	1

Jet



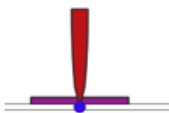
	Effektområde 1	Effektområde 2
Major axis (halva längd)	37 meter	40 meter
Minor axis (halva bredd)	20 meter	34 meter
Avstånd centrum	29,5 meter	29,5 meter
P (inne)	1	0
P (ute)	1	0,5

Molnbrand momentan



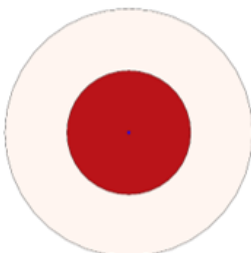
	Vind mot (röd cirkel)	Vind längs (lila cirkel)	Vind från (blå cirkel)
Radie	93 meter	93 meter	93 meter
Avstånd centrum	60 meter	0	-60 meter
P (inne)	1	1	1
P (ute)	1	1	1

Molnbrand kontinuerlig



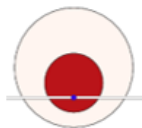
	Vind mot (röd yta)	Vind längs (lila yta)
Maximala längd	50 meter	50 meter
Maximala bredd	8,5 meter	5 meter
P (inne)	1	1
P (ute)	1	1

Gasexplosion momentan



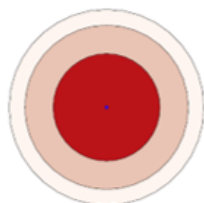
	Effektområde 1	Effektområde 2
Radie	126 meter	252 meter
P (inne)	1	0,025
P (ute)	1	0

Gasexplosion kontinuerlig



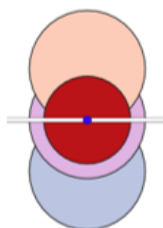
	Effektområde 1	Effektområde 2
Radie	33 meter	67 meter
Avstånd centrum	16,5 meter	33,5 meter
P (inne)	1	0,025
P (ute)	1	0

BLEVE



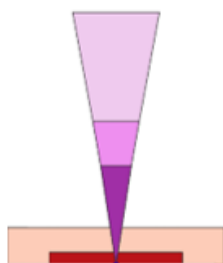
	Effektområde 1	Effektområde 2
Radie	80 meter	108 meter
P (inne)	1	0
P (ute)	1	0,3

Giftiga gaser momentan



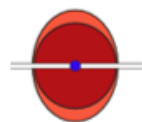
	Effektområde 1 (röd cirkel)	Effektområde 2, vind mot (beige cirkel)	Effektområde 2, vind längs (lila cirkel)	Effektområde 2, vind från (blå cirkel)
Radie	30 meter	40 meter	40 meter	40 meter
Avstånd centrum	0	35 meter	0	-35 meter
P (inne)	0,1	0,03	0,03	0,03
P (ute)	1	0,3	0,3	0,3

Giftiga gaser kontinuerligt



	Vind mot (lila yta), effektområde 1	Vind mot (lila yta), effektområde 2	Vind mot (lila yta), effektområde 3	Vind längs (röd yta), effektområde 1	Vind längs (röd yta), effektområde 2
Maximala längd	100 meter	145 meter	255 meter	135 meter	220 meter
Maximala bredd	31 meter	47 meter	88 meter	13 meter	38 meter
P (inne)	0,1	0,06	0,03	0,1	0,03
P (ute)	1	0,6	0,3	1	0,3

Pölbrand



	Pölbrand stor		Pölbrand liten	
	Effektområde 1	Effektområde 2	Effektområde 1	Effektområde 2
Major axis (Halva längd)	24 meter	32 meter	11 meter	16 meter
Minor axis (Halva bredd)	23 meter	24 meter	10 meter	12 meter
P (inne)	1	0	1	0
P (ute)	1	0,12	1	0,4

Figur 8. Effektområdenas form och sannolikhet för omkomna. Figuren är ej skalenlig.

3.1 Klass 1

Vid beräkning av explosionslast utgår 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 9 och 10* som tagits från rapporten Dynamisk lastpåverkan – Referensbok (SRV 2005). För en närmare förklaring av beräkningsmetoden hänvisas till denna rapport.

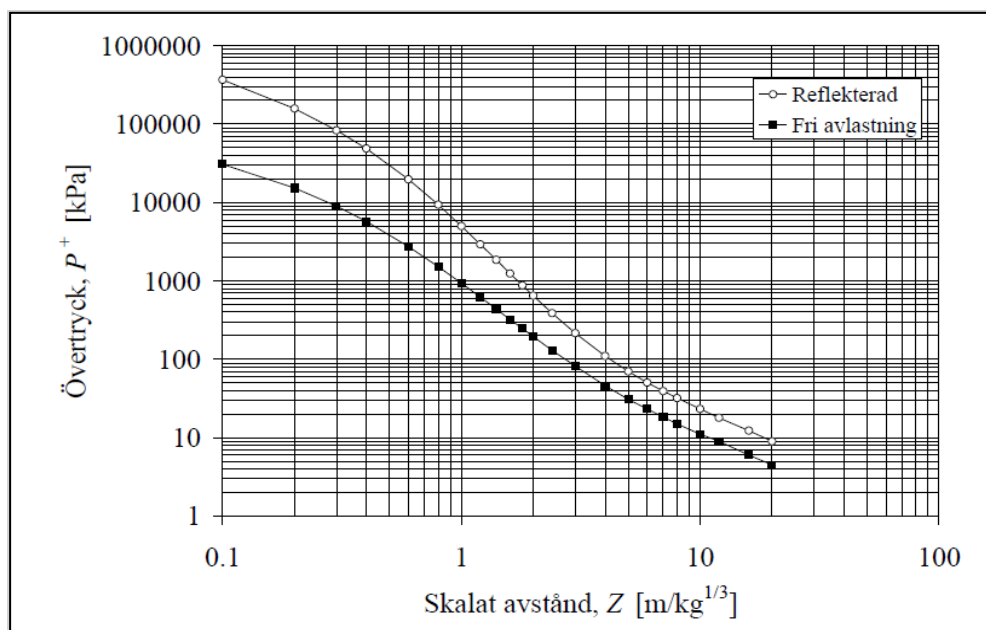
Z är det ska skalade avståndet enligt nedan

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

R = avstånd från explosionscentrum (m)

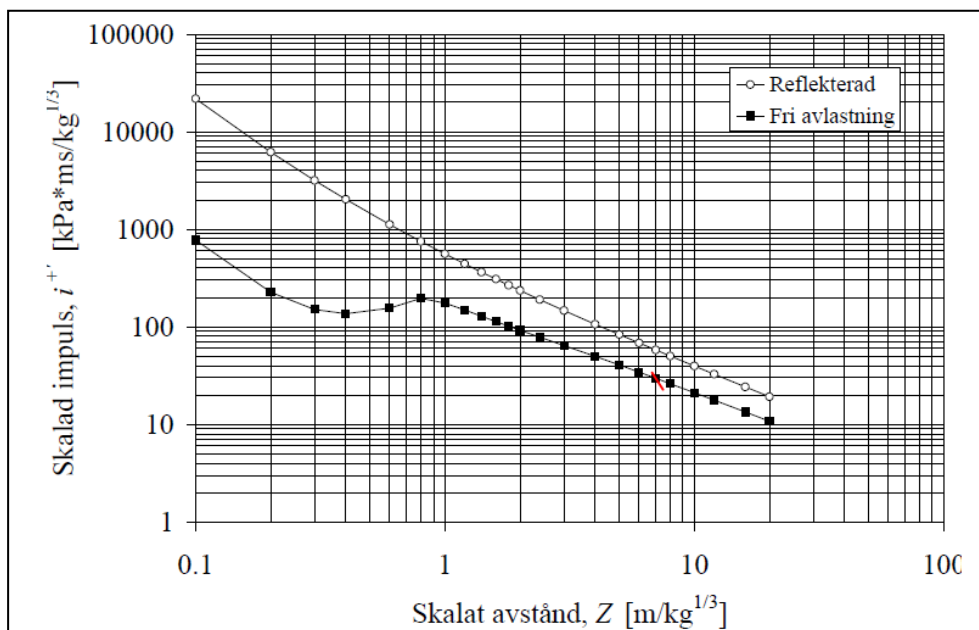
M = mängd sprängämne i explosionen (kg)

Figur 9 ger övertrycket p_+



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

Figur 10 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 10. Reflekterat och oreflekterat impulsintensitet som funktion av det skalade avståndet Z (från SRV 2007).

Resultaten visas i tabell 1.

Tabell 1. Reflekterat och oreflekterat tryck och impultstäthet 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

3.1.1 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. Detta tryck uppnås enligt tabell 1 ungefär 125 m från platsen för explosionen.

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.

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

3.1.2 Skador utomhus

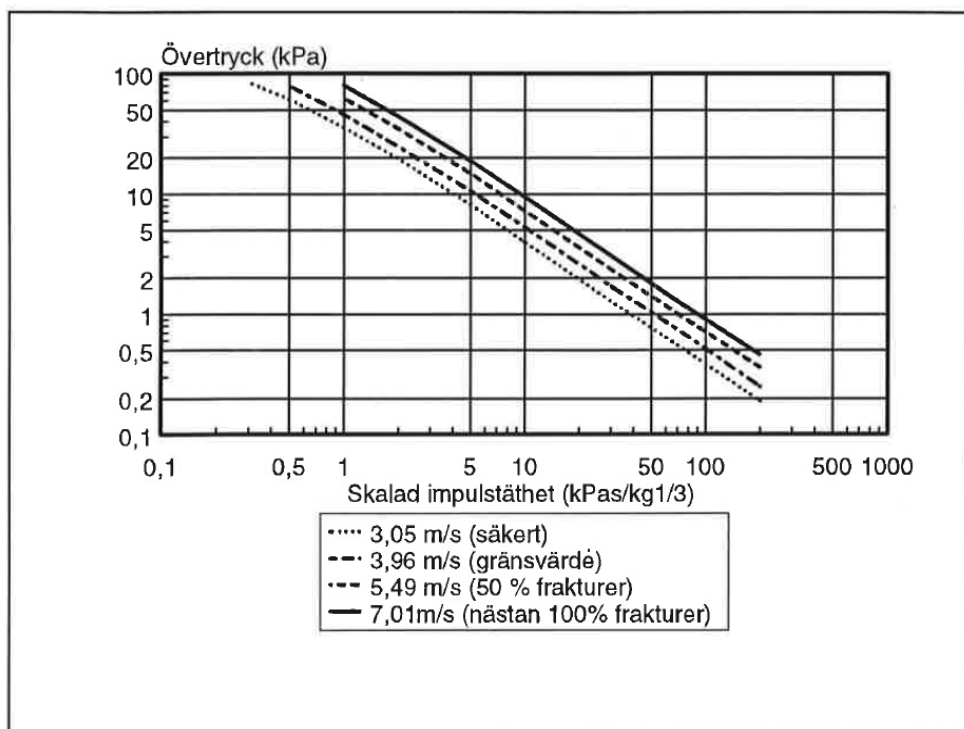
Direkta skador pga. tryck

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 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 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.

3.2 Klass 5.1

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).

Konsekvenserna av en stor explosion har antagits vara desamma som för en explosion av 3 ton TNT. Konsekvenserna avseende individrisk och samhällsrisk beräknas på samma sätt som i scenariot för klass 1.1.

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

3.3 Individrisk

Individrisken beräknas med hjälp av följande ekvation:

$$IR(x) = F_{olycka} \times v_{ind} \times b(x) \div andel$$

I individrisken beräknas bredden $b(x)$ med bredden som anges i figur 8. För effektområden där centrum av ellipserna eller cirkelarna inte är på transportvägen räknades bredden $b(x)$ som maximala bredd fram till centrum.

Eftersom bredden $b(x)$ baseras på distans från transportvägen så beräknas individrisken med 2,5 meters mellanrum.

Referenser

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 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
Kallin 2019	Risk assessment of transport of dangerous goods with GIS, Chalmers tekniska högskola, 2019. https://hdl.handle.net/20.500.12380/300121 (Hämtad 2019-08-20)
NFPA 2010	National Fire Protection Association, US Vehicle Fire Trends and Patterns, June 2010
SMHI 2006	Vindstatistik för Sverige 1961–2004, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), Nr 121 2006
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 luftstötuvåg, 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 – Beräkning av risker transport av farligt gods på järnväg

Innehåll

1	Beräkning av sannolikhet för olycka	3
2	Händelseträd	6
2.1	Händelseträd från RBM II	6
2.1.1	Klass 2.1	6
2.1.2	Klass 2.3	7
2.1.3	Klass 3	8
2.2	Klass 1	9
2.3	Klass 5.1	11
3	Konsekvenser av scenario	14
3.1	Klass 1	16
3.1.1	Skador på bebyggelsen	17
3.1.2	Skador utomhus	17
3.2	Klass 5.1	18
3.3	Individrisk	19
	Referenser	20

Riskberäkningsmetoden bygger på den GIS-modell som beskrivs i Kallin (2019). För en fullständig beskrivning av modellen hänvisas till den rapporten. Denna bilaga är en sammanfattning av de mest väsentliga delarna och vad dessa baseras på.

Riskberäkningsmetoden kan delas upp i fyra steg. Steg 1, 2 samt 4 genomförs i excelblad och steg 3 genomförs i GIS-programmet QGIS.

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

1 Beräkning av sannolikhet för olycka

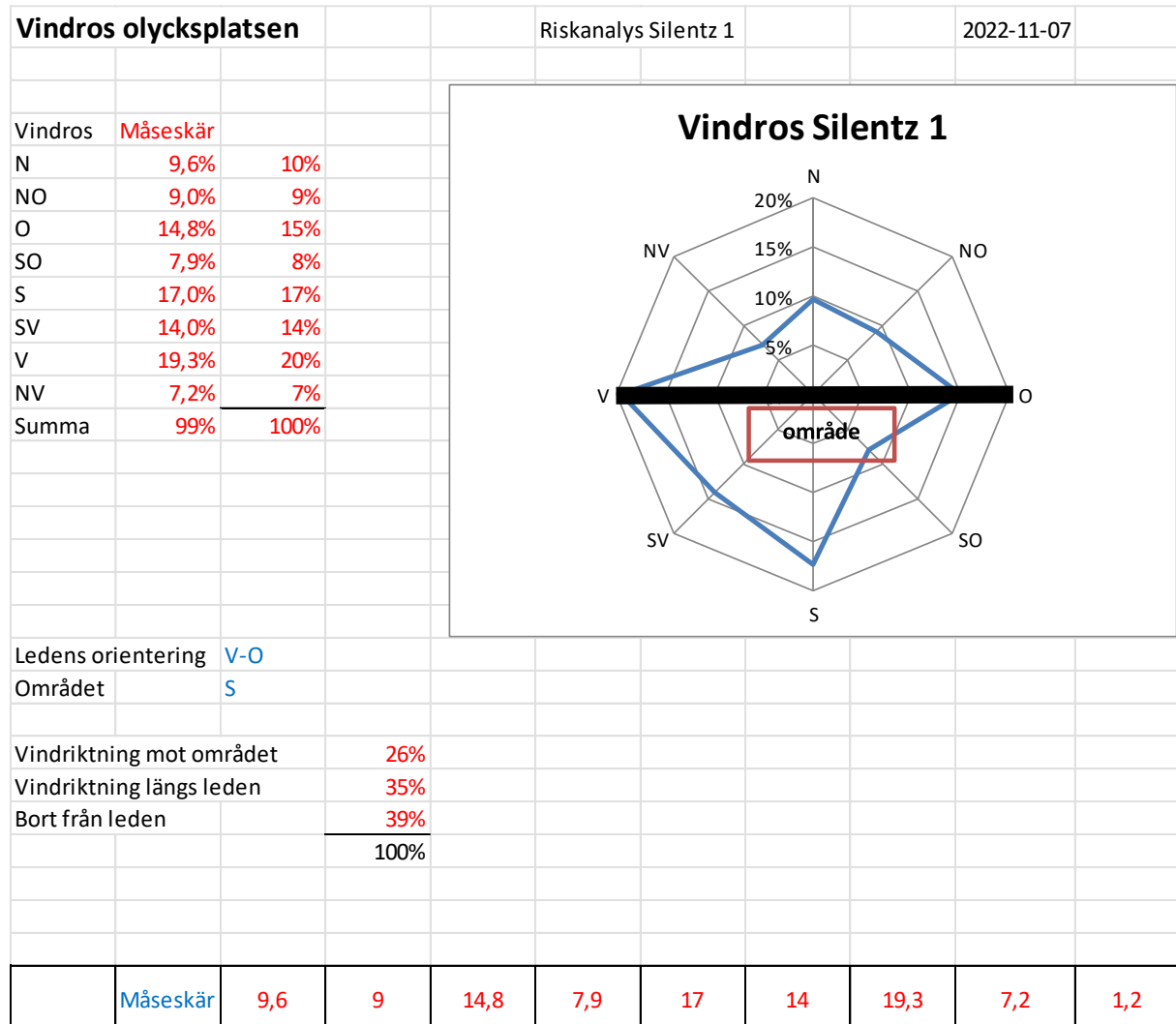
Olycksrisken för tåg beräknas enligt den av Banverket (numera en del av Trafikverket) angivna metod (Banverket 2001). Resultaten av beräkningen av olycksrisk per kilometer och år för de olika klasser farligt gods framgår i *figur 1*. Transporter av gods på järnvägen sker i stor utsträckning på natten då det finns bättre utrymme på banan pga. färre persontransporter. Utifrån en undersökning av fördelningen av godstransporter på Bohusbanan antas att 25 % av godset transporteras dagtid och 75 % nattetid.

I *figur 1* framgår också ungefärliga avstånd till planområdet samt uppskattning av bredd på hus.

Ingångsdata 1(2)		Uppdragsnamn:	Risikanalyt Silentz 1	2022-11-07	
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	
Vagnaxel/vagn	2,75			Standard	
Tåglängd	112 m			Beräknas	
Vagnlängd	20 m				
Godståg/dag	6				
Persontåg/dag	67				
Pendeltåg/dag	14				
Antal vagnar/tåg	5,6				
Antal tåg/dag	87				
Antal tåg/år	31755				
Antal tåg/v	611				
Antal växlar	1				
Plankorsn. bommar	0				
Plankorsn. ljus	0				
Plankorsn. Kryss	0				
Vagnaxelkm/år	4,9E+05				
Vagnkm	1,8E+05				
Beräkning olycksrisken					
Orsak	Parameter	Spårklass A	Spårkl. B o C	Spårklass A	Spårkl. B o C
Rälsbrott	Vagnaxelkm	5,0E-11	1,0E-10	2,5E-05	4,9E-05
Solkurva	Spårkm	1,0E-05	2,0E-04	1,0E-05	2,0E-04
Spårlägesfel	Vagnaxelkm	4,0E-10	4,0E-10	2,0E-04	2,0E-04
Växel sliten	Antal tågpassager	5,0E-09	5,0E-09	1,6E-04	1,6E-04
Växel ur kontroll	Antal tågpassager	7,0E-08	7,0E-08	2,2E-03	2,2E-03
Vagnfel	Vagnaxelkm	3,1E-09	3,1E-09	1,5E-03	1,5E-03
Lastförskjutning	Vagnaxelkm	4,0E-10	4,0E-10	2,0E-04	2,0E-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	6,3E-03	6,3E-03
Summa	Olyckor per år/km			1,1E-02	1,1E-02
Antal tågkm/år				3,2E+04	3,2E+04
Olyckor per tågkm, år				3,3E-07	3,4E-07
Antal vagnkm/år				1,8E+05	1,8E+05
Olyckor per vagnkm, år				5,9E-08	6,0E-08
Beräkning olycksrisken per klass, dag tid och natttid					
	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	1,5E-08	0,8	4,4E-08
Klass 2.1	630,0	157,5	9,3E-06	472,5	2,8E-05
Klass 2.3	275,0	68,8	4,1E-06	206,3	1,2E-05
Klass 3, bensin	700,0	175,0	1,0E-05	525,0	3,1E-05
Klass 5.1, explosionsrisk	1750,0	437,5	2,6E-05	1312,5	7,8E-05
Beräkning antal vagnar med mkt brandfarliga vätskor per godståg					
antal godståg	2190				
andel m bensinvagnar	32%				
Områdesinfo					
Områdets storlek					
	Inne	Ute			
Planområdets avstånd leden	20	20	m		
Bredd på hus första raden	20	m			
Områdets längd längs leden	45	m			

Figur 1. Ingångsdata för riskberäkning

I figur 2 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. Närmaste mätstation där det finns tillgänglig vindstatistik från SMHI (SMHI 2006) har använts i beräkningarna.



Figur 2. Vindros för planområdet.

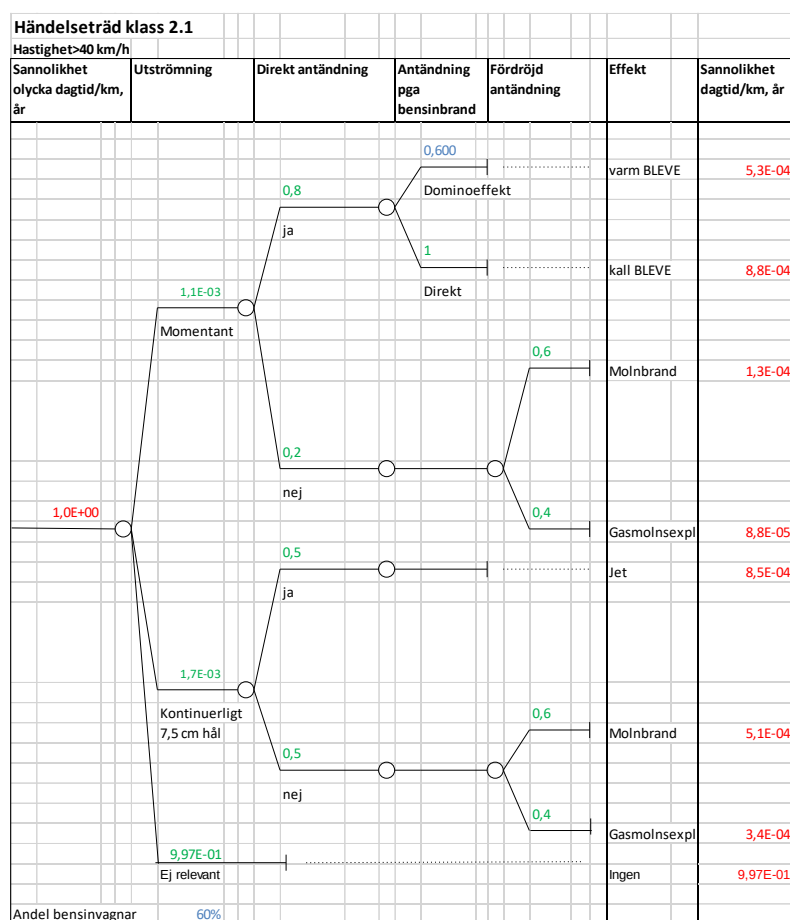
2 Händelseträäd

Händelseträden för klass 2.1, 2.3 och 3 har kopierats från RBM II och presenteras i *avsnitt 2.1*. Händelseträden för klasserna 1.1 och 5.1 är till viss del baserade på uppgifter från RBM II och beskrivs mer i detalj under deras underkategori. RBM II skiljer på sannolikheten för olika händelseförlopp beroende på om tågets hastighet är större eller mindre än 40 km/h. Därför presenteras två händelseträäd för var och en av klasserna.

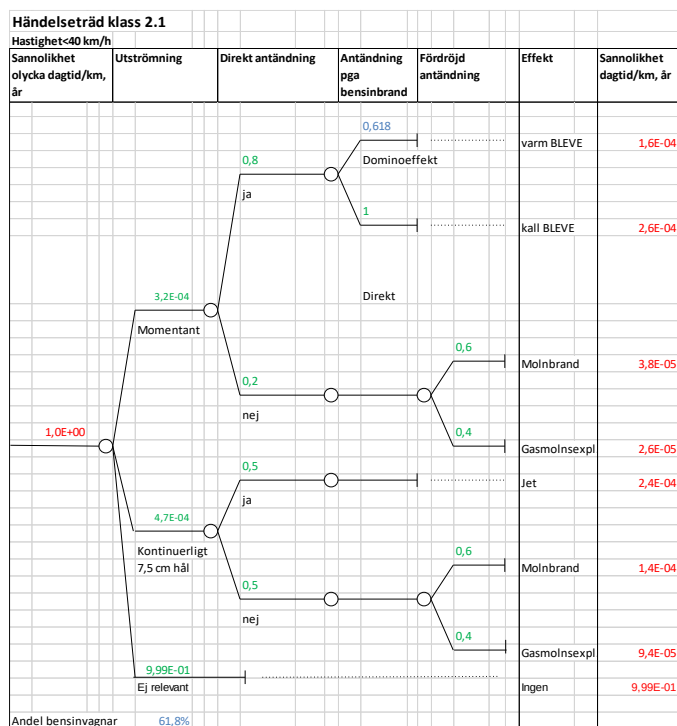
2.1 Händelseträäd från RBM II

Den initiala olycksfrekvensen för händelseträden för klass 2.1, 2.3 och 3 beräknas enligt *avsnitt 1* och resterande delen av händelseträdet baseras på RBM II. RBM II skiljer på om utsläppet sker momentant eller kontinuerligt för alla de berörda klasserna. Om utsläppet sker momentant släpps hela innehållet av det farliga godset ut på en gång. Om utsläppet däremot sker kontinuerligt släpps innehållet ut över en längre tid och baseras på att ett hål på 7,5 cm uppkommer i tanken på tankvagnen. Händelseträden för klass 2.1, 2.3 och 3 kan ses i *figur 3 – figur 8*.

2.1.1 Klass 2.1

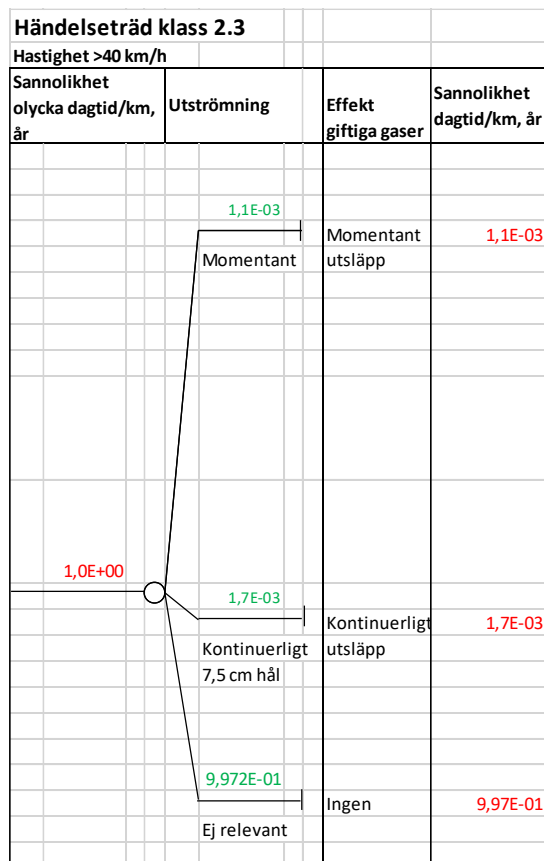


Figur 3. Händelseträäd olycka brandfarlig gas, tåghastighet över 40 km/h

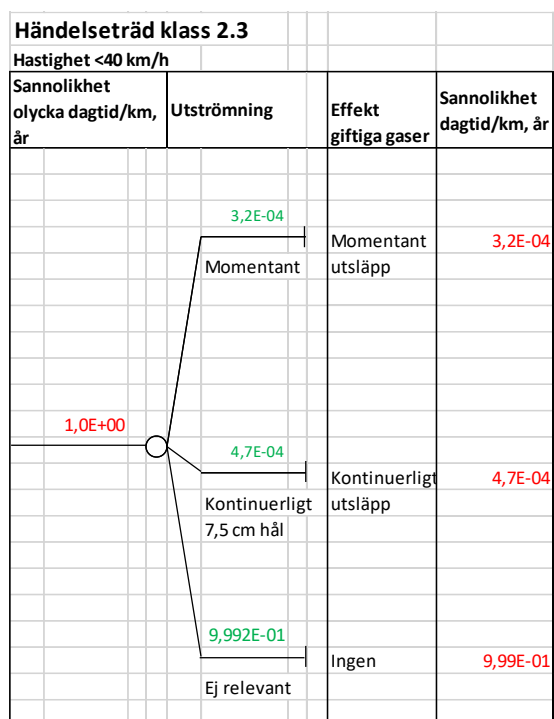


Figur 4. Händelsesträd olycka brandfarlig gas, tåghastighet under 40 km/h

2.1.2 Klass 2.3

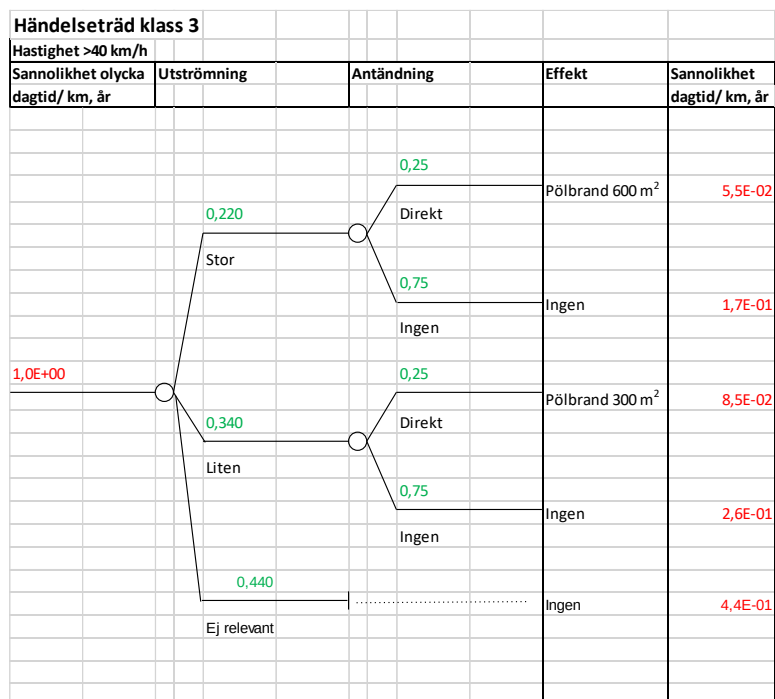


Figur 5. Händelsesträd för olycka giftiga gaser, tåghastigheter över 40 km/h



Figur 6. Händelseträd för olycka giftiga gaser, tåghastigheter under 40 km/h

2.1.3 Klass 3



Figur 7. Händelseträd för mycket brandfarliga vätskor i klass 3. Tåghastighet över 40 km/h

Händelsesträd klass 3				
Hastighet <40 km/h	Utströmning	Antändning	Effekt	Sannolikhet
Sannolikhet olycka dagtid/ km, år				dagtid/ km, år
1,0E+00	Stor	0,25 Direkt	Pölbrand 600 m ²	8,0E-03
		0,75 Ingen	Ingen	2,4E-02
	Liten	0,25 Direkt	Pölbrand 300 m ²	1,2E-02
		0,75 Ingen	Ingen	3,5E-02
	Ej relevant		Ingen	9,2E-01

Figur 8. Händelsesträd för mycket brandfarliga vätskor i klass 3. Tåghastighet under 40 km/h

2.2 Klass 1

Sannolikheten per vagnkilometer för en olycka med massexplosiva sprängämnen framgår av figur 1.

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.

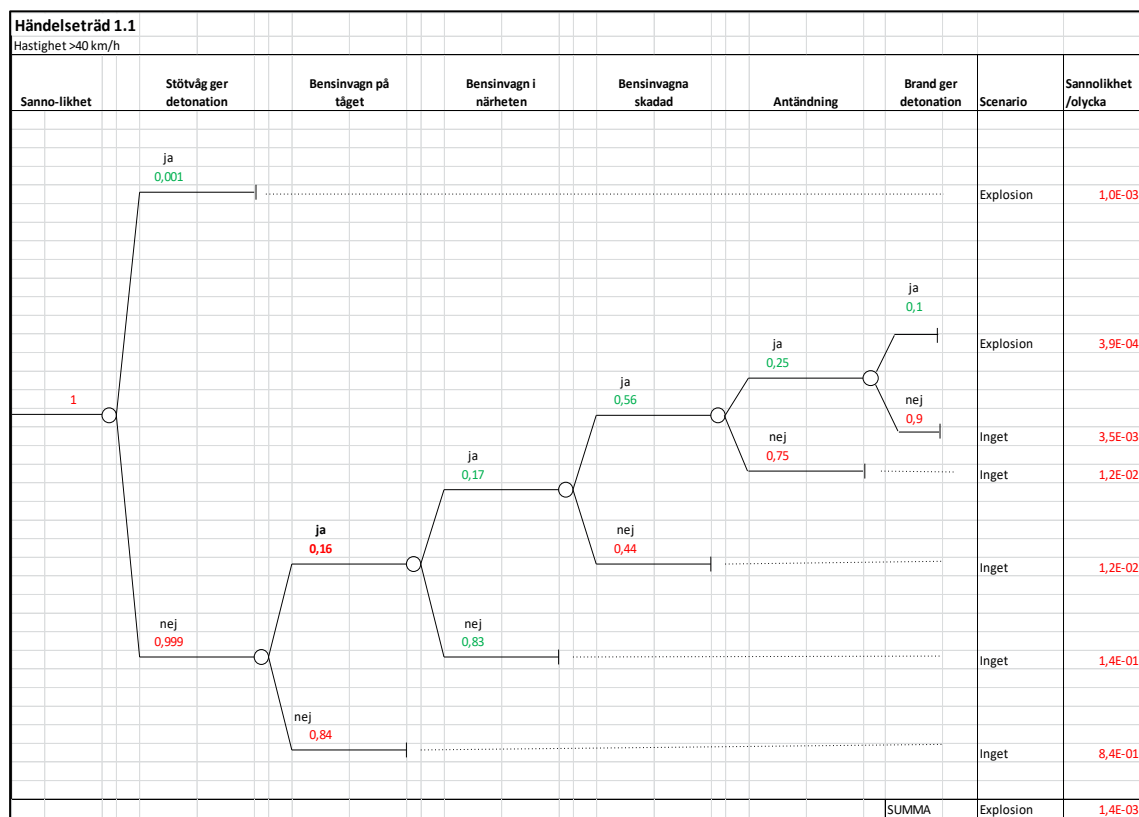
Sannolikhet för detonation på grund av brand

Sannolikheten för brand beräknas enligt följande.

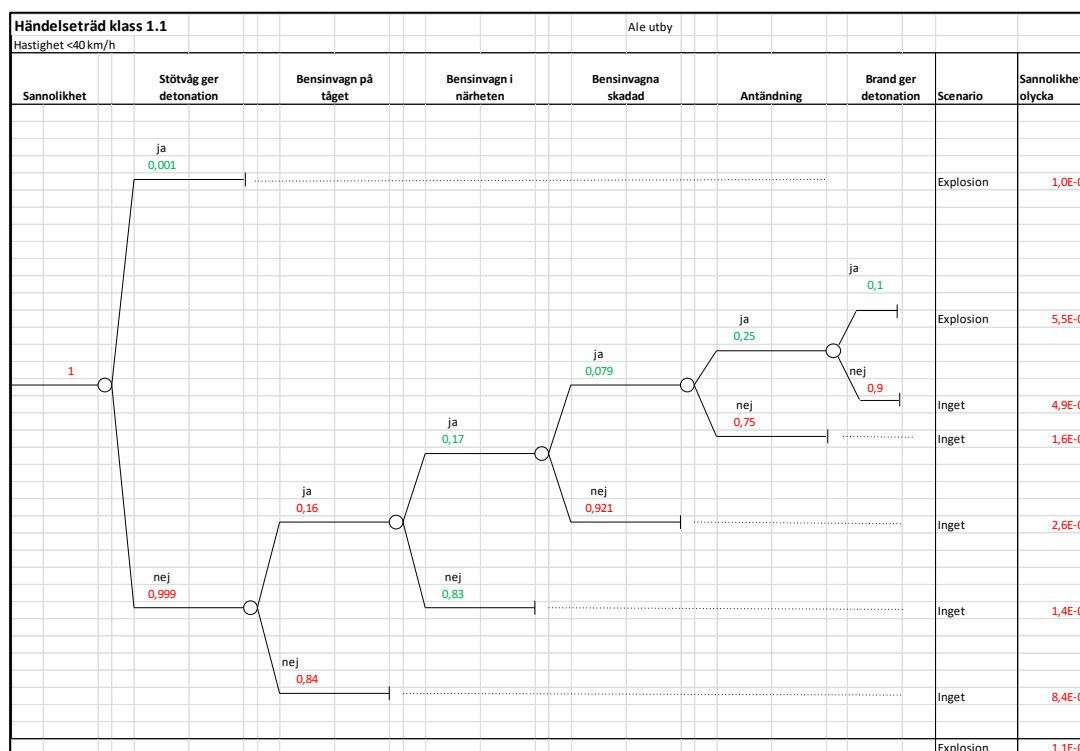
1. Det måste finnas en tankvagn med bensin eller annan mycket brandfarlig vätska med på tåget.
2. Vagnen måste befinna sig nära vagnen med sprängämnen, högst en vagn emellan
3. Vagnen med mycket brandfarlig vätska måste ha en skada som leder till ett betydande utsläpp
4. Vätskan måste antändas

Sannolikheten för detta framgår av händelseträden i *figur 9 och 10* nedan. Händelseträdet är baserat på statistik för tunnväggiga tankvagnar i RBM II.

Sannolikheten att en brand leder till detonation av sprängämnet uppskattas grovt till 10 %. Händelseträdet för hela händelseförloppet vid olycka med sprängämnen visas i *figur 9* för tåghastigheter över 40 km/h och i *figur 4* för tåghastigheter under 40 km/h.



Figur 9. Händelseträd för olycka med sprängämnen, klass 1.1, tåghastigheter över 40 km/h.



Figur 10. Händelseträd för olycka med sprängämnen, klass 1.1, tåghastigheter under 40 km/h.

Sannolikheten för att en vagn med mycket brandfarliga vätskor skall vara med på tåget tas från ingångsdaten i figur 1. (I figur 9 och 10 anges ett värde från ett tidigare projekt, det aktuella värdet har dock används i beräkningarna.)

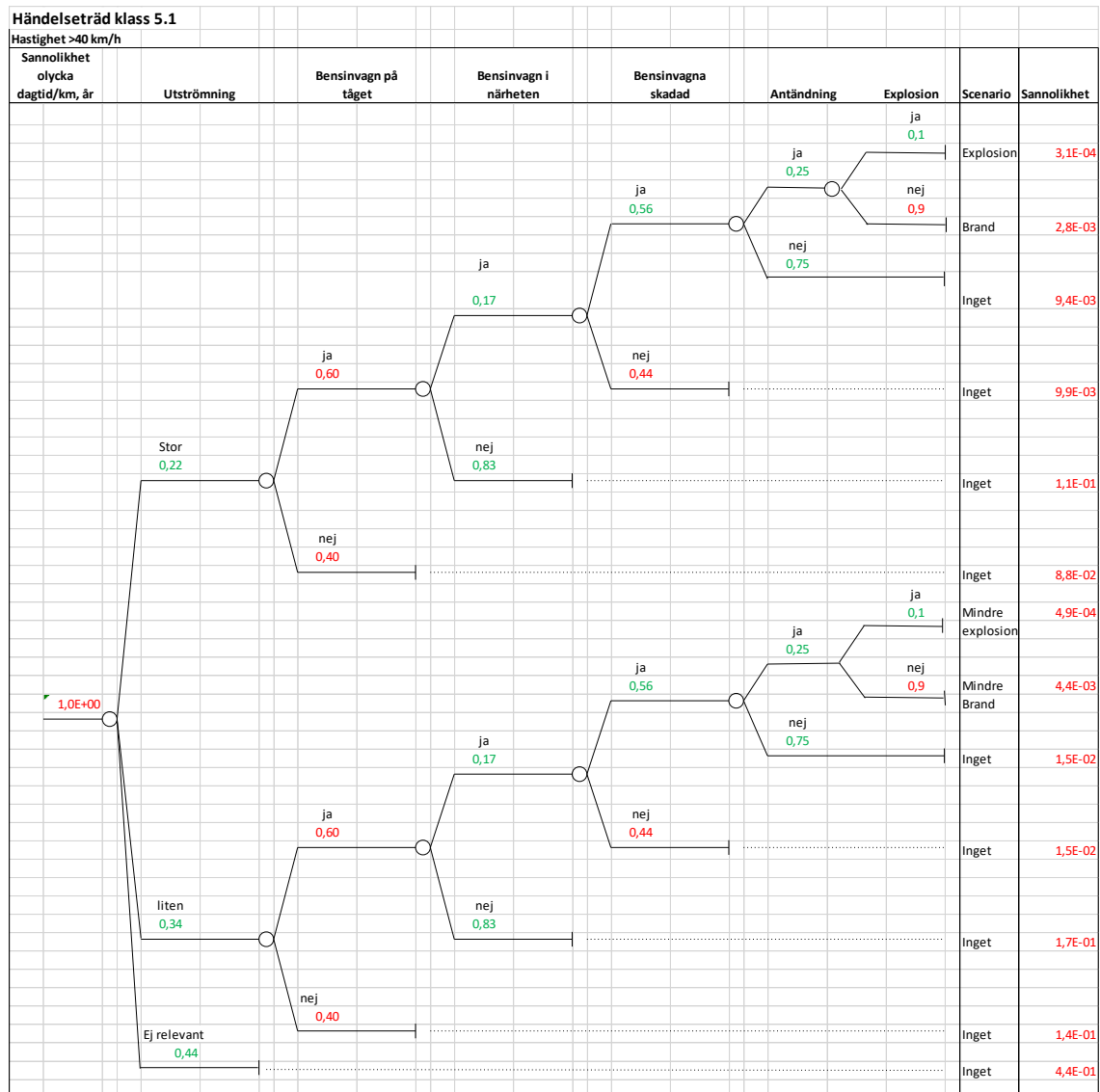
2.3 Klass 5.1

Detta scenario baseras på att transportererna 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.

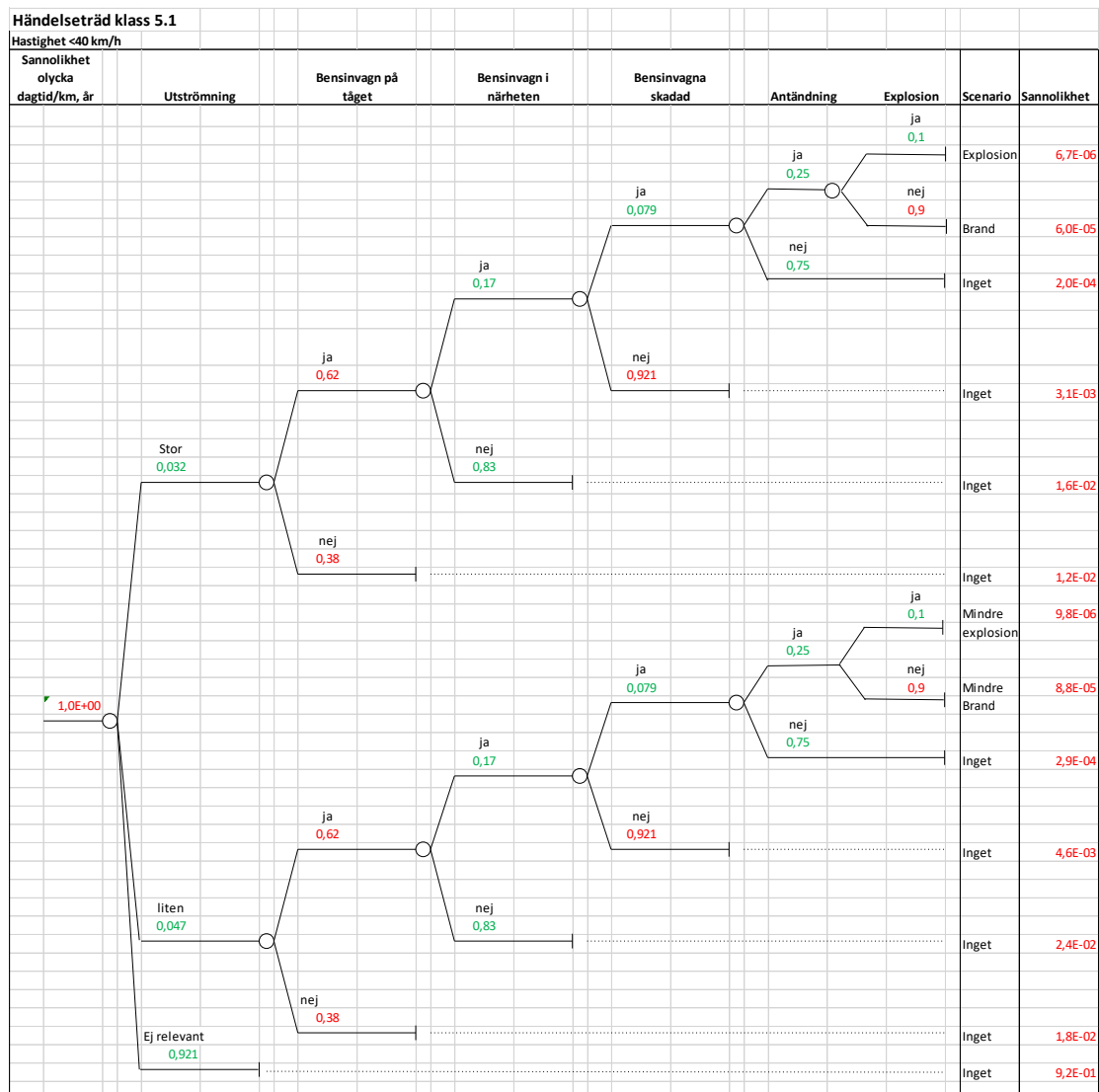
För att en olycka med en transport med oxiderande ämnen skall leda till betydande konsekvenser krävs att det oxiderande ämnet blandas med bensin och att blandningen antänds. För att detta skall ske måste flera förutsättningar vara uppfyllda:

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 11 och 12 nedan. Händelseträdet är baserat på statistik för tunnväggiga tankbilar. I de visade händelseträden utgår 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 använts som finns i figur 1.



Figur 11. Händelseträd oxiderande ämnen i klass 5.1 som kan orsaka explosion. Tåghastigheter över 40 km/h



Figur 12. Händelseråd oxiderande ämnen i klass 5.1 som kan orsaka explosion. Tåghastigheter under 40 km/h

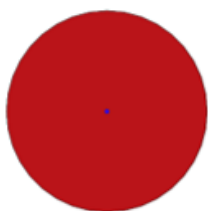
3 Konsekvenser av scenario

Detta steg görs i QGIS där antalet omkomna i var och ett av scenarierna beräknas med ekvationen nedan.

$N = \text{Överlappande område} \times \text{sannolikhet omkomna} \times \text{befolkningstäthet}$

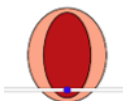
Det överlappande området är det område som påverkas av ett effektområde för de olika scenarierna. Sannolikheter för omkomna (P) och effektområdets form kan ses i *figur 13*. För klass 2.1, klass 2.2 och klass 3 har sannolikhet för omkomna och effektområdets storlek tagits från den nederländska beräkningsmetoden RBM II. För klass 1.1 och klass 5.1 beskrivs mer i detalj hur sannolikheterna och effektområdets storlek har beräknats i *avsnitt 3.1* respektive *3.2*.

Klass 1 och klass 5



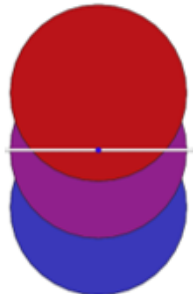
	Klass 1	Klass 5 stor	Klass 5 liten
Radie (begränsas av avstånd till första raden + bredd på byggnad)	152 meter	152 meter	121 meter
P (inne)	0,17	0,17	0,17
P (ute)	1	1	1

Jet



	Effektområde 1	Effektområde 2
Major axis (halva längden)	47 meter	52,6 meter
Minor axis (halva bredden)	23 meter	45,9 meter
Avstånd centrum	39 meter	39 meter
P (inne)	1	0
P (ute)	1	0,5

Molnbrand momentan



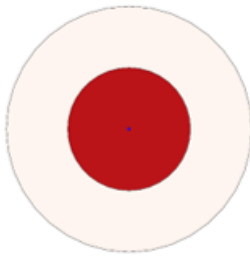
	Vind mot (röd cirkel)	Vind längs (lila cirkel)	Vind från (blå cirkel)
Radie	133,5 meter	133,5 meter	133,5 meter
Avstånd centrum	85 meter	0	-85 meter
P (inne)	1	1	1
P (ute)	1	1	1

Molnbrand kontinuerlig



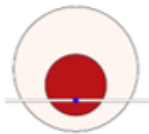
	Vind mot (röd yta)	Vind längs (lila yta)
Maximala längd	70 meter	70 meter
Maximala bredd	13,7 meter	5 meter
P (inne)	1	1
P (ute)	1	1

Gasexplosion momentan



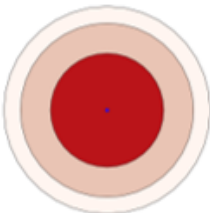
	Effektområde 1	Effektområde 2
Radie	163 meter	325 meter
P (inne)	1	0,025
P (ute)	1	0

Gasexplosion kontinuerlig



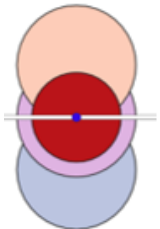
	Effektområde 1	Effektområde 2
Radie	47 meter	95 meter
Avstånd centrum	23,5 meter	47,5 meter
P (inne)	1	0,025
P (ute)	1	0

BLEVE



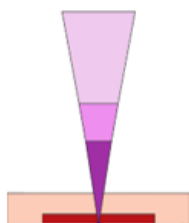
	Effektområde 1	Effektområde 2
Radie	102 meter	156 meter
P (inne)	1	0
P (ute)	1	0,6

Giftiga gaser momentan



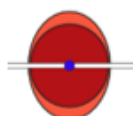
	Effektområde 1 (röd cirkel)	Effektområde 2, vind mot (beige cirkel)	Effektområde 2, vind längs (lila cirkel)	Effektområde 2, vind från (blå cirkel)
Radie	46 meter	57,5 meter	57,5 meter	57,5 meter
Avstånd centrum	0	65 meter	0	-65 meter
P (inne)	0,1	0,03	0,03	0,03
P (ute)	1	0,3	0,3	0,3

Giftiga gaser kontinuerligt



	Vind mot (lila yta), effektområde 1	Vind mot (lila yta), effektområde 2	Vind mot (lila yta), effektområde 3	Vind längs (röd yta), effektområde 1	Vind längs (röd yta), effektområde 2
Maximala längd	174 meter	232 meter	374 meter	240 meter	374 meter
Maximala bredd	51,3 meter	70,5 meter	121 meter	18 meter	61 meter
P (inne)	0,1	0,06	0,03	0,1	0,03
P (ute)	1	0,6	0,3	1	0,3

Pölbrand



	Pölbrand stor		Pölbrand liten	
	Effektområde 1	Effektområde 2	Effektområde 1	Effektområde 2
Major axis	14,5 meter	17,7 meter	11 meter	16 meter
Minor axis	13,9 meter	14,4 meter	10 meter	11 meter
P (inne)	1	0	1	0
P (ute)	1	0,4	1	0,4

Figur 13. Effektområdenas form och sannolikhet för omkomna. Figuren är ej skalenlig.

3.1 Klass 1

Vid beräkning av explosionslast utgås 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 14* som tagits från rapporten Dynamisk lastpåverkan – Referensbok (SRV 2005). För en närmare förklaring av beräkningsmetoden hänvisas till denna rapport.

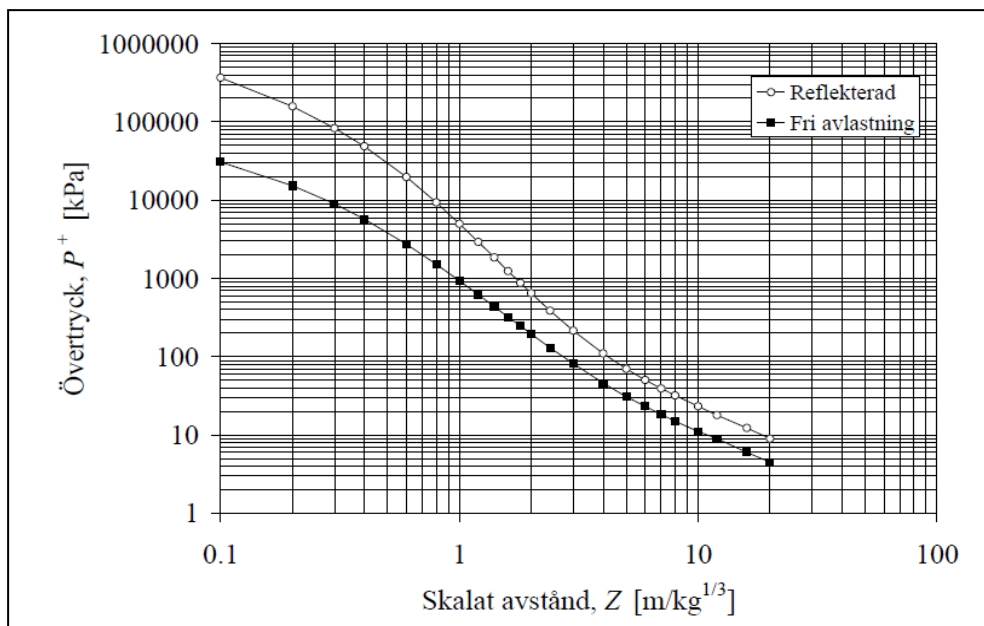
Z är det ska skalade avståndet enligt nedan

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

R = avstånd från explosionscentrum (m)

M = mängd sprängämne i explosionen (kg)

Figur 14 ger övertrycket p_+



Figur 14. 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
$M^{1/3}$ (kg ^{1/3})		23,2	29,2
Z	p^+		
m/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

3.1.1 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. Detta tryck uppnås enligt *tabell 1* ungefär 152 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 121 m.)

Sammantaget antas att byggnader närmast järnvägen får allvarliga skador inom 152 m från explosionen. Bebyggelsen bakom skyddas i stor utsträckning av husen framför och antas inte få lika betydande skador.

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 järnvägen

3.1.2 Skador utomhus

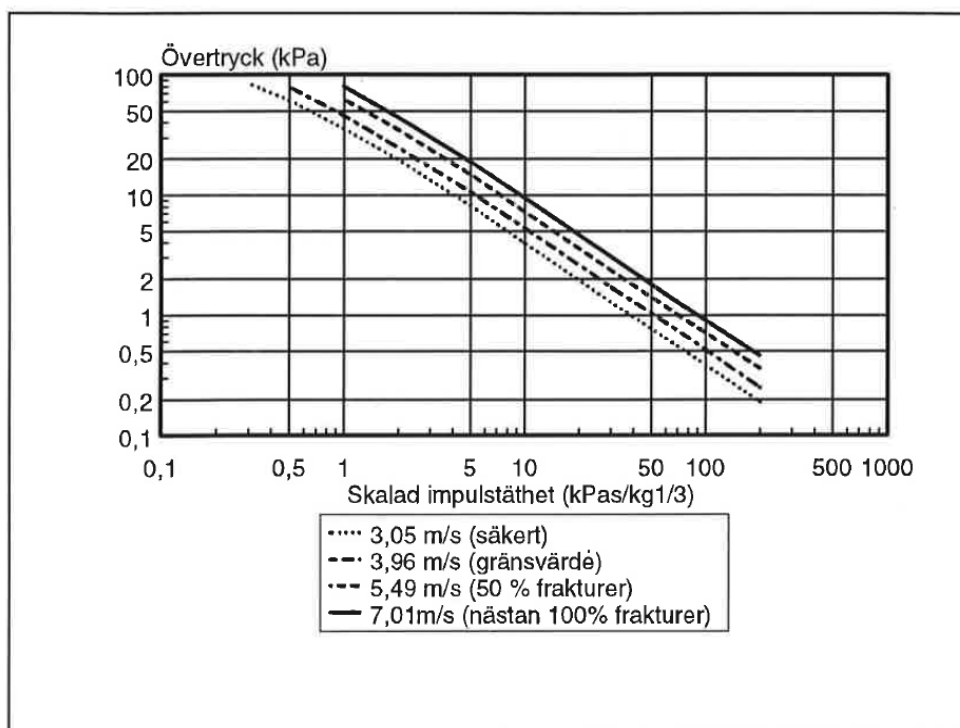
Direkta skador pga. tryck

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 15* och *tabell 1*. På 75 m har sannolikheten avtagit till 50 % och minskar till 10 % på ca 90 m.



Figur 15. 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.

3.2 Klass 5.1

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).

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.

3.3 Individrisk

Individrisk beräknas med hjälp av följande ekvation:

$$IR(x) = F_{olycka} \times vind \times b(x) \div andel$$

I individrisk beräknas bredden $b(x)$ med bredden som anges i *figur 13*. För effektområden där centrum av ellipserna eller cirkelarna inte är på transportvägen räknades bredden $b(x)$ som maximala bredd fram till centrum.

Eftersom bredden $b(x)$ baseras på distans från transportvägen så beräknas individrisk med 5 meters mellanrum.

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 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
Kallin 2019	Risk assessment of transport of dangerous goods with GIS, Chalmers tekniska högskola, 2019. https://hdl.handle.net/20.500.12380/300121 (Hämtad 2019-08-20)
SMHI 2006	Vindstatistik för Sverige 1961–2004, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), Nr 121 2006
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

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

Bilaga 3 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

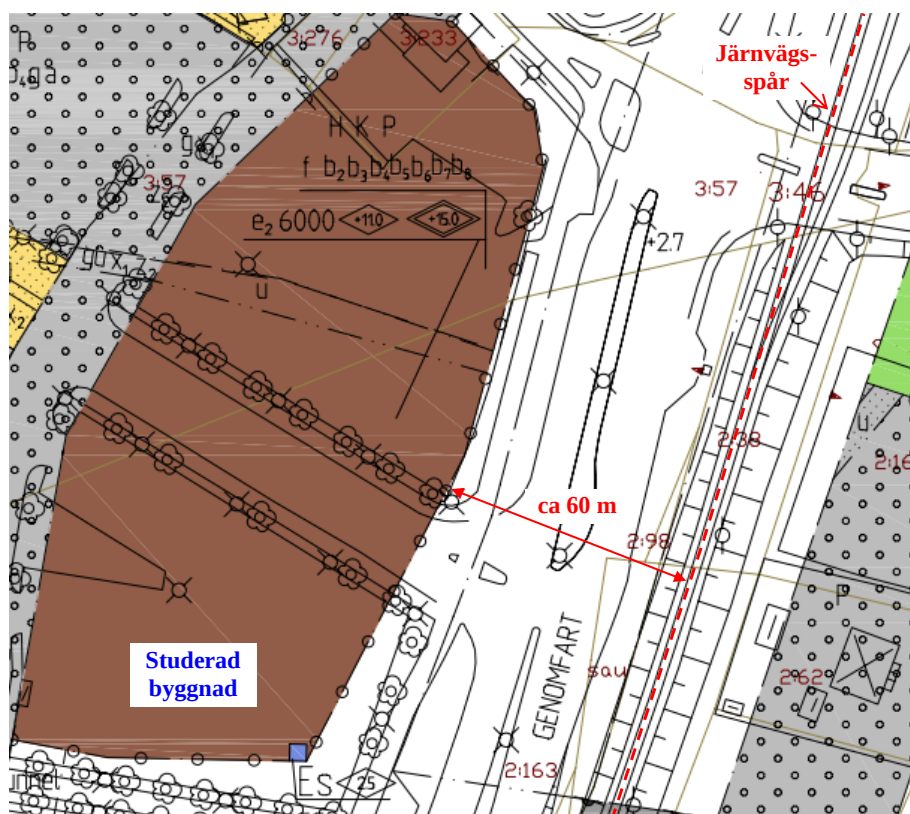
Bakgrund

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

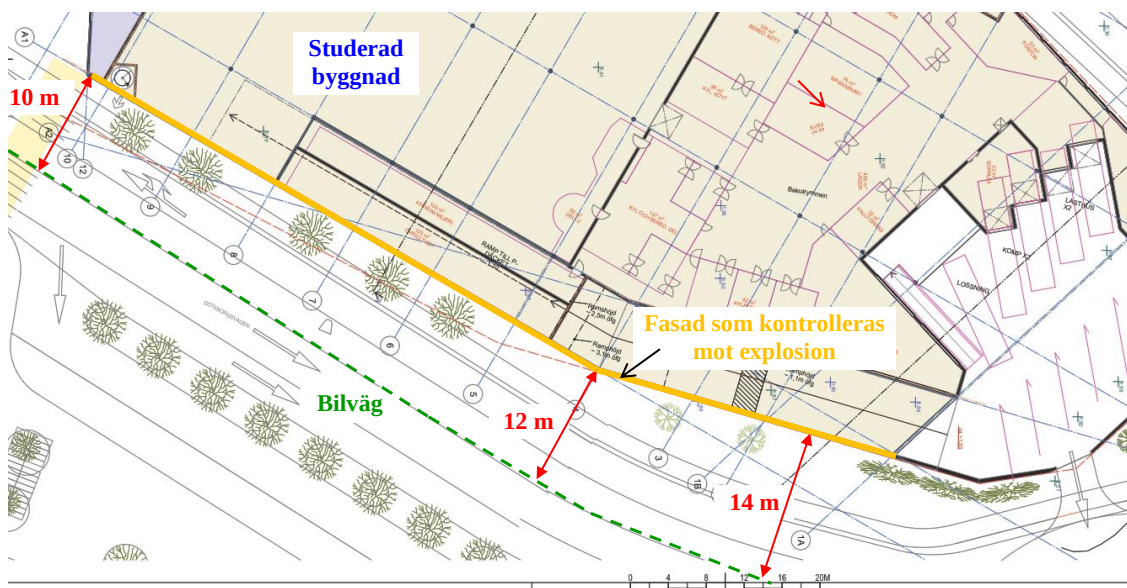
I Figur 1 illustreras järnvägens läge i förhållande till studerad byggnad och av detta framgår att kortaste avståndet mellan järnväg och fasad är omkring 60 m. Området däremellan utgörs till stor del av en bilväg (ej korrekt dragning i Figur 1). I Figur 2 visas bilvägens läge i förhållande till studerad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

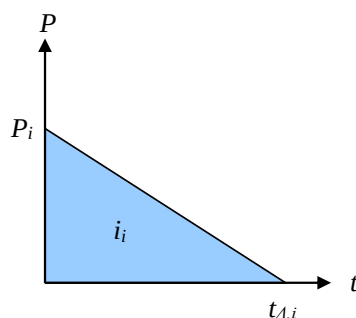
I här utförd lastframtagning har utgått från tre fall enligt nedan:

- **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

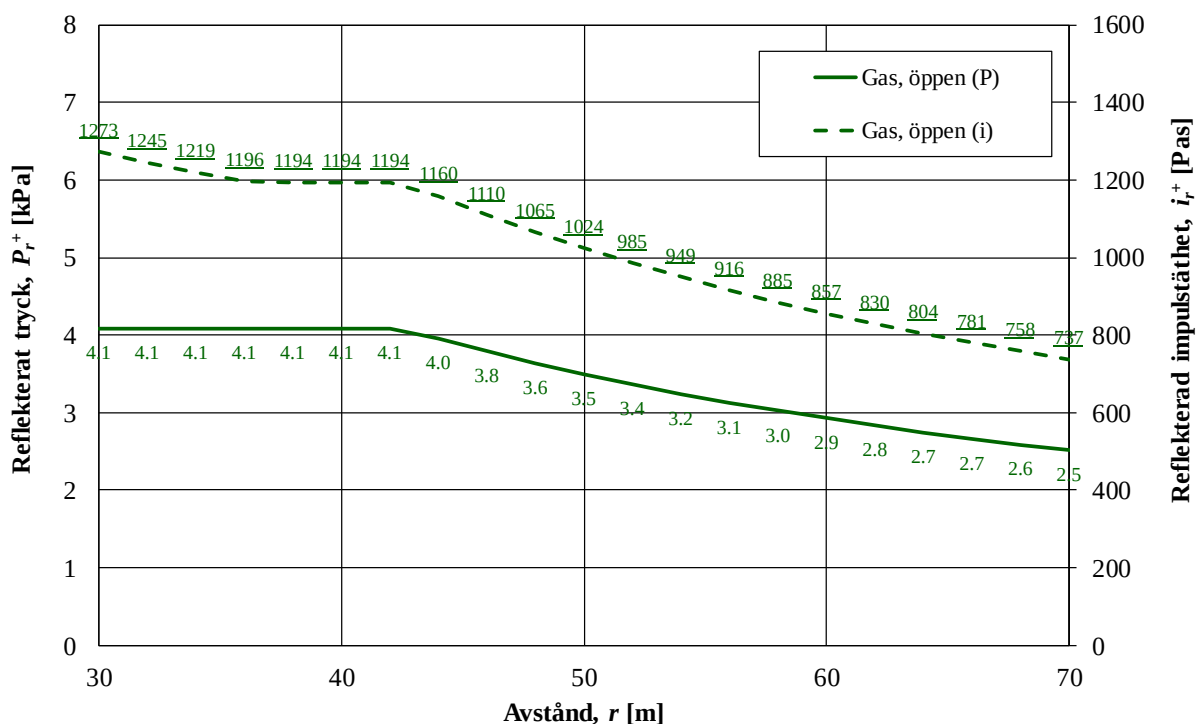
Explosionscentrum antas vara placerad i den aktuella volymens mitt. För en öppen yta fås detta i mitten av den antagna cylindern medan det för en blockerad och starkt blockerad volym hamnar i en linje motsvarande vägmitt hos bilväg, se Figur 2. Detta innebär att $r = 30$ m för en explosion på en öppen 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_1 samt impulstäthet i_1 . 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.



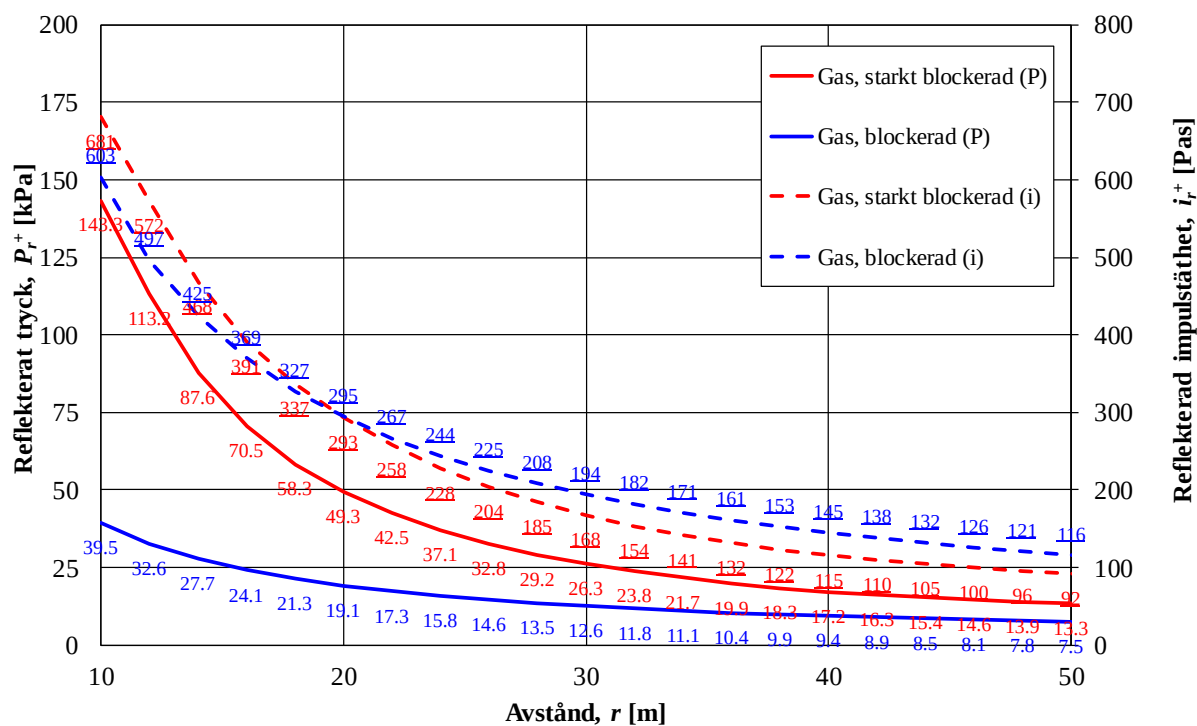
Figur 3 Triangulärt last-tidssamband från gasexplosion.

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.