

Riskutredning detaljplan



Bergsgruvans park, Stockholm

2023-05-16

PROJEKTNAMN
Bergsgruvans park

STATUS
Version 1

FASTIGHET OCH KOMMUN
Del av Södermalm 4:1, Stockholm

UPPDRAGSGIVARE
Wallenstam Fastigheter AB

UPPDRAGSANSVARIG
Håkan Niva

HANDLÄGGARE
Håkan Niva



Briab
The right side of risk



Innehåll

1. Inledning	3
1.1. Bakgrund	3
1.2. Syfte och mål	3
1.3. Omfattning och avgränsningar	3
1.4. Metod	3
1.5. Underlag	4
1.6. Kvalitetsledningssystem	4
1.7. Revideringar och egenkontroll	4
2. Riskhänsyn vid fysisk planering	5
2.1. Fysisk planering	5
2.2. Risk	5
2.3. Regelverk och styrande dokument	5
2.4. Metodik, principer och kriterier för riskvärdering	7
3. Planområdets förutsättningar	11
3.1. Planområdet och planförslaget	11
3.2. Västra stambanan och Stockholm södra	11
3.3. Personintensitet	14
4. Riskinventering och analys	15
4.1. Transport av farligt gods	15
4.2. Mekanisk skada vid urspårning	18
4.3. Projektspecifika data för beräkningar	19
5. Risknivåer och riskvärdering	21
5.1. Individrisk	21
5.2. Samhällsrisk	22
5.3. Stations- och spårområdets effekt på olycksförlopp	22
5.4. Riskvärdering och bedömning av lämpliga säkerhetshöjande åtgärder	23
6. Slutsatser	25
6.1. Allmänt	25
6.2. Rekommendationer	25
7. Referenser	26

Beräkningsbilagan i slutet av rapporten innehåller följande delar:

- Bilaga A – Frekvenser för olycka med farligt gods
- Bilaga B – Konsekvenser av olyckor med farligt gods
- Bilaga C – Frekvenser och konsekvenser för mekanisk skada vid urspårning
- Bilaga D – Risknivåer
- Bilaga E – Diskussion om modell och indata
- Bilaga F – Säkerhetshöjande åtgärder



1. Inledning

1.1. Bakgrund

Briab har fått i uppdrag av Wallenstam att utreda den riskbild som är förknippad med exploatering av Bergsgruvans park, inom del av Södermalm 4:1 i Stockholm. Utredningen görs utifrån plan- och bygglagens (2010:900) krav på att bebyggelse ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till människors hälsa och säkerhet, och risken för olyckor.

Syftet med detaljplanen är att pröva lämpligheten för bostäder, strax norr om Stockholm Södra station och Västra stambanan.

1.2. Syfte och mål

Syftet med riskutredningen är att bedöma riskbilden som är förknippad med planerad markanvändning inom planområdet. Målet med utredningen är att ta fram ett underlag för aktuell detaljplaneprocess.

1.3. Omfattning och avgränsningar

Med risk avses i dessa sammanhang en sammanvägning av frekvensen för en olycka och dess konsekvens. Rapporten behandlar akuta risker för människors liv, så kallade olycksrisker vilka är relaterade till transport av farligt gods och omkringliggande farliga verksamheter. Följande risker behandlas ej:

- Risker för egendom, arbetsmiljö och påverkan på miljön.
- Risker förknippade med långsamma och negativa hälsoeffekter, så som buller, vibrationer, radioaktiv strålning, elektromagnetiska fält och luftföroreningar.
- Risker relaterade till trafiksäkerhet som påkörning av personer och elsäkerhet vid järnvägen.

Tidshorisont för utredningen är vald till 2040 med tanke på trafikuppgifter.

Denna riskutredning omfattar följande typer av riskkällor:

- Transport av farligt gods på Västra stambanan.
- Mekanisk skada vid urspårning på Västra stambanan.

Riskanalysen besvarar följande centrala frågeställningar.

- Hur kan riskhänsyn visas och finns det ett behov av åtgärder eller begränsningar för att möjliggöra föreslagen utveckling av planområdet?

1.4. Metod

Följande metodik används i denna riskutredning:

1. Riskidentifiering. För att ta reda på vilka riskkällor som kan vara relevanta för området studeras området (med omgivning) inom ramen för utredningens avgränsningar. I riskidentifieringen görs en första översiktlig bedömning för att sålla ut vilka riskkällor som erfordrar fördjupad analys.
2. Fördjupad analys. De olyckshändelser som är svårbedömda och väntas ge upphov till förändrad risknivå för området analyseras mer ingående via separata analyser.



Händelsernas frekvenser och konsekvenser studeras via logiska argument och/eller via kvantitativa, probabilistiska metoder för att uppskatta risknivån.

Analysen arbetar efter följande frågeschema:

- Vad kan hända?
 - Hur ofta kan det hända?
 - Vilka blir konsekvenserna?
 - Hur stor är risken?
3. Riskvärdering. Uppskattade risknivåer ställs samman och en riskvärdering genomförs. Eventuella säkerhetshöjande åtgärder med koppling till markanvändning och funktion identifieras och därefter verifieras att de ger avsedd effekt på risknivån, det vill säga att den sjunker till en acceptabel nivå. Säkerhetshöjande åtgärder kan exempelvis vara att rekommendera mindre känslig verksamhet, verksamhet där människor inte uppehåller sig längre stunder, skyddsavstånd eller tekniska lösningar och funktionskrav.

1.5. Underlag

Nedan framgår vilket planeringsunderlag som nyttjats i utredningen.

HANDLING	UPPRÄTTAD AV	DATUM
Situationsplan	Brunnberg & Forshed, Wallenstam	2023-04-25

1.6. Kvalitetsledningssystem

Denna rapport omfattas av egenkontroll enligt anvisningarna i Briabs kvalitetsledningssystem, vilket är certifierat enligt ISO 9001. Egenkontrollen omfattas av en handläggarkontroll samt en kvalitetsgranskning genomförd av en särskild utsedd kvalitetskontrollant inom Briab. Vid kontrollen används en särskild checklista för att säkerställa att relevanta krav tillgodosätts. Checklistan ser olika ut beroende på typ av uppdrag och handling. Revideringar av handlingar ska normalt genomgå samma kontroll som ovan. Mindre formaliaändringar som inte påverkar utformning i övrigt får ske av handläggare själv. I dessa fall ska detta framgå i handlingen.

1.7. Revideringar och egenkontroll

Datum och revideringsdatum samt handläggare och kvalitetsgranskare för samtliga framtagna versioner av denna handling sammanfattas i tabell nedan:

DATUM	STATUS	HANDLÄGGARE	KONTROLL
2023-05-16	Version 1	Håkan Niva	David Winberg



2. Riskhänsyn vid fysisk planering

2.1. Fysisk planering

Fysisk planering regleras av plan- och bygglagen och miljöbalken och är en delprocess i samhällsplaneringen. Den fysiska planeringen reglerar användningen av mark- och vattenområden i tid och rum. Den fysiska planeringen tar oftast sin form i översiktsplaner och detaljplaner, som båda tas fram av kommunen som är självbestämmande i dessa frågor. Länsstyrelsen har i processen en rådgivande och granskande roll. Länsstyrelsens uppgift är att företräda och samordna statens intressen samt bevaka särskilda frågor kopplat till bland annat riksintressen och frågor som rör hälsa och säkerhet.

2.2. Risk

Begreppet **risk** kan tolkas på olika sätt. I denna utredning tolkas risk som en oönskad händelses sannolikhet multiplicerat med omfattningen av dess konsekvens, vilka kan vara kvalitativt eller kvantitativt bestämda. I utredningen kvantifieras risk med två olika riskmått, individ- respektive samhällsrisk.

Med **individrisk**, eller platsspecifik risk, avses risken för en enskild individ att omkomma av en specifik händelse under ett år på en specifik plats. Individrisken är oberoende av hur många människor som vistas inom ett specifikt område och används för att se till att enskilda individer inte utsätts för oacceptabelt höga risknivåer [1].

Samhällsrisk, eller kollektivrisken, visar den ackumulerade sannolikheten för det minsta antal människor som omkommer till följd av konsekvenser av oönskade händelser. Till skillnad från individrisk tar samhällsrisk hänsyn till den befolkningsituation som råder inom undersökt område [1].

2.2.1. Riskhänsyn

Kommunernas planer prövas alltid av länsstyrelsen med avseende på miljö, hälsa och risken för olyckor. Riskhänsyn i fysisk planering är därför högst relevant, och viktigt att ta med i planeringsprocessens tidiga skeden för att minska sårbarhet och öka planområdets robusthet [2].

Alla verksamheter är förknippade med risker som människor till viss grad accepterar, och nytta i en aspekt balanseras med en riskkostnad i densamma. I planprocessen innebär en alltför strikt riskhänsyn mycket stora skyddsavstånd från transportleder och verksamheter, vilket i sin tur kan innebära dålig stadsuppbyggnad och ineffektiv markanvändning. En riskanalys i en planprocess syftar därför till att optimera markanvändningsnytta till en låg riskkostnad.

2.3. Regelverk och styrande dokument

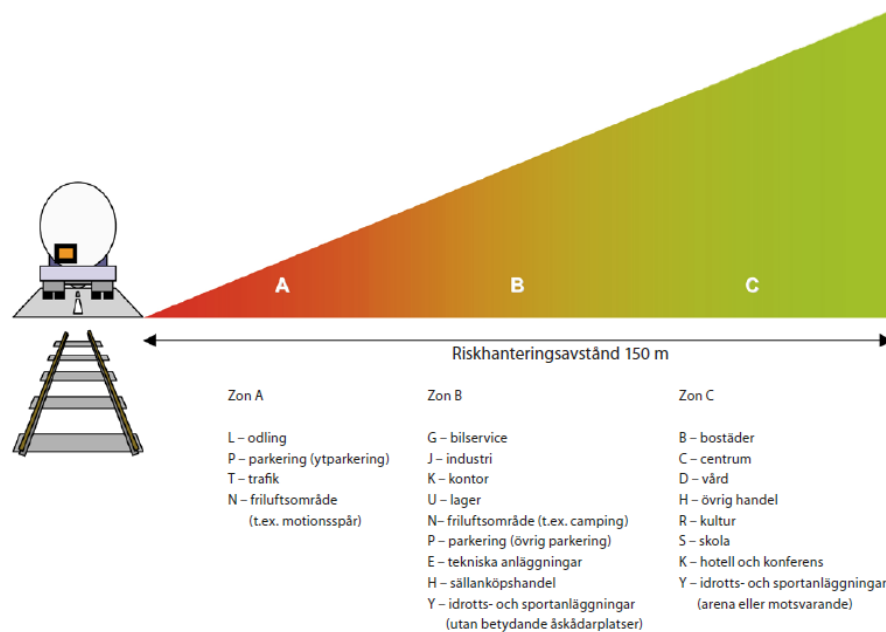
2.3.1. Plan- och bygglagen (2010:900)

Plan- och bygglagen (2010:900) anger att bebyggelse och byggnadsverk ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till bland annat människors hälsa och säkerhet. Vidare ska bebyggelse och byggnadsverk utformas och placeras på den avsedda marken på ett sätt som ger lämpligt skydd mot uppkomst och spridning av brand och mot trafikolyckor och andra olyckshändelser.



2.3.2. Riskpolicy från Länsstyrelserna i Skåne, Stockholm och Västra Götalands län

Länsstyrelserna i Skåne, Stockholm samt Västra Götalands län gemensamma dokument *Riskhantering i detaljplaneprocessen* anger att riskhanteringsprocessen ska beaktas vid markanvändning inom 150 meter från en transportled för farligt gods [3]. I Figur 1 illustreras lämplig markanvändning i anslutning till transportleder för farligt gods. Zonerna har inga fasta gränser, utan riskbilden för det aktuella planområdet är avgörande för markanvändningens placering. En och samma markanvändning kan därmed tillhöra olika zoner.

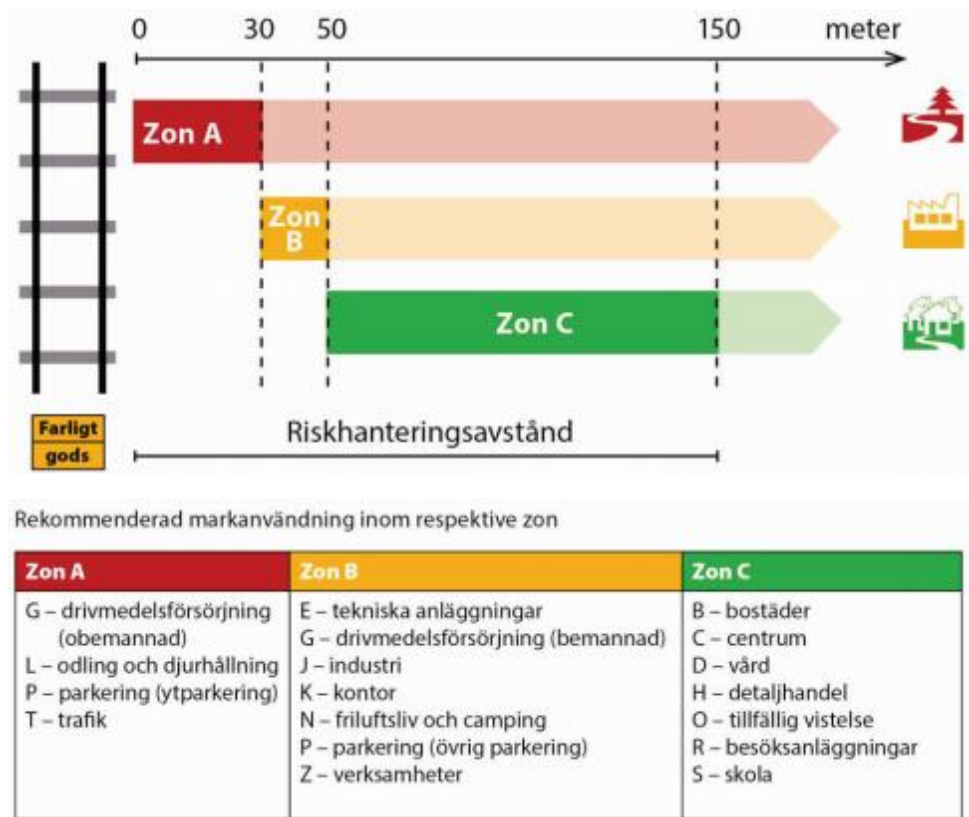


Figur 1. Zonindelning för riskhanteringsavstånd [3]. Zonerna representerar lämplig markanvändning i förhållande till transportled för farligt gods. Zonerna har inga fasta gränser.

2.3.3. Riktlinjer från Länsstyrelsen Stockholm

Specifika rekommendationer rörande bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer publicerades 2000 [4]. Länsstyrelsen anser i dessa rekommendationer att ny bebyggelse inte bör medges så nära farligt gods-leder till transporterna med farligt gods till slut omöjliggörs. I de senast utgivna riktlinjerna från 2016, [5], rekommenderar Länsstyrelsen i Stockholm att markanvändning intill järnvägar där det transporteras farligt gods generellt bör planeras med de i Figur 2 angivna skyddsavstånden (zon A, B och C).

För bostäder intill järnvägar innebär det ett rekommenderat skyddsavstånd på 50 meter från närmaste spårmit. Vidare anger Länsstyrelsen att det ska finnas ett bebyggelsefritt avstånd på minst 25 meter utmed järnvägar där det transporteras farligt gods. Det är dock viktigt att riskbilden för det aktuella planförslaget ligger till grund vid bedömningen.



Figur 2. Rekommenderade skyddsavstånd mellan järnväg där det förekommer farligt gods och olika typer av markanvändning [5]. Avstånden mäts från närmaste spårmitte.

2.4. Metodik, principer och kriterier för riskvärdering

2.4.1. Metodik för riskhantering

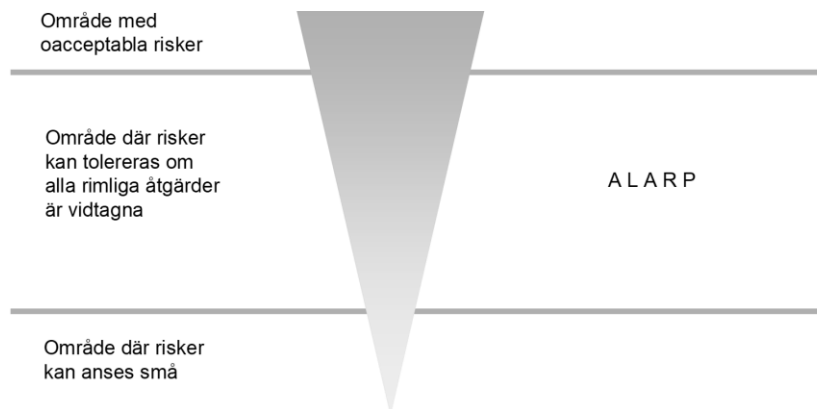
Riskhanteringsprocessen utgör ett systematiskt och kontinuerligt arbete för att kontrollera eller minska olycksrisker. Hanteringen kan delas in i tre delar: riskanalys, riskvärdering och riskreduktion. Dessa behandlar allt från identifiering av riskkällor och potentiella olyckshändelser till beslut om och genomförande av säkerhetshöjande åtgärder samt uppföljning av att besluten ger avsedd påverkan på riskbilden. Schematiskt kan processen beskrivas enligt Figur 3.



Figur 3. Metodik för riskhantering [3].

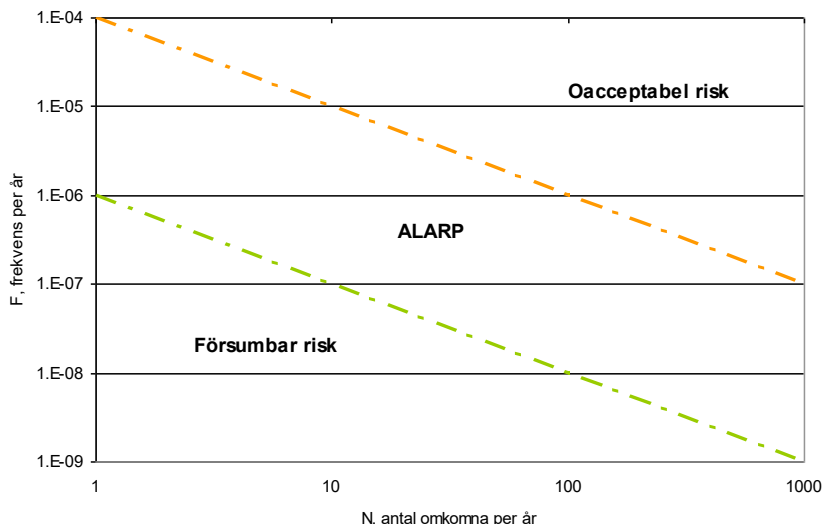
2.4.2. Allmänt om kriterier för riskvärdering

Kriterier för riskvärdering kommer att användas för att avgöra om risknivån är acceptabel eller inte. Acceptanskriterierna uttrycks vanligen som sannolikheten för att en olycka med en given konsekvens skall inträffa. Risker kan delas in i tre kategorier. De kan anses vara acceptabla, acceptabla med restriktioner eller oacceptabla. Figur 4 beskriver principen för riskvärdering [1].



Figur 4. Princip för uppbyggnad av riskvärderingskriterier [1].

Om en risk anses vara acceptabel med restriktioner innebär det att risknivån är i ett område som vanligtvis benämns "ALARP", vilket är en förkortning av "As Low As Reasonably Practicable". Befinner sig risken för en olycka inom detta område bör riskerna reduceras så mycket som är möjligt utifrån samhällsekonomiska och praktiskt perspektiv. Konkret kan det efter en avvägning avseende kostnad och riskreduktion innebära en kombination av olika säkerhetshöjande åtgärder. Exempel på sådana säkerhetshöjande åtgärder kan vara separering (avstånd till transportleden), differentierad bebyggelse, byggnadstekniska åtgärder och utformning av området närmast transportleden. I Figur 5 visas hur ALARP-zonen kan definieras med kvantitativa mått.



Figur 5. Illustration av ALARP-zonen för samhällsrisk med exempel på riskvärderingskriterier [1].

2.4.3. Räddningsverkets (MBS:s) fyra principer för riskvärdering

För risker förknippade med människors hälsa och säkerhet bedöms risknivåerna övergripande utifrån de fyra principer som utarbetats av Räddningsverket, nuvarande MSB [1]:

- **Rimlighetsprincipen** - Risker som med tekniskt och ekonomiskt rimliga medel kan elimineras eller reduceras ska alltid åtgärdas (oavsett risknivå).
- **Proportionalitetsprincipen** - En verksamhets totala risknivå bör stå i proportion till den nytta i form av exempelvis produkter och tjänster som verksamheten medför.
- **Fördelningsprincipen** - Riskerna bör, i relation till den nytta verksamheten medför, vara skäligt fördelade inom samhället.
- **Principen om undvikande av katastrofer** - Om risker realiserats bör detta hellre ske i form av händelser som kan hanteras av befintliga resurser än i form av katastrofer.

Proportionalitets- och fördelningsprincipen och principen om undvikande av katastrofer uppfylls vid värdering med de kvantitativa värderingskriterierna för individ- och samhällsrisk. Rimlighetsprincipen kan uppfyllas genom exempelvis så kallad kostnad-nytta-analys [1].

2.4.4. Risker för tredje man

När riskvärdering och kriterier för risktolerans diskuteras ska graden av frivillighet att utsätta sig för den aktuella risken tas med, och därför skiljs det på personer som har anknytning till den aktuella riskkällan, och personer ur allmänheten, så kallat "tredje man". Denna uppdelning grundar sig i fördelningsprincipen som menar att enskilda grupper inte ska utsättas för oproportionerligt stora risker i förhållande till den nytta som den riskfyllda verksamheten genererar för dem, se avsnitt 2.4.3. Tredje man är alltså för verksamheten utomstående individer som inte är direkt inblandade i verksamhetens riskbild men som ändå kan löpa skada vid en olycka.

När det gäller transport av farligt gods eller andra risker i den fysiska planeringen räknas exempelvis boende, personer som befinner sig på offentliga platser eller i affärer som tredje man. Risknivåtoleransen för tredje man bör vara mycket låg, eftersom dessa personer endast har liten eller ingen nytta av att verksamheten bedrivs. För att risknivån ska anses tolerabel



för tredje man kan säkerhetshöjande åtgärder bli nödvändiga, och markanvändning kan behöva regleras genom att planera för exploatering avsedd för låg persontäthet.

2.4.5. DNV:s föreslagna kriterier

I Sverige finns inget nationellt beslut om vilket tillvägagångssätt eller vilka kriterier som ska tillämpas vid riskvärdering inom planprocessen. Praxis vid riskvärderingen är att använda Det Norske Veritas (DNV) förslag på riskkriterier gällande individ- och samhällsrisk [1].

För *individrisk* föreslog DNV följande kriterier:

- Övre gräns för område där risker, under vissa förutsättningar, kan accepteras: 10^{-5} per år.
- Övre gräns för område där risker kan kategoriseras som låga: 10^{-7} per år.

För *samhällsrisk* föreslog DNV följande kriterier:

- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras: $F=10^{-4}$ per år för $N=1$ med lutning på F/N-kurva: -1.
- Övre gräns för område där risker kan kategoriseras som låga: $F=10^{-6}$ per år för $N=1$ med lutning på F/N-kurva: -1.

Samhällsriskskriterierna ovan beräknas med frekvenser för 1 km transportled och avser ett område på 1 km² med den tillkommande bebyggelsen placerad i mittpunkt.

2.4.6. Jämförelser med andra olycksrisker i samhället

Intresseföreningen för Processsäkerhet (IPS) har i sin publikation *Tolerabel risk inom kemikaliehanterande verksamheter* sammanställt sannolikheten att omkomma av olika olycksrisker. Risken att omkomma under en livstid är 100 %, vilket kan uttryckas som att sannolikheten att dö är 1 för varje människa. Om risken att omkomma skulle fördelas jämnt över en livstid (100 år) blir den genomsnittliga sannolikheten att omkomma 1/100 per år, det vill säga 1 %. Men, sannolikheten att omkomma är inte jämnt fördelad. Under en livstid är sannolikheten lägst vid 7 års ålder och uppgår till cirka 0,0001 per år, vilket kan skrivas som 10^{-4} per år.

Vidare visar statistiken att risken att omkomma genom olyckshändelse i Sverige är $4 \cdot 10^{-4}$ per år för män och $3 \cdot 10^{-4}$ per år för kvinnor. Risken att omkomma i arbetsolycka i Sverige är $2 \cdot 10^{-5}$ per år för män och $2 \cdot 10^{-6}$ per år för kvinnor. Risken att omkomma i byggnadsbränder är också i storleksordningen $2 \cdot 10^{-5}$ per år och sannolikheten att omkomma på grund av blixtnedslag är cirka $4 \cdot 10^{-7}$ per år [6].

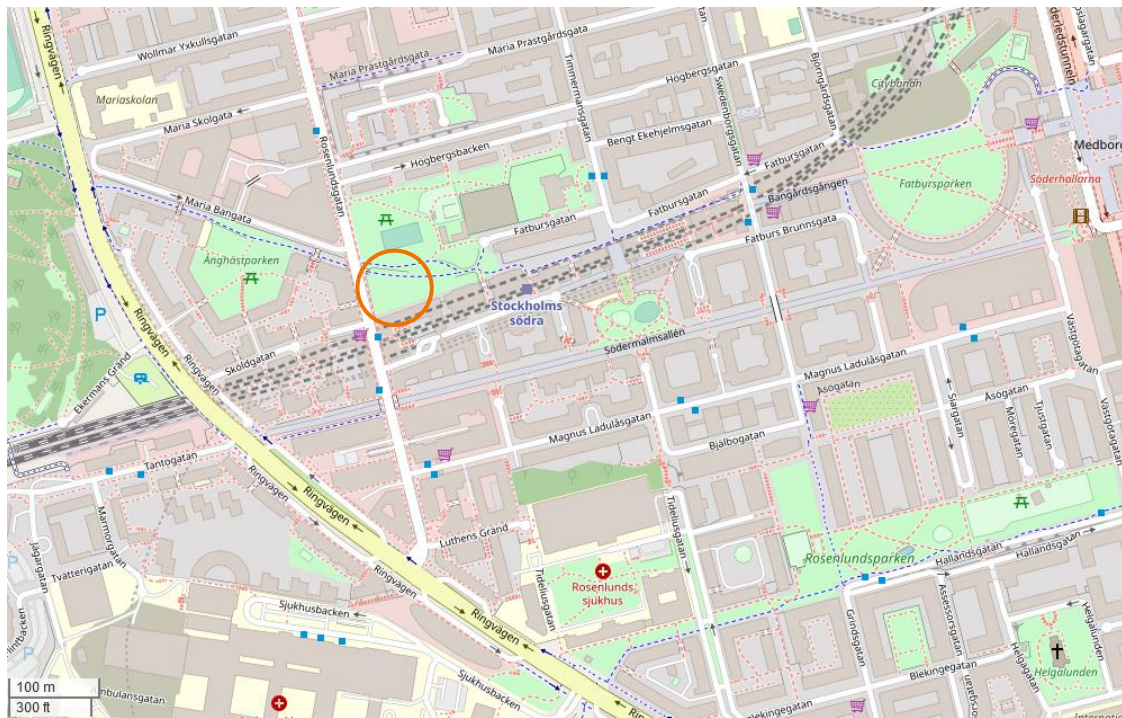


3. Planområdets förutsättningar

3.1. Planområdet och planförslaget

Planområdet är beläget på Södermalm strax norr om Stockholms södra station, där Västra stambanan passerar, se Figur 6. Både godståg och persontåg trafikerar sträckan. Ytan utgörs i dagsläget av park- och grönområde.

Väster om planområdet går Rosenlundsgatan, som går några meter ovanför marknivå inom planområdet. Den tänkta bebyggelsen utgörs av ett flerbostadshus (cirka 80 bostäder på 13 plan) med exempelvis cykelgarage, miljörum etcetera i de nedre tre planen. Byggnadens huvudentré kommer vara åt Rosenlundsgatan. I marknivå inom parkområdet finns tillträde till cykelförråd, cykelgarage och teknikutrymmen. På takvåningen planeras för en takterrass samt teknikutrymme.



Figur 6. Planområdets placering och avgränsning. Bildkälla: OpenStreetMap, redigerad av Briab.

Markanvändningen inom planområdet avses disponeras på ett sätt så att den allmänna risknivån i planområdet minskas. Byggnaden planeras med möjlighet till evakuering som inte vetter mot Västra stambanan. Huvudentrén möjliggör för utgång till Rosenlundsgatan åt väster.

3.2. Västra stambanan och Stockholm södra

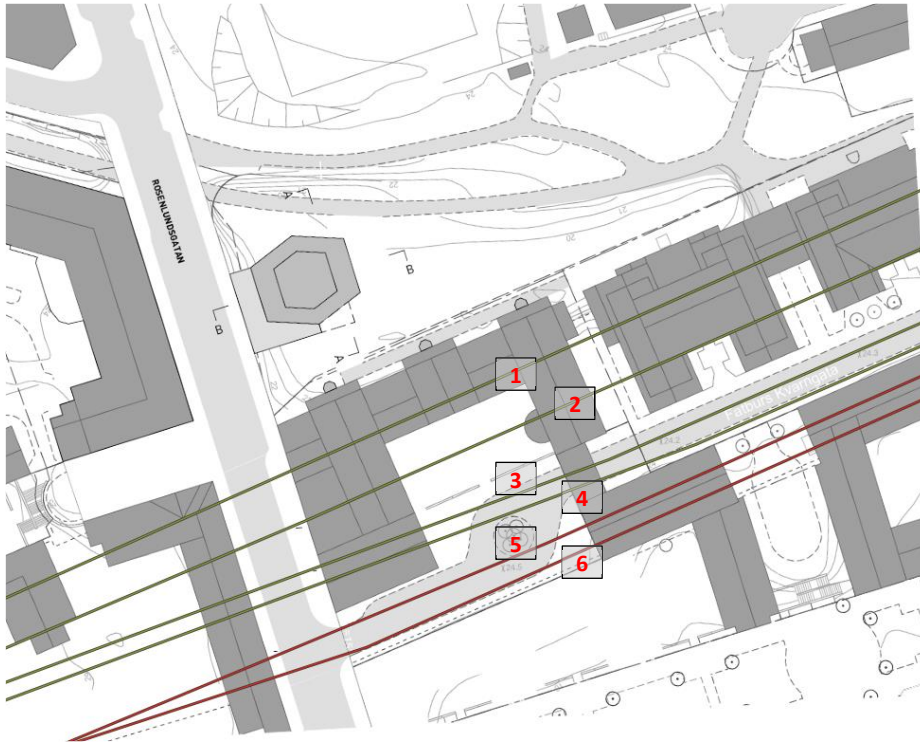
Söder om planområdet ligger Stockholm Södra station där Västra stambanan passerar. Det finns totalt sex järnvägsspår, med spår 1 längst norrut och spår 6 längst söderut, se Figur 7. Notera att figuren ej redovisar exakta mått utan är schematisk.



Spår 1–4 är genomgående spår. Spår 5 börjar cirka 100 meter väster om Rosenlundsgatan, och slutar tillsammans med spår 6 cirka 350 meter öster om planområdet. Spår 6 ansluter till spår 4 drygt 120 meter väster om Ringvägen.

Av de fyra genomgående spåren är det på spår 3 och 4 som den främsta delen av godstågstrafiken förekommer. Godståg kan dock förekomma på spår 1 och 2 närmast planområdet, varvid godståg på spår 1 till och med 4 beaktas som grundläggande förutsättning vid bedömning av risker och påverkan på planområdet.

Från spår 1 är avståndet cirka 25–30 meter till byggnaden inom planområdet.



Figur 7. Järnvägsspår i förhållande till föreslagen byggnad. De fyra genomgående spåren har markerats i grönt, och de två ej genomgående har markerats i rött. Bildkälla: ©Brunnberg & Forshed, Wallenstam, redigerad av Briab.

Inom Stockholms södra station är spåren nedsänkta i förhållande till marknivån inom markytorna i norr. Från stationen finns fönster som vetter norrut, Figur 8 visar hur detta ser ut inifrån stationens spårområde. Mellan det norra spåret och nästkommande spår finns en plattform som skiljer spåren åt.



Figur 8. Bild från spårområde inom Stockholms södra station där det nordligaste spåret syns i bildens nedre kant. Bildkälla: Briab.

Vyn mot stationen och spårområdet från markytan strax norr om stationen visas i Figur 9.



Figur 9. Bild från det planerade planområdet mot Brinckan 1 och Stockholms södra station. Bildkälla: Briab.

Ett bebyggelsefritt avstånd intill järnvägar bidrar med skydd mot olyckor samtidigt som det möjliggör för underhållsarbeten samt för räddningstjänst att genomföra insatser på spåren. I aktuellt fall är det ett stationsnära läge där järnvägen till stor del går under mark. Tunneln börjar cirka 200 meter västerut när Västra stambanan passerar under Ringvägen.

Byggnaden ovan spåren, med pelare och fundament bidrar tillsammans med höjdskillnaden mot planområdet med ett skydd mot fysisk påverkan vid en urspårning. Förutsättningarna medför att tåg som förolyckas och som i annat fall skulle lämnat spårområdet hålls kvar i spårområdets närhet och utgör ej risk för skada utanför spår- och stationsområdet. Den fysiska barriären tillsammans med höjdskillnaden kan vidare hindra utsläpp av farligt gods i vätskeform från att spridas mot planområdet. Hur dessa förutsättningar kan påverka risknivån redovisas i kapitel 5. Därutöver förs kvalitativa resonemang för hur spår- och stationsområdet kan påverka konsekvenserna vid en olycka med farligt gods.



3.2.1. Trafikuppgifter

Trafikuppgifter avseende årsdygnstrafik (ÅDT) för Västra stambanan via Stockholm Södra har hämtats från Trafikverkets excelfil T22 som har uppgifter för tågplan 2022 samt prognos för år 2040, se Tabell 1 [7]. Järnvägssträckan trafikeras i huvudsak av persontåg och de högre värdena som prognosen anger för år 2040 används vid beräkningarna.

Tabell 1. Inhämtade trafikuppgifter (ÅDT) avseende Västra stambanan via Stockholm Södra [7]. Värden enligt Prognos år 2040 används vid beräkning av risknivåer.

TÅGTYP	TÅGPLAN 2022	PROGNOS ÅR 2040
Godståg	18	19
Persontåg och övriga tåg	746	824

På spår 1, 3 och 4 är den största tillåtna hastigheten (STH) 60–89 km/h och spår 2 är STH 90–119 km/h [8]. Pendel-, regional- och snabbtåg kan tillåtas framföras i högre hastigheter än den skyltade, medan det inte gäller för godståg [9]. Vid beräkningar av risknivåer görs i detta fall ingen differentiering eller korrigering för skillnader i hastigheter på spåren, eller att tåg faktiskt stannar på stationen och därigenom bromsar in samt accelererar.

Den totala tågtrafiken på Västra stambanan genom Stockholm Södra fördelas jämnt över de fyra genomgående spåren (spår 1–4) i beräkningarna. Vid beräkningarna görs en förenkling avseende spårens lägen i förhållande till varandra. Spåren antas vara parallella och ha ett inbördes avstånd på 5 meter per spår, vilket inte är fallet i verkligheten. På vissa ställen är avståndet mellan spåren till exempel 10–15 meter. Risknivån mäts från närmaste spårmitt (spår 1), och förenklingen innebär generellt att spårområdet blir mindre brett i nordlig-sydlig riktning vilket ger något högre risknivåer inom planområdet eftersom olyckor inträffar närmare planområdet.

3.3. Personintensitet

För att bedöma samhällsrisik behövs underlag som visar på personintensiteten inom området samt personintensiteten i omgivningen. Området omkring planområdet är tätbebyggt med flertalet flerbostadshus, kontors- och handelsverksamheter samt caféer och restauranger med mera.

Från SCBs data för befolkningsfördelning för områden på 1x1 km utläses att befolkningen på Södermalm i området kring Bergsgruvans park är omkring 11 000–12 000 [10]. Det finns andra områden på 1x1 km på Södermalm där befolkningen anges vara omkring 5 000–6 000 samt uppemot och över 25 000. I omgivningen finns mycket kontor, restauranger, caféer och andra verksamheter. Att personer i hög grad ej vistas i hemmet under dagtid kan då kompenseras av en stor del inresande och pendlare personer.

Detaljplanen möjliggör för ett flerbostadshus med cirka 80 lägenheter fördelat på 13 våningar, med övriga våningar för cykelgarage, enstaka lokaler och takterrass. Antal tillkommande boende är cirka 120. Jämfört med omkringliggande bebyggelse har den planerade byggnaden fler våningar och mindre fotavtryck. Därmed kan det innebära ett lokalt stort tillskott i antalet personer, särskilt eftersom marken är obebyggd i dagsläget. I ett större perspektiv och jämfört med antalet personer som förväntas vistas i omgivningen är tillskottet dock litet.



4. Riskinventering och analys

4.1. Transport av farligt gods

Med farligt gods avses varor eller ämnen som har sådana egenskaper att de kan vara skadliga för människor, miljö och egendom om de inte hanteras rätt under transport [11]. Huvuddelen av olyckorna med farligt gods inblandat är i grunden trafikolyckor och åtgärder för att förbättra vägsäkerheten medverkar därför också till att minska risken för en olycka med farligt gods. Det finns andra händelser än trafikolyckor som kan ge ett utsläpp av farligt gods, till exempel fordonsbränder och handhavandefel vid lastning. En brittisk studie visar att andelen sådana händelser är i storleksordningen 5 % och det antas därmed att dessa händelser inryms i de konservativa skattningar av olycksfrekvenserna som rapporten bygger på [12].

4.1.1. Transportklasser (RID) och representativa scenarier

Transport av farligt gods på järnväg regleras i RID¹. Farligt gods utgörs av flera olika ämnen vars fysikaliska och kemiska egenskaper varierar, och i RID delas farligt gods in i nio "huvudklasser" beroende på vilka farliga egenskaper som ämnet har. I Tabell 2 beskrivs klasserna och karakteristiska konsekvenser för respektive klass.

Tabell 2. Kortfattad beskrivning av respektive RID-klass.

KLASS	KATEGORI	BESKRIVNING	KONSEKVENSER
1	Explosiva ämnen och föremål	Sprängämnen, tändmedel, ammunition, etc.	Orsakar tryckpåverkan, brännskador och splitter. Stor mängd massexplosiva ämnen ger skadeområde med 100 m radie (orsakat av tryckvåg). Personer kan omkomma både inomhus och utomhus. Övriga explosiva ämnen och mindre mängder massexplosiva ämnen ger enbart lokala konsekvenser.
2	Gaser	Inerta gaser (kväve, argon etc.) oxiderande gaser (syre, ozon, etc.), brandfarliga gaser (acetylen, gasol etc.) och giftiga gaser (klor, svaveldioxid etc.).	Förgiftning, brännskador och i vissa fall tryckpåverkan till följd av giftigt gasmoln, jetflamma, gasmolnsexplosion eller BLEVE. Konsekvensområden på över hundratals meter. Omkomna både inomhus och utomhus.
3	Brandfarliga vätskor	Bensin och diesel (majoriteten av klass 3) transporteras i tankar som rymmer maximalt 50 ton.	Brännskador och rökskador till följd av pölbrand, värmestrålning eller giftig rök. Konsekvensområden för brännskador utbreder sig vanligtvis inte mer än omkring 20 m från en pöl. Rök kan spridas över betydligt större område. Bildandet av vätskepöl beror på vägutformning, underlagsmaterial och diken etc. Kan ha giftiga egenskaper och avge skadliga ångor vid utsläpp.
4	Brandfarliga fasta ämnen	Kiseljärn (metallpulver), karbid och vit fosfor.	Brand, strålning och giftig rök. Konsekvenserna är vanligtvis begränsade till närområdet kring olyckan.

¹ RID är europeiska föreskrifter för transport av farligt gods på järnväg. I Sverige används den nationella anpassningen RID-S (MSBFS 2020:10 till och med 30 juni 2023, därefter MSBFS 2022:4).



KLASS	KATEGORI	BESKRIVNING	KONSEKVENSER
5	Oxiderande ämnen. Organiska peroxider	Natriumklorat, väteperoxider, kaliumklorat, ammoniumnitrat, etc.	Tryckpåverkan och brännskador. Självantändning, explosionsartat brandförlopp vid kontakt med brännbart organiskt material. Konsekvensområden för tryckvågor är uppemot 100 m.
6	Giftiga ämnen. Smittförande ämnen	Arsenik-, bly- och kvicksilversalter, bekämpningsmedel, etc.	Giftigt utsläpp. Konsekvenserna är vanligtvis begränsade till kontakt med själva olycksfordonet eller dess omedelbara närhet.
7	Radioaktiva ämnen	Medicinska preparat. Vanligtvis små mängder.	Utsläpp radioaktivt ämne, kroniska effekter, mm. Konsekvenserna begränsas till närområdet.
8	Frätande ämnen	Saltsyra, svavelsyra, salpetersyra, natrium- och kaliumhydroxid (lut).	Utsläpp av frätande ämne. Dödliga konsekvenser är begränsade till närområdet. Personskador kan uppkomma på längre avstånd.
9	Övriga farliga ämnen	Gödningsämnen, asbest, magnetiska material etc.	Konsekvenserna är vanligtvis begränsade till kontakt med själva olycksfordonet eller dess omedelbara närhet.

I tabellen ovan kan fyra olika typer av konsekvenser härledas:

- Brand
- Explosion
- Utsläpp av giftiga kemikalier
- Utsläpp av frätande kemikalier

Dessa konsekvenser kan härledas till olyckor med farligt gods i klass 1, 2, 3, 6 och 8. Ämnen i klass 4 (4.1-4.3), oxiderande ämnen och organiska peroxider i klass 5 (5.1 & 5.2), radioaktiva ämnen i klass 7 och övriga ämnens i klass 9 utgör normalt ingen fara för omgivningen då konsekvenserna koncentreras till fordonets närhet. Det finns dock undantag, till exempel kan oxiderande ämnen och organiska peroxider (klass 5) som blandas med brandfarliga vätskor (klass 3) orsaka explosioner. Föroreningar i en tank med väteperoxid (klass 5) kan orsaka ett skenande sönderfall med en tanksprängning som följd.

Utöver den uppdelningen i olika klasser krävs kännedom om fördelningar inom respektive klass för att kunna göra korrekta beräkningar av risken. Exempelvis omfattar klass 2 "gaser", vilka kan vara brandfarliga, giftiga eller sakna någon av dessa egenskaper. Likaså spelar det stor roll vilken av underklasserna 1.1-1.3 alternativt 1.4 som explosivämnena i klass 1 tillhör. Klass 1.4 kan nämligen inte kan ge upphov till skador som påverkar omgivningen.

4.1.2. Farligt gods på Västra stambanan

För järnvägstransporter samlar förvaltningsmyndigheten Trafikanalys in data på årsbasis från tågoperatörer, regionala kollektivtrafikmyndigheter, infrastrukturförvaltare och andra företag knutna till sektorns verksamhet. Det finns begränsade möjligheter att publicera officiell statistik om lastkapacitet och godsflöde på järnvägen, med hänsyn till statistik- och affärssekretess [13]. Offentlighets- och sekretesslagens (2009:400) bestämmelser om säkerhets- och bevakningsåtgärder är till exempel tillämpliga på uppgifter om transporter av farligt gods [14]. Därmed kan det konstateras att det råder osäkerheter kopplat till kartläggningar och inhämtning av information om transporter av farligt gods på järnväg.

Nationell statistik från Trafikanalys under perioden 2018-2021 visar att transporter med farligt gods på järnväg utgjorde cirka 5 % av transporterad godsmängd. För att uppskatta andelen av godstrafiken (antal vagnar) som transporterar farligt gods används värdet 5,5 %.



Det redovisas inga transporter av RID-klass 1 i underlaget från Trafikanalys. Däremot förekommer denna typ av ämnen i mindre mängder på aktuell sträcka i den kartläggning Statistiska centralbyrån (SCB) genomförde på uppdrag åt MSB (tidigare Räddningsverket) under september 2006 [15]. För att ta hänsyn till sådana transporter och de olyckor som kan inträffa antas RID-klass 1 utgöra 0,5 % av transporterna med farligt gods.

Uppdelningen av RID-klass 1, 5 och 6 i underklasser har hämtats från Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer (RIKTSAM) [16]. I kartläggningen från 2006 förekommer inga giftiga gaser på aktuell sträcka, och intervallet för mängden brandfarliga gaser som anges är stort (5–5 200 ton) medan intervallet för övriga gaser är snävare (280–370 ton). I konsekvensmodellen är det endast olyckor med giftiga samt brandfarliga gaser som leder till påverkan på omgivningen vid en olycka med RID-klass 2. Från angivna mängder i kartläggningen skulle andelen brandfarliga gaser utgöra cirka 95 % av RID-klass 2 om de högsta mängderna används. Den inbördes fördelningen av gaser som kommer användas görs därmed med en viktning mot brandfarliga gaser, men inkluderar även giftiga gaser för att ta höjd för att dessa kan förekomma. Vid transport av RID-klass 3 antas det förekomma ämnen med både brandfarliga och giftiga egenskaper i 5 % av fallen, exempelvis metanol.

Indelning av farligt gods i respektive RID-klass och underklass redovisas i Tabell 3.

Tabell 3. Uppdelning av transport av farligt gods på Västra stambanan i huvudklasser (RID-klass) och underklasser för nyansering av beräkningar. Underklassen "Övrigt" betecknar farligt gods som inte kan utgöra en fara för omgivningen.

RID-KLASS	ANDEL INOM RID-KLASS	UNDERKLASS	ANDEL INOM UNDERKLASS
1	0,5 %	Explosivt	25 %
		Övrigt	75 %
2	33,6 %	Giftigt	10 %
		Brandfarligt	80 %
		Övrigt	10 %
3	27,9 %	Giftigt	5 %
		Brandfarligt	95 %
4	2,3 %	-	-
5	14,3 %	Explosivt	5 %
		Övrigt	95 %
6	1,7 %	Flytande	72 %
		Övrigt	28 %
7	0 %	-	-
8	18,6 %	-	-
9	1,0 %	-	-

4.1.3. Val av olycksscenarioer

Vid transport av farligt gods utgör nedanstående olycksförlopp de dimensionerande olycksscenarioerna som utgör underlag till beräkning av risknivåer (se även Tabell 4):

- Detonation av massexplosiva ämnen som orsakar tryckskador och brännskador.
- Detonation till följd av blandning av oxiderande ämne med brandfarlig vätska.



- Utsläpp och antändning av kondenserad brännbar gas som kan ge upphov till BLEVE, gasmolnsexplosion, gasmolnsbrand och jetflamma, vilket leder till brännskador och i vissa fall även tryckskador.
- Utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor vilka orsakar pölbrand med efterföljande brännskador.
- Utsläpp av kondenserad giftig gas som orsakar förgiftning vid inandning.
- Utsläpp av giftiga brandfarliga vätskor vilka orsakar förgiftning vid inandning när de driver i väg som gasmoln.
- Utsläpp av giftiga vätskor som orsakar förgiftning vid inandning när de driver i väg som gasmoln.
- Utsläpp av frätande vätskor vilka orsakar frätskador vid hudkontakt.

Tabell 4. Sammanfattning av dimensionerande olycksscenarioer vid transport av farligt gods.

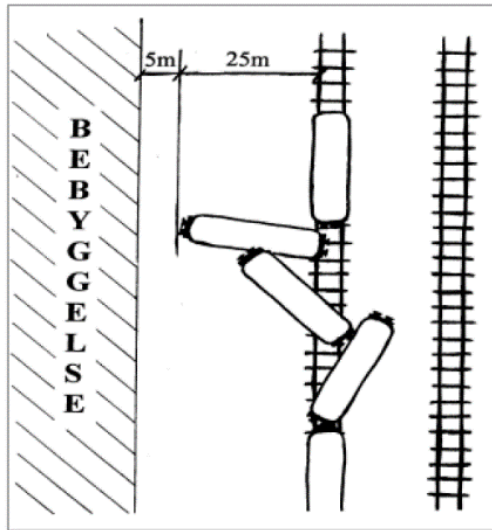
ÄMNE	PRIMÄR HÄNDELSE	SEKUNDÄR HÄNDELSE	SKADEVERKAN
Massexpllosiva ämnen	Detonation vid olycka och/eller transport.	Brand	Brännskador Tryckskador
Tryckkondenserade gaser	Förångas vid utsläpp och övergår i gasform som driver i väg med vinden.	Brand och explosion vid antändning av gasmoln på längre avstånd från utsläppskällan (UVCE ²). Jetflamma vid antändning av utströmmande gas. Explosion vid kraftig upphettning av tryckkondenserad gas som kokar och släpps ut momentant från en bristande tank (BLEVE ³).	Brännskador Tryckskador Förgiftningsskador vid inandning
Brandfarliga, giftiga och frätande vätskor	Breder ut sig på marken och bildar pölar som avdunstar. Giftiga ångor driver i väg med vinden.	Pölbrand vid antändning av vätskepöl. Explosion vid antändning av avdunstade ångor, eller vid blandning med oxiderande organiska peroxider.	Brännskador Tryckskador Förgiftningsskador vid inandning Frätskador vid hudkontakt

4.2. Mekanisk skada vid urspårning

I samband med en urspårning finns en risk att urspårade vagnar orsakar mekanisk skada på intilliggande byggnader. Alla urspårningar leder inte till negativa konsekvenser för omgivningen. Huruvida personer i omgivningen skadas eller ej beror på hur långt ifrån rälsen en vagn hamnar efter urspårning. Vanligen hamnar urspårade vagnar i omedelbar anslutning till spåret, men det är också möjligt att de når avstånd upp till 25–30 meter från spåret, se Figur 10. I samband med beräkning av individrisk redovisas bidraget som urspårningsolyckor står för, samt hur lokala förutsättningar kan minska påverkan vid en urspårning.

² Unconfined Vapour Cloud Explosion.

³ Boiling Liquid Expanding Vapour Cloud Explosion.



Figur 10. Urspårningsolycka på järnväg [4].

4.3. Projektspecifika data för beräkningar

Nedan redovisas övrig projektspecifika data som använts vid beräkningar av risknivåer, enligt metoden som beskrivs i beräkningsbilagan.

4.3.1. Järnvägsdata

I genomsnitt antas 3,5 vagnar delta i en urspårning. Då 5,5 % av godsvagnarna transporterar farligt gods blir sannolikheten att en eller flera av dessa urspårade vagnar medför farligt gods: $1 - (1 - 0,055)^{3,5} = 18 \%$. I Tabell 5 visas indata för beräkning av olycksfrekvenser uppdelat på godståg respektive övriga tåg.

Tabell 5. Indata för beräkning av olycksfrekvens.

PARAMETER	GODSTÅG	PERSONTÅG & ÖVRIGA TÅG	TOTALT
Totalt antal tåg per år	1 734	75 190	76 924
Totalt antal vagnar per år	43 344	225 570	268 914
Totalt antal vagnaxlar per år	151 703	451 140	602 843

4.3.2. Frekvens för olycksscenarioer

I Tabell 6 sammanställs de olika olyckstyperna, intensitetsfaktorerna, exponering och slutlig frekvens per år enligt Fredéns modell [17]. Exponering och frekvens redovisas totalt för alla tågtyper.

Tabell 6. Beräkning av initierande olycksfrekvens.

OLYCKSTYP	INTENSITETSFAKTOR	EXPONERING	FREKVENNS/ÅR
Rälsbrott	5,0E-11 / vagnaxelkm	602 843	3,0E-05
Solkurva	1,0E-5 / spårkm	1	1,0E-05
Spårlägesfel	9,0E-10 / vagnaxelkm 2-axlig vagn	529 968	4,6E-04
	1,5E-10 vagnaxelkm boggievagn	72 875	
Växel sliten	5,0E-9 / växelpassager	13	5,0E-03



OLYCKSTYP	INTENSITETSFAKTOR	EXPONERING	FREKVENNS/ÅR
Vagnfel	3,1E-9 / vagnaxelkm godståg	151 703	8,8E-04
	9,0E-10 / vagnaxelkm persontåg	451 140	
Lastförskjutning	4,0E-10 / vagnaxelkm	602 843	2,4E-04
Annan orsak	5,7E-8 / tågkm	76 924	4,4E-03
Okänd orsak	1,4E-7 / tågkm	76 924	1,1E-02

Frekvenser för urspårning i Tabell 7 kombineras i riskmodellen i beräkningsbilagan tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningar för att beräkna bidraget till risknivån från urspårningsolyckor. För godståg med farligt gods utgör frekvensen grundfrekvens för farligt godsolyckor.

Tabell 7. Sammanställning av initierande urspårningsfrekvenser.

URSPÅRNINGSSCENARIO	FREKVENNS/ÅR
Godståg	1,1E-03
Godståg med farligt gods	1,9E-04
Persontåg och övriga tåg	2,1E-02
Summa:	2,2E-02

Frekvenser för olyckor med farligt gods i Tabell 8 kombineras i riskmodellen i beräkningsbilagan tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningar för att beräkna bidraget till risknivån från farligt godsolyckor.

Tabell 8. Samanställning av frekvenser för dimensionerande farligt godsscenarier.

SCENARIO FARLIGT GODS	FREKVENNS/ÅR
Klass 1 detonation	3,2E-09
Klass 2 BLEVE	1,9E-09
Klass 2 jetflamma	2,4E-08
Klass 2 UVCE	5,8E-09
Klass 2 giftmoln	3,9E-09
Klass 3 pölbrand (direkt)	3,2E-06
Klass 3 pölbrand (fördröjd)	1,6E-06
Klass 3 giftmoln	3,4E-08
Klass 5 detonation	2,0E-09
Klass 6 giftmoln	4,2E-08
Klass 8 stänk	5,3E-06
Summa:	1,0E-05



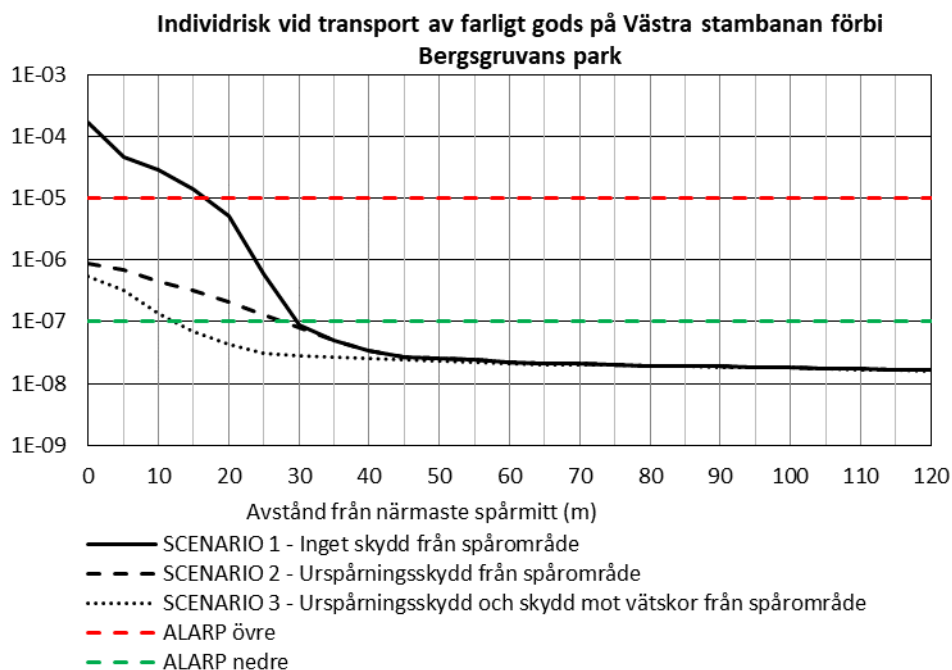
5. Risknivåer och riskvärdering

5.1. Individrisk

I Figur 11 redovisas tre grafer avseende individrisk utmed Västra stambanan, kallade Scenario 1–3. Scenario 1 visar individrisken utmed järnvägen när det inte tas hänsyn till att järnvägen är nedsänkt i förhållande till planområdet, och därmed inte bidrar med säkerhetshöjande effekter. I Scenario 2 visas individrisken när spårområdet hindrar olycksdrabbade tåg från att lämna spåren, och på så sätt inte utsätta omgivningen för urspårningsrisker. I Scenario 3 kombineras skyddet mot urspårning med ett skydd vid utsläpp av vätskor, som förhindrar dessa från att rinna ogynnsamt mot planområdet. Effekten av skyddet mot vätskor är mest påtagligt vid utsläpp av brandfarliga vätskor som antänds, vilket redovisas i beräkningsbilagan. Utan sådant skydd adderas pölens diameter till konsekvensavståndet. Effekten på konsekvensavståndet vid utsläpp av giftiga vätskor är mycket liten då vätskorna ändå avdunstar.

Individrisken är enligt genomförda beräkningar under den nedre ALARP-gränsen vid cirka 30 meter från närmaste spårmitt för Scenario 1 och 2, och vid cirka 15 meters för Scenario 3. Ur figuren kan det utläsas att urspårningsrisker står för en stor del av individrisken fram till 30 meter från närmaste spårmitt. Bortom 45 meter från närmaste spårmitt är det i princip ingen skillnad i beräknad individrisk mellan de tre scenarierna.

Individrisken där byggnaden avses att placeras är enligt genomförda beräkningar låg. Utomhus mellan byggnaden och stationen är individrisken i nedre delen av ALARP-området när spårområdet förutsätts skyddas mot urspårning, samt urspårning och läckage av vätskor.



Figur 11. Individrisk vid transport av farligt gods på Västra stambanan utmed planområdet.

Pölbränder har konsekvenser som kan nå uppemot 30–40 meter, när utsläppet rinner mot området samt utsätter omgivningen för strålningspåverkan. På längre avstånd är det framför



allt olyckor med brandfarliga gaser som kan orsaka brännskador. Vid utsläpp av giftiga gaser kan dessa spridas över mycket stora avstånd, men bidraget till risknivån är lågt då endast en liten andel av gastransporterna är av denna typ.

När spårområdet skyddar mot urspårningar och utsläpp av vätskor är det framför allt olyckor med brandfarliga gaser som står för bidraget till risknivån. Konsekvenser vid utsläpp av giftiga gaser samt där explosiva ämnen är inblandade har inte antagits påverkas av spårområdets utformning. Förgiftningsskador och tryckskador står för ett litet bidrag till risknivån.

5.2. Samhällsrisk

Södermalm är ett tätbebyggt område där tillskottet från det planerade flerbostadshuset är litet. Det är dock en obebyggd yta som ska exploateras, vilket till skillnad från en ombyggnation kan innebära en större förändring i personintensitet. Samhällsrisken, och den förändring som detaljplanens genomförande kan medföra, beskrivs kvalitativt utifrån resonemang om omgivningens förutsättningar och detaljplanens utformning.

Utan att ta hänsyn till att spåren är förlagda i tunnel skulle generiska samhällsrisikberäkningar för ett 1x1 km område sannolikt visa på en förhöjd samhällsrisk. Detta kommer dels från en hög persontäthet samtidigt som byggnader finns direkt ovanpå järnvägen.

Byggnaden kommer placeras cirka 25–30 meter från järnvägen. Spårområdets utformning har sedan tidigare beskrivits kunna bidra med säkerhetshöjande effekt vid urspårning samt vid utsläpp av vätskor. På detta avstånd är dock påkörningsrisken för byggnaden mycket låg även om det inte finns fysiskt skydd mot urspårningar. Öppningar från spårområdet mot planområdet gör att brandrök, avdunstande ångor samt gasutsläpp fortfarande kan påverka planområdet. Vidare kan explosioner påverka inom planområdet. Att befinna sig inomhus vid en olycka ger för många olyckstyper ett större skydd jämfört med vistelse utomhus.

Utomhusmiljön planeras inte utformas för att stora folksamlingar ska vistas där regelbundet under stora delen av dygnet. Miljön anpassas snarare för utomhusvistelse för boende. Det kommer vara öppna ytor där personer har möjlighet att förflytta sig bort från området alternativt in i byggnaden, vid en olycka.

5.3. Stations- och spårområdets effekt på olycksförlopp

Stations- och spårområdets inverkan vid ett brand- eller explosionsförlopp har inte beaktats i beräkningarna som gjorts. Till skillnad från en olycka i det fria är spårområdet inneslutet vilket kan begränsa syretillförseln till en brand. En begränsad syretillförsel innebär mindre fullständig förbränning och att bränder genererar mer brandrök. Vidare påverkar stationens geometrier hur flammorna kan utbreda sig, då tak och väggar utgör fysiska begränsningar. Flammor kan slå ut genom öppningarna i norr mot planområdet, men sådana flammor har mindre utgående värmestrålning. Risk för brandspridning föreligger främst för den del av fasaden som är ovanför själva stationen, det vill säga i den befintliga byggnaden, om flammor slår ut och sträcker sig upp längs med fasaden. Mot den planerade bebyggelsen bedöms därmed risken för brandspridning vara låg. Personer som vistas utomhus i området närmast stationen kan exponeras för brandrök och flammor som trycks ut via öppningarna, men med en lägre risk för brännskador till följd av en större andel brandrök.

En explosion inne i stationsområdet kan till följd av inneslutningen generera större skadeverkan än en explosion i det fria, till följd av reflektioner när tryckvågor studsar mot konstruktionen. Öppningarna mot planområdet kan tänkas verka något tryckavlastande. En explosion kan utöver tryckpåverkan även sprida splitter och fragment mot planområdet.



5.4. Riskvärdering och bedömning av lämpliga säkerhetshöjande åtgärder

I riktlinjerna från Länsstyrelsen Stockholm anges ett antal åtgärder och när dessa ska införas genom planbestämmelser. Inom 30 meter från närmaste spårmitt till en järnväg där det transporteras farligt gods finns följande åtgärder för markanvändning bostäder (B) [5]:

- Fasader ska utföras i obrännbart material alternativt lägst brandteknisk klass EI 30.
- Friskluftsintag ska riktas bort från järnvägen.
- Det ska vara möjligt att utrymma bort från järnvägen på ett säkert sätt.

Beräknad individrisk visar att det planerade flerbostadshuset kan placeras så att individrisken är acceptabelt låg enligt DNVs föreslagna kriterier. I området mellan spårområdet och byggnaden är beräknad individrisk inom ALARP-området varpå utomhusvistelse innebär att personer utsätts för något högre risknivå. Detta betyder att utomhusmiljöer bör utformas med rimliga begränsningar för att begränsa konsekvenserna av en olycka, då åtgärder inom planområdet inte rimligen kan påverka sannolikheten för en olycka på Västra stambanan. För att undvika stora skadeutfall vid en olycka bör området utformas så att stora folksamlingar inte uppmuntras. Vidare bör personer kunna ta sig från området vid en olycka på järnvägen, antingen genom att ta sig upp till Rosenlundsgatan, fortsatt norrut i parkområdet eller genom att inrymma i byggnaden. Att utforma utemiljön med möjlighet för mindre samling av personer för att samlas och umgås, exempelvis med bänkar och grillplatser etcetera bedöms inte som oacceptabelt.

En BLEVE kan innebära en mycket stor konsekvens vilken skulle kunna komma att påverka stora delar av planområdet och omgivningen. Sannolikheten för en BLEVE att uppkomma är dock mycket låg. Vidare är BLEVE ett utdraget förlopp vilket kan ge en förhållandevis god möjlighet att evakuera området innan det sker. Att dimensionera byggnaden för att motstå en BLEVE och därmed skydda personer inomhus bedöms inte rimligt med avseende på kostnads-nyttosynpunkt då denna olycka är mycket osannolik samtidigt som det skulle krävas mycket långtgående åtgärder för att motverka konsekvensen av en BLEVE.

Det genomsnittliga konsekvensavståndet vid en gasmolnsbrand/explosion är 35 meter vilket bedöms vara relativt begränsat. Gasmolnsbrand/explosion bedöms främst ge upphov till skador på de personer som vistas utomhus i brandens/explosionens direkta närhet varför ytterligare skydd mot denna olyckstyp inte bedöms vara möjlig att implementera med planbestämmelser.

Med hänsyn till skyddsavstånd mellan planerad byggnad och närmaste spårmitt samt spårområdets utformning bedöms åtgärder och bestämmelser som reglerar fasadmaterial och brandtekniska klass till följd av olyckor med farligt gods ej vara nödvändigt.

Nedan redogörs mer utförligt för ventilationsåtgärder samt tidigare nämnda utformningsåtgärder som bedömts rimliga att beakta.

5.4.1. Ventilationsåtgärder för att skydda mot hälsovådliga gaser

Byggnaden placeras med acceptabelt låg individrisk trots ett relativt kort avstånd till Västra stambanan, och placeringen innebär ett avsteg från Länsstyrelsen Stockholms rekommenderade skyddsavstånd på 50 meter för bostadsbebyggelse. Vidare tangerar byggnaden det avstånd (30 meter från spårmitt) där det ska säkerställas att friskluftsintag riktas bort från järnvägen.



Förgiftningsskador står enligt genomförda beräkningar för ett litet bidrag till individrisken för planområdet. Även vid en mycket låg risknivå kan dock olyckor med farligt gods som leder till utsläpp av giftig gas få stora konsekvenser om sådana skulle inträffa. Vid olyckor med utsläpp av giftiga ämnen kan personer behöva stanna inomhus under en längre tid i samband med räddningstjänstens skadeavhjälpare insats. Komplicerade olyckor kan kräva mycket planerings- och förberedelse tid innan åtgärder vidtas. Insatsen kan därmed pågå under en längre tid, varpå en säker inomhusmiljö är viktig.

Giftiga gaser är ofta tyngre än omgivande luft, vilket innebär att ett utsläpp initialt kan röra sig långsamt med marken. Placering av friskluftsintag högt upp kan i sådant fall minska koncentrationen av giftig gas i byggnaden. Effekten blir större ju närmare utsläppspunkten som byggnaden är placerad och ju högre luftintaget är placerat, givet att utsläppet utbreder sig långsamt med marken som en tung gas. Lokala väder- och vindförhållanden har därmed fortfarande betydelse för koncentrationen och utsläppet. Denna åtgärd kan vara lämplig för flerbostadshus då hög placering ofta är möjlig, samtidigt som det kan samverka med byggnadens ventilationssystem. I aktuellt fall är byggnaden relativt hög samt relativt nära järnvägen varpå hög placering av friskluftsintag bör övervägas. Detta kan till exempel innebära att friskluftsintag placeras på taket.

Placering av friskluftsintag på tak innebär att dessa ej riktas mot järnvägen, alternativt kan friskluftsintag även placeras på byggnadens sidor som ej vetter mot söder.

Friskluftsintag som vänds bort från järnvägen och/eller placeras högt upp kan ge ett gott skydd vid olyckor på Västra stambanan. Bäst effekt vid en olycka fås om andra öppningar i fasad som vetter mot järnvägen är stängda.

En brand i stations- och spårområdet eller i omgivningen kan generera stora mängder brandrök. Flerbostadshuset kommer vara högt varpå högt placerade friskluftsintag kan riskera att exponeras för brandrök. Med detektion av brandrök i anslutning till ventilationssystemets friskluftsintag, och möjlighet till nödstopp, kan påverkan på inomhusmiljön vid en brand i omgivningen minska. Denna tekniska åtgärd bedöms inte vara lämplig att reglera med planbestämmelse, utan är mer lämplig att beakta i den kommande byggprocessen. I det skedet kan även omfattningen av åtgärden utredas, då det inte nödvändigtvis behöver införas vid samtliga friskluftsintag.

5.4.2. Evakuering av byggnader och område

När en olycka inträffar och räddningstjänsten beslutar om evakuering av intilliggande fastigheter är det viktigt att detta ska kunna ske så säkert som möjligt. För att uppnå tillfredsställande evakuering är det vanligt att byggnader där personer vistas kontinuerligt och är lokaliserade nära en transportled för farligt gods ska vara möjliga att evakuera på säkert sätt. Detta konkretiseras ofta med utrymningsvägar i riktning bort från riskkällan eller i skydd av annan bebyggelse.

Byggnaden planeras att ha huvudentré åt Rosenlundsgatan i väster, vilket möjliggör för personer i huset att evakuera i en riktning som inte vetter direkt mot järnvägen. Eftersom det även finns en höjdskillnad från Rosenlundsgatan ner mot grönyrtorna kan evakuering ske skyddat. I det lägsta våningsplanet kommer det finnas dörrar som vetter mot järnvägen, men även åt andra håll.



6. Slutsatser

6.1. Allmänt

Den aktuella detaljplanen avser att pröva lämpligheten för ett flerbostadshus i stationsnära läge i anslutning till Stockholm Södra och Västra stambanan. Södermalm är ett mycket tätbebyggt område med hög personintensitet. Givet den i dagsläget obebyggda ytan innebär etableringen en förhållandevis stor förändring i den lokala personintensiteten, men ett mindre tillskott i ett större perspektiv.

Stations- och spårområdet är nedsänkt i förhållande till markytor inom planområdet. Detta bedöms verka positivt för planområdet vid en olycka på järnvägen. Förutsättningarna verkar främst skadebegränsande genom att skydda mot urspårade tåg samt mot utsläpp av vätskor (exempelvis brandfarliga, giftiga eller frätande).

Beräknad individrisk är under den nedre gränsen för ALARP vid 15 meter från närmaste spårmitt när stations- och spårområdet förutsätts skydda mot urspårning och utsläpp av vätskor (Scenario 3). I de fall där stations- och spårområdet endast skyddar mot urspårning (Scenario 2) eller inte bidrar med skydd alls (Scenario 1) är individrisken låg vid 30 meter från närmaste spårmitt.

Samhällsrisken har bedömts kvalitativt. Mellan 25 och 30 meter utgår i princip urspårningsbidraget till riskbilden när det inte finns skydd mot urspårning. En stor del av Västra stambanan går under mark i anslutning till planområdet. Urspårningsrisker är därmed generellt låga i området och för flerbostadshuset är urspårningsrisken mycket låg.

Stationsområdet har två öppningar med galler mot planområdet, och den potentiella effekt detta kan ha på ett olycksförlopp har bedömts kvalitativt på en översiktlig nivå. Jämfört med en olycka ute i det fria exponeras planområdet för en liten del av järnvägen.

6.2. Rekommendationer

Utifrån beräkningar, kriterier, platsspecifika förhållanden och kvalitativa värderingar ges följande rekommendationer gällande skyddsåtgärder:

- Säkerställ att bebyggelse utformas med möjlighet till evakuering som ej vetter mot Västra stambanan i söder.
- Reglera placering av friskluftsintag, på byggnadens sida som ej vetter mot Västra stambanan i söder eller högt upp på byggnaden (exempelvis tak).
- Om möjligt, specificera markanvändning avseende utomhusvistelse så att sådan markanvändning som kan innebära stora folksamlingar ej möjliggörs.

Inga ytterligare skyddsåtgärder anses nödvändiga att lyfta in i detaljplanen. Notera att detta enbart gäller vid den markanvändning och övriga förutsättningar som anges i kapitel 3.

Följande rekommendation bedöms ej vara lämplig att reglera i detaljplanen, men bör beaktas i byggprocessen:

- Utred möjlighet att införa detektion av brandrök i anslutning till byggnadens friskluftsintag, i lämplig omfattning.



7. Referenser

- [1] Räddningsverket, "Värdering av risk," Statens Räddningsverk, Karlstad, 1997.
- [2] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), "Riskhänsyn i fysisk planering," [Online]. Available: <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/samhallsplanering/riskhansyn-i-fysisk-planering/>.
- [3] Länsstyrelserna i Skåne län, Stockholms län, Västra Götalands län, "Riskhantering i detaljplaneprocessen – Riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods," 2006.
- [4] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer," Räddnings- och säkerhetsavdelningen, Stockholm, 2000.
- [5] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Fakta 2016:4 Riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods," Enheten för samhällsskydd och beredskap, Stockholm, 2016.
- [6] F. Nystedt, "Deaths in Residential Fires - an Analysis of Appropriate Fire Safety Measures," Department of Fire Safety engineering, Lund University, Lund, 2003.
- [7] Trafikverket, "Trafikuppgifter järnväg T22 och bullerprognos 2040," 13 04 2022. [Online].
- [8] Trafikverket, "NJDB på webb - STH A-tåg, B-tåg, C-tåg & S-tåg (version 1.0.0.38)," [Online]. Available: <https://njdbwebb.trafikverket.se/SeTransportnatverket>.
- [9] Trafikverket, "NJDB på webb - Hastighetsöverskridande% ATC (version 1.0.0.38)," [Online]. Available: <https://njdbwebb.trafikverket.se/SeTransportnatverket>.
- [10] SCB, "Geodata - Lantmäteriet, Befolkningsfördelning - Totalbefolkning," 2019. [Online].
- [11] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), "Transport av farligt gods," 2020. [Online]. Available: <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/farligt-gods/>.
- [12] HMSO, "Major hazard aspects of the transport of dangerous substances - report and appendice," Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.
- [13] Trafikanalys, "Förbättrad kunskapsförsörjning om järnvägstransporter (2018:10)," 2018.
- [14] Trafikanalys, "Gap-analys av kunskapsunderlag om järnvägstransporter – delredovisning II (2018:2)," 2018.
- [15] Räddningsverket, "Kartläggning av farligt godstransporter," 2006.



HANDLING
Riskutredning detaljplan

PROJEKTNAMN
Bergsgruvans park

STATUS
Version 1

DATUM
2023-05-16

Bergsgruvans park, Stockholm

- [16] Länsstyrelsen i Skåne län, "Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen (RIKTSAM) - bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods," Rapport "Skåne i utveckling" 2007:06, 2007.
- [17] S. Fredén , "Modell för skattning av sannolikhet för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen," Miljösektionen, Banverket, 2001.

Bilagor till riskutredning detaljplan



Bergsgruvans park, Stockholm

2023-05-16

PROJEKTNAMN
Bergsgruvans park

STATUS
Version 1

KOMMUN OCH FASTIGHET
Del av Södermalm 4:1, Stockholm

UPPDRAGSGIVARE
Wallenstam Fastigheter AB





A. Frekvenser för olycka med farligt gods

A.1. Generella indata

A.1.1. Olycksriktning

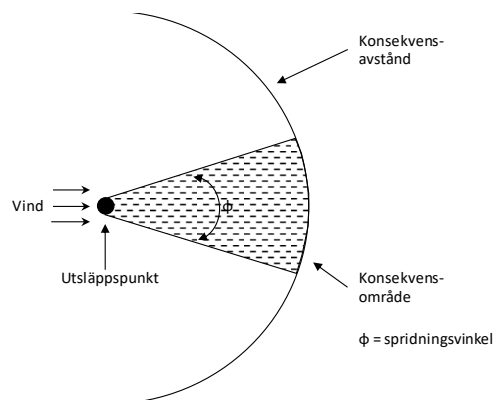
Med "olycksriktning" menas att hänsyn måste tas i vilken riktning som olyckan breder ut sig. Flertalet av scenarierna som kan inträffa är beroende av omgivningsförhållanden som vindriktning, men även olycksförloppets karakteristiska gör att den inte har en cirkulär påverkan. I Tabell 1 redovisas vilken reduktion som måste göras i samband med beräkning av risk.

Tabell 1. Korrektionsfaktor för olyckans riktning.

SCENARIO	BESKRIVNING	KORRIGERING
Giftmoln	Utbredning i vindriktningen ¹ (22°)	22 / 360 = 0,061
BLEVE	Cirkulär utbredning	1,0
UVCE	Utbredning i vindriktningen ¹ (22°)	22 / 360 = 0,061
Jetflamma	Riktning uppåt, mot eller bort ²	2/3 = 0,67
Pölbrand	Cirkulär utbredning	1,0
Frätande ämne	Riktning mot eller bort ³	1/2 = 0,50
Ursparning	På båda sidor om spåret	1,0

A.1.2. Spridningsvinkel

Giftmoln driver i väg med vinden. Gasen sprids i huvudsak längs med vindriktningen, men även till viss del i sidled. Spridningen i sidled bestäms av en spridningsvinkel, vilken i första hand beror på vindhastigheten. I Figur 1 visas en schematisk bild av spridningsförloppet. Spridningsvinkeln kan beräknas med en metod som visas i Figur 2.



Figur 1. Illustration av konsekvensavstånd, konsekvensområde och spridningsvinkel vid spridning av giftmoln.

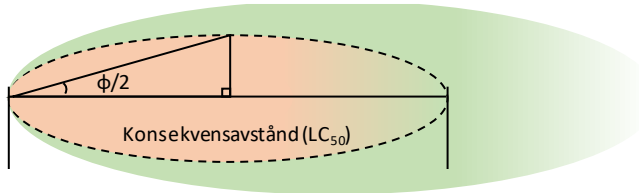
¹ I avsnitt A.1.2 redovisas hur spridningsvinkeln beräknats.

² Jetflamman antas kunna vara riktad mot området, bort från området eller uppåt. Flammor som är riktade bort från området tas inte med i analysen.

³ Utsläpp av frätande ämne antas kunna ske mot eller bort från området. Utsläpp som riktas bort tas inte med i analysen.



Vid halva avståndet till LC50 (se Figur 2) längs utsläppets centrumlinje mäts avståndet i sidled ut till samma koncentration. Denna sträcka är den motstående kateten till halva spridningsvinkeln.



Figur 2. Illustration hur spridningsvinkeln kan beräknas med utgångspunkt i gasspridningsmodellen.

Spridningsvinkeln har beräknats för olika väder- och vindförhållanden och redovisas i Tabell 2. Beräkningar har utförts med metodiken redovisad i avsnitt B.

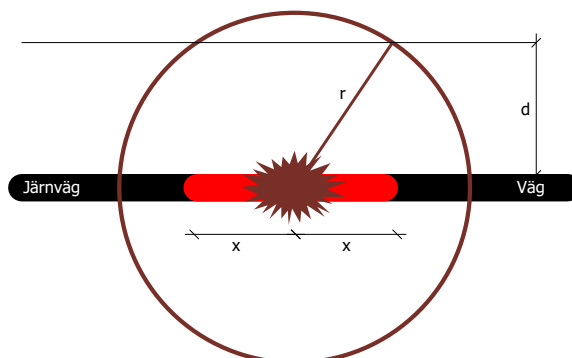
Tabell 2. Sammanställning av spridningsvinkel för olika väder- och vindförhållanden.

STABILITETSKLASS	VINDHASTIGHET	SPRIDNINGSVINKEL
Instabil	1–4 m/s	29–31°
Neutral	2–8 m/s	15–29°
Stabil	1–4 m/s	11–33°

Spridningsvinkeln blir smalare ju mer det blåser och vinkeln antar sitt högsta värde när vindhastigheten är 1 m/s. Med hjälp av statistisk analys som bygger på indata relevant för spridning i luft (se avsnitt B) kan det konstateras att spridningsvinkeln kommer vara 22° eller lägre i 95 % av fallen. 22° används som dimensionerande värde i riskanalysen.

A.1.3. Korrigeringsfaktor för att bedöma frekvensen att specifik olycka påverkar en punkt på ett givet avstånd från transportleden

Olycksfrekvenserna som beräknas utgår från en sträcka på 1 km. Eftersom de flesta olyckor endast påverkar en liten del av denna sträcka är det nödvändigt att korrigera för hur ofta en olycka som har en given utbredning, påverkar en punkt på ett visst avstånd från transportleden. Detta kan göras med en modell som bygger på den som redovisas i Figur 3.



Figur 3. Modell för beräkning av frekvensen att en olycka påverkar ett visst avstånd från transportleden.

Om olyckan har utbredningen r så måste olyckan inträffa på sträckan $2x$ för att ge en påverkan på avståndet d från transportleden. Notera att det endast är intressant att studera



de fall där $d \leq r$, eftersom om $d > r$ blir det ingen konsekvens. Med hjälp av Pythagoras sats⁴ kan x beräknas och sannolikheten att olyckan med utbredningen r påverkar avståndet d vid en olycksfrekvens angiven per kilometer blir således:

$$\frac{2\sqrt{r^2 - d^2}}{1\ 000}$$

A.2. Scenarier

Nedan förtydligas huvud- och underklasser och vilka scenarier som analyseras.

Explosivämnen (RID-klass 1)

Explosivämnen kan detonera på grund av stötar i samband med olycka, vid värmepåverkan i samband med fordonsbrand eller på grund av felaktiga förpackningar.

Gaser (RID-klass 2)

Gaser delas in i tre huvudgrupper – de som är brännbara, de som är giftiga och de som inte utgör någon fara för omgivningen. För brännbara gaser behövs kännedom om vilka olyckor som inträffar. Om utsläpp av brännbara gaser sker kan följande inträffa^{5,6}:

- Ingen antändning, 30 %.
- UVCE, 50 %.
- BLEVE, 1 %.
- Jetflamma, 19 %.

Brandfarliga vätskor (RID-klass 3)

Följande olyckor beaktas vid utsläpp av brandfarliga vätskor^{5,6}:

- Ingen antändning, 94 %
- Fördröjd antändning, 3 % och omedelbar antändning, 3 %

Oxiderande ämnen och organiska peroxider (RID-klass 5) som kan orsaka explosion vid blandning med brännbara vätskor

Oxiderande ämnen i klass 5 utgör normalt ingen påtaglig risk för omgivningen. Under särskilda omständigheter kan en explosion inträffa, vilket sker om vissa typer av oxiderande ämnen blandas med brännbar vätska. De ämnen inom RID-klass 5 som kan leda till kraftiga brand- och explosionsförlopp är i huvudsak ej stabiliserade väteperoxider, vattenlösningar av väteperoxider med över 60 % väteperoxid samt organiska peroxider. Det uppskattats att oxiderande ämne och brandfarlig vätska vid kontakt med varandra i 50 % av olyckorna och att det är en sannolikhet på 10 % att explosion sker efter kontakt⁷, givet att de oxiderande ämnen och organiska peroxider kan orsaka en explosion vid blandning med brännbar vätska.

⁴ Pythagoras sats anger sambandet mellan sidorna i en rätvinklig triangel där kvadraten på hypotenusan är lika med summan av kvadraterna på kateterna.

⁵ Purdy, G., *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*, Journal of Hazardous Materials, 33, pp 229-259, 1993.

⁶ CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.

⁷ Riskanalysen i den fördjupade översiktsplanen för Göteborg använder en sannolikhet för explosion på 0,8 %, i jämförelse med 5,0 % som används i denna analys. Kunskapsunderlaget är litet och därför är det nödvändigt med konservativa antaganden.



Giftiga ämnen (RID-klass 6)

Giftiga ämnen i klass 6 transporteras antingen i flytande eller fast form. Ämnen i fast form utgör normalt ingen akut påverkan på omgivningen.

Frätande ämnen (RID-klass 8)

Samtliga läckage av ämnen i klass 8 kan orsaka skada på omgivningen.

A.3. Olyckor på järnväg

A.3.1. Olycksfrekvens

Fredén⁸ har utvecklat en modell för att uppskatta frekvensen för tågurspårning och kollision. Modellen bygger på trafikintensiteten ofta uttryckt i antal vagnaxelkilometer, tågastigheten och spårkvaliteten med mera. I genomsnitt antas 3,5 vagnar delta i en urspårning.

I Tabell 3 sammanställs de olika olyckstyperna och intensitetsfaktorerna enligt Fredéns modell⁸. I huvudrapporten redovisas den beräknade frekvensen för respektive olyckstyp.

Tabell 3. Beräkning av olycksfrekvens för järnvägstrafik.

OLYCKSTYP	INTENSITETSFAKTOR
Rälsbrott	5,0E-11 / vagnaxelkm
Solkurva	1,0E-5 / spårkm
Spårlägesfel	5,9E-10 / vagnaxelkm
Växel sliten	5,0E-10 / passage
Vagnfel	3,1E-9 / vagnaxelkm
Lastförskjutning	4,0E-10 / vagnaxelkm
Annan orsak	5,7E-8 / tågkm
Okänd orsak	1,4E-7 / tågkm
Kollision i plankorsning	5,0E-8 / tågpassage

A.3.2. Index för farligtgoodsolycka

Fredén anger ett index för farligt goodsolycka på 0,3, vilket anger sannolikheten för utsläpp av farligt gods, givet att en järnvägsolycka inträffar när tåget framförs i den för banan eller fordonet högsta tillåtna hastigheten. Tjockväggiga tankar (RID-klass 2) har ett index för farligt goodsolycka på 0,01.

Explosivämnen i RID-klass 1 kan inte hanteras på samma sätt som övrigt farligt gods. Detta beror på att sannolikheten för en detonation inte är direkt relaterad till det faktum att det sker en olycka där farligt gods läcker ut. Detonation av explosivämnen kan ske antingen genom vagnbrand, genom kollisionsvåld eller genom defekt material/förpackning. Statistik från Storbritannien visar på en frekvens för detonation på $1,1 \cdot 10^{-9}$ per vagnkilometer⁹.

⁸ Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001.

⁹ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.



A.3.3. Sammanställning av frekvenser för enskilda scenarier

Informationen i avsnitt A.1.1 samt A.3.1-A.3.2 används för att beräkna frekvenserna för respektive scenario enligt nedanstående modell:

$$F_{\text{scenario}} = OF \cdot N_{\text{RID-X}} \cdot N_{\text{RID-XX}} \cdot I_{\text{FaGo-olycka}} \cdot P_{\text{kons|RID-XX}} \cdot K_{\text{riktn}}$$

där:

OF är olycksfrekvensen per år, som beräknas genom att en intensitetsfaktor multipliceras med exponeringen, och summeras för respektive olyckstyp. Se huvudrapporten för specifika data.

$N_{\text{RID-X}}$ är andelen av farligt gods i huvudklass RID-klass 1–9.

$N_{\text{RID-XX}}$ är andelen inom respektive RID-klass.

$I_{\text{FaGo-olycka}}$ är index för farligt godsolycka.

$P_{\text{kons|RID-XX}}$ är sannolikheten att ett visst scenario inträffar givet utsläpp i en specifik underklass.

K_{riktn} är en korrigeringsfaktor som tar hänsyn till i vilken riktning olyckan breder ut sig.

De enskilda scenariernas frekvenser är den data som frekvensmodellen lämnar över till "riskmodellen". I riskmodellen används ovanstående frekvenser tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna i avsnitt B.

En tabell över beräknade frekvenser redovisas i huvudrapporten.

B. Konsekvenser av olyckor med farligt gods

B.1. Beräkning av konsekvenser

I detta avsnitt redovisas de modeller som har använts för beräkning av olyckornas konsekvenser. Syftet med avsnittet är att visa vilka modeller som använts på en övergripande nivå. Huvudreferens för detta avsnitt är:

Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.

Om inget annat anges kommer beräkningsmetodik och ekvationer från ovanstående referens.

B.1.1. Detonation

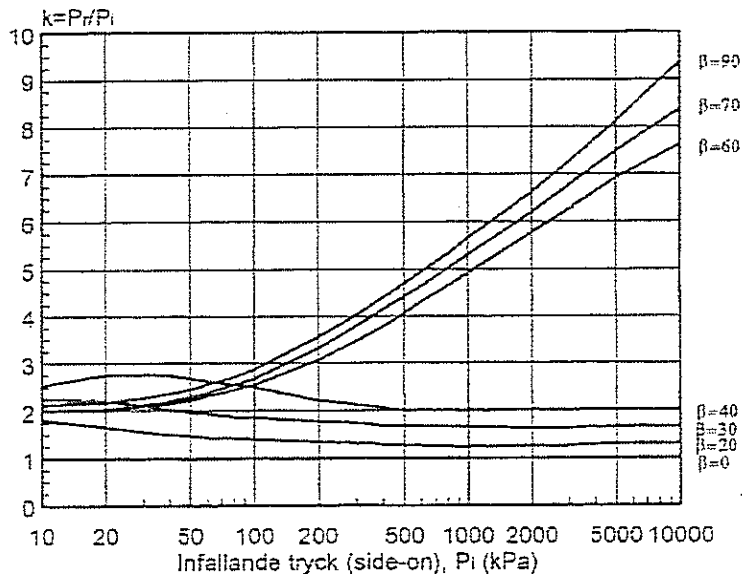
Beräkning av tryckverkan vid detonation av explosivämne i RID-klass 1 och RID-klass 5 utförs enligt nedanstående metodik¹⁰:

- Inledningsvis beräknas laddningsvikten, vilken är en statistisk fördelning relaterat till förekommande transporter av farligt gods. Laddningsvikten ökas 1,8 gånger för att ta hänsyn till att explosionen sker nära mark (och ej fritt i luften).
- Det skalade avståndet ($r/Q^{1/3}$) beräknas där r är avståndet till laddningen och Q är den omräknade laddningsvikten.

¹⁰ Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.



- Med hjälp av information i Figur 4 kan det infallande fria trycket på ett givet avstånd beräknas. Det fria trycket används sedan för att uppskatta skador på människor och egendom.



Figur 4. Maximalt övertryck respektive kvot mellan reflekterat- och infallande tryck där $\beta = 90$ innebär vinkelrätt tryckinfall (dimensionerande värde).

B.1.2. Avdunstning

Massflödet vid avdunstning behöver bedömas för att kunna uppskatta effekterna av spridning i luft vid utsläpp av giftig brandfarlig vätska i RID-klass 3. Massflödet beror på karakteristiska för utsläppt ämne (ångtryck, densitet, molekylvikt), vind samt utsläppets area. Beräkningen av massflödet görs genom att utnyttja det dimensionslösa masstransporttalet B med ekvationer¹¹ enligt nedan. Traditionellt används alternativa metoder inom andra ingenjörsciensdiscipliner, men jämförande beräkningar visar att de olika metoderna överensstämmer väl¹¹. Nedanstående ekvationer gäller för vätskor vars kokpunkt är högre än omgivningens temperatur.

$$Y_{FW} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{p}{p_F} - 1\right) \left(\frac{M_{luft}}{M_F}\right)\right]} \quad (1)$$

$$B = \frac{(Y_{Fz} - Y_{FW})}{(Y_{FW} - Y_{FR})} \quad (2)$$

$$Re = u \cdot D_{eq} / \nu \quad (3)$$

$$Nu = 0,037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr_{luft}^{1/3} \quad (4)$$

$$h = Nu \cdot k_{luft} / D_{eq} \quad (5)$$

¹¹ Andersson, B., *Introduktion till konsekvensberäkningar, några förenklade typfall*, Institutionen för Brandteknik, Lunds universitet, Lund, 1992.



Bergsgruvans park, Stockholm

$$Q'' = \frac{(h/C_{P_{luft}}) \cdot \ln(1+B)}{1000} \quad (6)$$

$$Q = Q'' \cdot A \quad (7)$$

$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (8)$$

där

Y_{FW} = Massfraktion bränsle vid ytan i gasfas.

$Y_{F_{\infty}}$ = Massfraktion bränsle i luften ovanför bränsleytan.

Y_{FR} = Massfraktion bränsle i vätskepölen.

p = Lufttryck = 101,3 kPa.

p_F = Ångtryck för bränsle i kPa.

M_{luft} = Molekylvikt för luft = 28,85 g/mol.

M_F = Molekylvikt för bränsle i g/mol.

B = Dimensionslöst masstransporttal.

Re = Reynolds tal, dimensionslöst.

Nu = Nusselts tal, dimensionslöst.

Pr_{luft} = Prandtls tal för luft, dimensionslöst = 0,71.

u = Vindhastighet, m/s.

D_{eq} = Pölens ekvivalenta diameter¹², m.

A = Pölens area, m.

ν = Kinematisk viskositet för luft = $15,08 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

h = Konvektivt värmeövergångstal, W/m²K.

k_{luft} = Konduktivitet för luft = 0,02568 W/mK.

Q'' = Massflöde från ytan, kg/m²s.

Q = Massflöde från ytan, kg/s.

$C_{P_{luft}}$ = Värmekapacitet för luft = 1 J/gK.

Det är även möjligt att beräkna hur lång tid det tar för hela pölen att förångas. Förångningshastigheten (massflödet) används sedan som indata till spridningsmodellen. Om

¹² Den ekvivalenta diametern används för att skapa en cirkel med samma area som själva vätskepölen.



den avdunstande vätskan antänds gäller inte denna modell, utan modellen för beräkning av konsekvensen av en pölbrand (se avsnitt B.1.7).

B.1.3. Utströmning av gas (i vätskefas)

Vid utsläpp av tryckkondenserade gaser krävs kännedom om källstyrka (kg/s) och den initiala spridningsmodellen vilken är en så kallad turbulent jet (fri cirkulär jet i medvind).

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2(P_0 - P_a)}{v_f}} \quad (9)$$

$$F = \frac{Q^2 v_f}{C_d A} \quad (10)$$

där

Q = Massflödet, kg/s.

C_d = Kontraktionsfaktor för vätskeutströmning.

A = Hålstorlek, m².

P_0 = Tanktryck, Pa.

P_a = Atmosfärstryck, Pa.

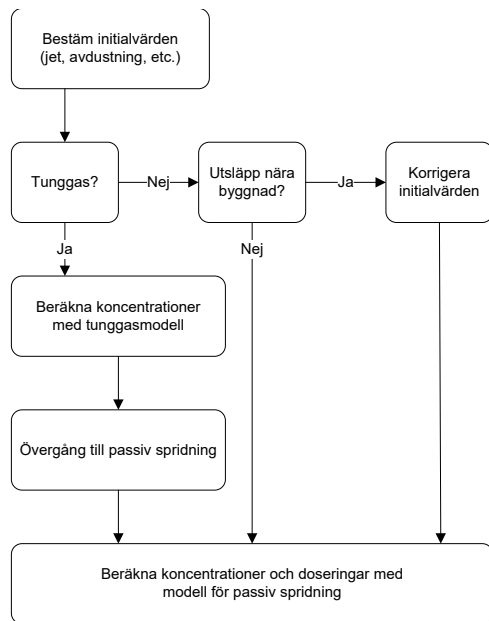
v_f = Specifik volym hos vätskefas, m³/kg.

F = Rörelsemängdsflöde i jetstråle, N.

B.1.4. Spridning i luft

Följande flödesschema¹³ för utsläpp används för att uppskatta spridning i luft:

¹³ Fischer, S. m.fl., *Väddautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.



Figur 5. Flödesschema¹³ för kontinuerliga utsläpp.

Källmodell

Källmodellen kan antingen vara modellen för avdunstning i avsnitt B.1.2 eller modellen för bestämning av källstyrka vid utsläpp av tryckkondenserade gaser i avsnitt B.1.3.

Bestäm initialvärden

Värden för den initiala utspädningsprocessen¹³ bestäms med följande ekvationer:

Avdunstning

= 0 i pölens kant uppströms i vindriktningen

$$\sigma_{y0} = 0,25 \cdot D_{eq} \quad (11)$$

$$\sigma_{z0} = 0,05 \cdot D_{eq} \quad (12)$$

där

σ_{y0}, σ_{z0} = Initiala utspädningskoefficienter i y- respektive z-led.

Tryckkondenserad gas

Utströmning av tryckkondenserad gas sker med en så kallad turbulent jet för vilken följande initiala dimensionsmått erhålls:

$$\sigma_{y0} = \sigma_{z0} = 0,44R(x_{tr}) \quad (13)$$

Tunggas?

Nästa steg blir att avgöra om det finns ett tunggassteg eller inte vid beräkning av koncentrationer. Om tunggassteget inte existerar kan modellen för passiv spridning användas direkt. Tunggaseffekterna är försumbara när molnets tillväxt i sidled nått ner till samma värde som för passiv spridning. Detta kan uttryckas som ett avståndsvillkor för tunggasmodellens giltighet:



Bergsgruvans park, Stockholm

$$x \leq \frac{0,037L_b}{(\sigma'_{yp})^3} - \frac{\sigma_{y0}^{3/2}}{0,35L_b^{1/2}} = x_{\max} \quad (14)$$

$$\sigma'_{yp} = \beta \left(\frac{z_0}{z_{03}} \right)^{0,2} \quad (15)$$

$$L_b = g \left(1 - \frac{M_{luft}}{M_{F_{eff}}} \right) \cdot \frac{Q}{\rho_a u^3} \quad (16)$$

$$M_{F_{eff}} = M_F \left[1 + \frac{c_{pg}(T_a - T_{g0})}{c_{pa}T_a} \right] \quad (17)$$

där

T_{g0} = Gasens temperatur före luftinblandning, K

Eftersom gasens temperatur innan inblandning av luft är densamma som efter luftinblandning är $M_{F_{eff}} = M_F$. Tunggasmodellen ska tillämpas i intervallet $0 \leq x \leq x_{\max}$

varefter en övergång till modell för passiv spridning ska göras. Om x_{\max} är mindre än noll ska tunggasmodellen överhuvudtaget inte användas.

Beräkning av koncentrationer med tunggasmodell

I intervallet $0 \leq x \leq x_{\max}$ har plymen en maximal koncentration i vindriktningen enligt nedanstående ekvation.

$$X_{\max}(x) = X(x, 0, 0) = \frac{85Q \cdot K_r^{-1} \cdot K_s}{\left(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}} \right)^2 \cdot u} \quad (18)$$

$$K_r = \left(\frac{z_0}{z_{01}} \right)^{0,2} \quad (19)$$

där

X_{\max} = Maximal koncentration i vindriktningen, kg/m³.

K_r = Korrektionsfaktor för skrovlighet (ytråhet).

K_s = Korrektionsfaktor för atmosfärsstabilitet.

z_{01} = Referenslängd för skrovlighet (ytråhet) = 0,01 m.

Plymens bredd- och höjdmått beräknas med följande ekvationer.

$$\sigma_y(x) = \left[\sigma_{y0}^{3/2} + 0,35L_b^{1/2}x \right]^{2/3} \quad (20)$$

$$\sigma_z(x) = \frac{\left(x + \sqrt{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_{z0} \cdot \sigma_{y0}} \right)^2}{85\pi \cdot K_r^{-1} \cdot K_s \cdot \sigma_y(x)} \quad (21)$$



där

$\sigma_y(x)$ = Standardavvikelse för masskoncentration i y-led, m.

$\sigma_z(x)$ = Standardavvikelse för masskoncentration i z-led, m.

Övergång till passiv spridning

Vid x_{\max} är inte längre tunggasmodellen tillämpbar. Plymen har då fått standardavvikelser enligt ekvationerna (20) och (21) med $x = x_{\max}$ och dessa värden på σ_y och σ_z används som initiala värden (σ_{y0} och σ_{z0}) i modellen för passiv spridning.

Beräkning av koncentrationer med modell för passiv spridning

För den passiva spridningsfasen rekommenderas en gaussisk spridningsmodell i stället för en mindre realistisk boxmodell. Spridningsmodellen ger koncentrationen av gas på ett givet avstånd från utsläppspunkten med hjälp av nedanstående ekvationer.

$$X(x, y, z) = \frac{Q}{2 \pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (22)$$

där

$X(x, y, z)$ = Koncentrationen på avståndet x , y och z , kg/m³.

Q = Utsläppets källstyrka, kg/s.

σ_y, σ_z = Dispersionskoefficienter i sid- och höjdled

u = Vindhastigheten, m/s.

H = Utsläppets höjd, m

Dispersionskoefficienterna som styr spridning i sid- och höjdled beräknas enligt nedan.

$$\sigma_y = \frac{a_y (x + x_{y0})}{(1 + b_y (x + x_{y0}))^{\gamma_y}} K_{rp} K_{yt} \quad (23)$$

$$\sigma_z = \frac{a_z (x + x_{z0})}{(1 + b_z (x + x_{z0}))^{\gamma_z}} K_{rp} \quad (24)$$

där a , b , och γ är parametrar som beror på rådande stabilitet; x_{y0} och x_{z0} är avstånden till så kallade virtuella källor, det vill säga de koordinatförskjutningar som är nödvändiga för att plymen ska få rätt bredd och höjd initialt. K_{rp} anger en korrigering för underlagets skrovlighet och K_{yt} för samplingstidens (medelvärdesbildningstidens) påverkan på den horisontella spridningen. För bebyggt område är $K_{rp} = 1$ och K_{yt} antar ett värde på 1,0 då den önskade medelvärdesbildningstiden är densamma som medelvärdetiden (500 s).

Tabell 4. Konstanter för olika stabilitetsklasser.

STABILITETSKLASS	A _y	B _y	γ _y	A _z	B _z	γ _z
A	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5
B	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5



STABILITETSKLASS	A _y	B _y	γ _y	A _z	B _z	γ _z
C	0,22	0,0004	0,5	0,20	0	0
D	0,16	0,0004	0,5	0,14	0,0003	0,5
E	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5
F	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5

Nedanstående ekvationer används för beräkning av x_{y0} och x_{z0} .

$$x_{y0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp}K_{yt}}\right)^2 b_y + \frac{\sigma_{y0}}{K_{rp}K_{yt}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{y0}}{K_{rp}K_{yt}}\right)^2 b_y^2 + 4a_y^2}}{2a_y^2} \text{ för } \gamma_y = 0,5 \quad (25)$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)}{a_z - b_z \left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)} \text{ för } \gamma_z = 1 \quad (26)$$

$$x_{z0} = \frac{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z + \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}\right)^2 b_z^2 + 4a_z^2}}{2a_z^2} \text{ för } \gamma_z = 0,5 \quad (27)$$

$$x_{z0} = \frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}a_z} \text{ för } \gamma_z = 0 \quad (28)$$

$$x_{z0} = \frac{\sqrt{1 + \frac{4\frac{\sigma_{z0}}{K_{rp}}(\sqrt{2}-1)b_z}{a_z}} - 1}{2(\sqrt{2}-1)b_z} \text{ för } \gamma_z = -0,5 \quad (29)$$

σ_{y0} och σ_{z0} är de initiala dispersionskoefficienterna, vilka väljs utifrån riktlinjerna i avsnitt B.1.4.

B.1.5. BLEVE

En BLEVE ger upphov till ett stort eldklot och beräknas med hjälp av nedanstående ekvationer.

$$D = 6,48m^{0,325} \quad (30)$$

$$t_{BLEVE} = 0,825m^{0,26} \quad (31)$$

$$F_{21} = \frac{D^2}{4X^2} \quad (32)$$

$$\tau = 2,02(p_w X)^{-0,09} \quad (33)$$



$$q_r = \frac{X_E m \Delta h_c}{\pi D^2 t_{BLEVE}} \quad (34)$$

$$q_x = \tau q_r F_{21} \quad (35)$$

där

D	= Eldklotets diameter, m.
m	= Utsläppt massa brännbar vätska, kg.
t_{BLEVE}	= Eldklotets varaktighet, s.
F_{21}	= Synfaktor
X	= Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.
τ	= Andel av strålningen som transmitteras genom luften.
p_w	= Vattens ångtryck, Pa
q_r	= Avgiven strålning, kW/m ² .
X_E	= Strålningsandel.
Δh_c	= Förbränningsvärme, kJ/kg.
q_x	= Mottagen strålning, kW/m ² .

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt B.2.3. Sedan har eldklotets radie lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

B.1.6. Jetflamma

Jetflamman är en "svetslåga" som uppkommer vid direkt antändning av en kondenserad brandfarlig gas. Följande ekvationer används för att beräkna riskavståndet vid en jetflamma.

$$R_{s,50} = 1,9 t^{0,4} Q^{0,47} \quad (36)$$

där

$R_{s,50}$	= Riskavstånd till 50 % dödlighet, m.
t	= Exponeringstid vid strålningspåverkan, s.
Q	= Utsläppets källstyrka, kg/s (se avsnitt B.1.3).

B.1.7. Pölbrand

Strålningen från en pölbrand kan beräknas med nedanstående ekvationer.

$$Q = m'' \Delta h_c A_p \quad (37)$$

$$q_r = X_e Q \quad (38)$$



$$F_{12} = \frac{1}{4\pi X^2} \quad (39)$$

$$q_x = \tau q_r F_{12} \quad (40)$$

där

Q = Brandens effekt, kW.

m'' = Förbränningshastighet per ytenhet, kg/s/m².

Δh_c = Förbränningsvärme, kJ/kg.

A_p = Pölens area, m².

q_r = Avgiven strålning, kW/m².

X_e = Strålningsandel.

F_{12} = Synfaktor.

X = Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, m.

q_x = Mottagen strålning, kW/m².

τ = Andel av strålningen som transmitteras genom luften, se avsnitt B.1.5.

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt B.2.3. Sedan har pölens diameter lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

B.1.8. Stänk

Frätande ämnen kan orsaka svåra skador och dödsfall om det finns personer i tankens omedelbara närhet vilka får stänk över sig. Det finns inga kvantitativa modeller för att uppskatta effekterna av stänk med frätande vätska, utan det antas att människor som befinner sig inom 10 meter från tanken utsätts för dödliga skador.

B.2. Indata

B.2.1. Väder- och vindförhållanden

Väder- och vindförhållanden har betydelse när konsekvenserna av utsläpp av gaser (brännbara eller giftiga) ska bedömas. I Tabell 5 redovisas de värden som använts vid konsekvensberäkningarna.

Tabell 5. Dimensionerande väder- och vindförhållanden.

STABILITETSKLASS	SANNOLIKHET	VINDHASTIGHET (MEDELVÄRDE)
Instabil	10 %	1,7 m/s
Neutral	50 %	4,4 m/s
Stabil	40 %	2,4 m/s



B.2.2. Ämnesspecifika data

I nedanstående tabeller ges väsentliga indata, vilka är de samma som använts i Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer¹⁴.

Tabell 6. Generella indata till konsekvensberäkningarna.

VARIABEL	ENHET	VÄRDE
Atmosfärstryck	[Pa]	101 325
Flödeskoefficient	[-]	Likformig (0,65;0,80)
Höjd på vätskepelare	[m]	Likformig (1,0;2,0)

Tabell 7. Fördelning av hålstorlek. Källstyrkan avser utsläpp av gasol.

HÅLTYP	HÅLDIAMETER	KÄLLSTYRKA	SANNOLIKHET
Litet	10 mm	1 kg/s	62,5 %
Medel	30 mm	12 kg/s	20,8 %
Stort	110 mm	160 kg/s	16,7 %

Sannolikheten för de olika hålstorlekarna kommer från Räddningsverket¹⁵, medan de olika hålstorlekarna bygger på uppskattningar från bland annat Cox¹⁶ och CPQRA¹⁷.

Tabell 8. Ämnesspecifika indata.

VARIABEL	ENHET	PROPYLEN -OXID	DIMETYL -SULFAT	SVAVEL- DIOXID	GASOL	BENSIN
Molvikt	[g/mol]	58,1	126	64	76,53	
Densitet vätska	[kg/m ³]	830	1330	1460	605	750
Utsläppt mängd	[ton]	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25
Förbränningsvärme	[kJ/kg]	34 845	-	-	46 000	45 000
Strålningsandel	[-]	0,30	-	-	0,30	0,30
Ångtryck	[kPa]	60	0,067		833	
Kokpunkt	[°C]	34	188			
Tanktryck	[kPa]			230	535	
Förbränningshastighet	[m/s]					0,0001
Förbränningshastighet	[kg/m ² /s]					0,048

¹⁴ Länsstyrelsen i Skåne län, *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*, Rapport "Skåne i utveckling", 2007:06.

¹⁵ Räddningsverket, *Farligt Gods – riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*, 1996.

¹⁶ Cox, A.W., Lees, F.P., Ang, M.L., *Classification of Hazardous Locations*, ISBN 0-85295-258-9, Institution of Chemical Engineers, Warwickshire 1990.

¹⁷ Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.



Trotyl, vilket är det representativa ämnet för explosioner i RID-klass 1 och RID-klass 5 har ett värmevärde på 4,2 MJ/kg och den massa som deltar i explosionen är hämtad från HMSO¹⁸ och antar en fördelning enligt Tabell 9.

Tabell 9. Massa som deltar i explosion i RID-klass 1.

MASSA, KG	ACK. SANNOLIKHET	MASSA, KG	ACK. SANNOLIKHET
50	1,1 %	1 047	21,4 %
61	1,2 %	1 095	22,3 %
126	1,2 %	1 778	86,5 %
204	3,8 %	2 399	86,8 %
316	20,8 %	16 000	100,0 %
562	21,3 %		

Massan RID-klass 5 som deltar i explosion vid olycka på järnväg är direkt relaterad till hur stor mängd bränsle som blandas med det oxiderande ämnet. Vid en järnvägsolycka kan en tank med 25 ton oxiderande ämne kollidera med en vagn innehållande en stor mängd brandfarlig vätska. Den blandning som kan bildas motsvarar cirka 25 ton massexplosiv vara.

B.2.3. Skadekriterier

Riskanalysen berör skador på människor och de skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck som används redovisas i Tabell 10 nedan. Skadekriterierna representerar LC₅₀-värden, det vill säga den koncentration där 50 % av en population förväntas omkomma, vilka beräknats med probitfunktion för angiven exponeringstid.

Tabell 10. Skadekriterier för giftiga gaser, värmestrålning¹⁹ och tryck.

SKADEVERKAN	KRITISK PÅVERKAN
Explosion – tryck ²⁰	260 kPa
Explosion – värmestrålning ²¹	43 kW/m ²
Värmestrålning – BLEVE ²¹	31 kW/m ²
Värmestrålning – brandfarliga varor ²¹	14 kW/m ²
Toxicitet – giftig gas ²²	2 200 mg/m ³ (860 ppm)
Toxicitet – lättflyktig, giftig vätska ²³	4 900 mg/m ³ (2 000 ppm)
Toxicitet – giftig vätska ²⁴	186 mg/m ³ (35 ppm)

¹⁸ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

¹⁹ Strålningsnivåerna gäller oskyddad hud och någon skyddseffekt av kläder har inte tagits hänsyn till vid beräkning av skadekriterierna.

²⁰ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

²¹ Eldklotets varaktighet för explosion är cirka 7 sekunder och för BLEVE cirka 11 sekunder. För värmestrålning från pölbränder gäller en exponeringstid på 30 s. Beräkningar av kritisk strålning sker enligt metodik redovisas i "CPR 16E, *Methods for the determination of possible damage*. Committee for the prevention of disasters, The Netherlands, 1992".

²² Representeras av svaveldioxid, 30 minuters exponering.

²³ Representeras av propylenoxid, 30 minuters exponering.

²⁴ Representeras av dimetylsulfat, 30 minuters exponering (TEEL-3).



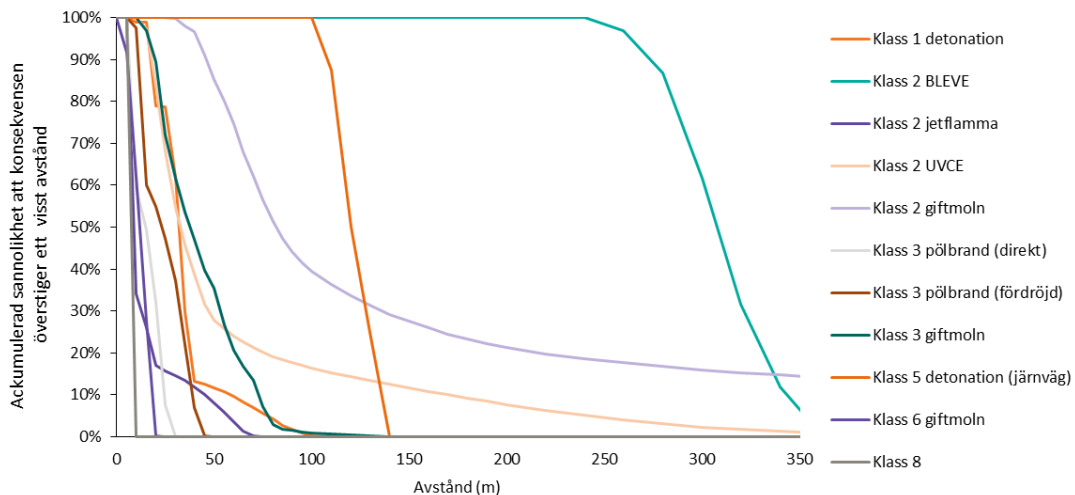
B.3. Resultat

Modeller, indata, skadekriterier samt väder- och vindförhållanden används för att beräkna konsekvensen av ett utsläpp. Konsekvensen antas inträffa i det område där koncentrationen, trycket eller värmestrålningen överskrider ett visst gränsvärde för dödlighet. Gränsvärdet för dödlighet bestäms av den påverkan som bedöms orsaka en dödlighet på 50 % av en population. För att avgöra vid vilket avstånd detta inträffar översätts 50 % dödlighet med hjälp av så kallade probitfunktioner till en fysikalisk parameter (toxisk koncentration (LC_{50}) eller kritisk värmestrålning).

Ytterligare en förenkling är nödvändig för att kunna genomföra beräkningarna. Det ansätts att inom området 100 till 50 % dödlighet omkommer alla människor och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Denna förenkling är nödvändig för att kunna ta fram de olika riskmåten. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom riskområdet komma att överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt och följer principerna i CPQRA²⁵. Ytterligare en nödvändig förenkling är att förutsätta att samtliga personer befinner sig oskyddade, i fri siktlinje med olycksplatsen. Då flertalet av variablerna beskrivs med sannolikhetsfördelningar i stället för punktvärden, utgör också resultatet statistiska fördelningar.

B.3.1. Konsekvensområde, enbart skyddsavstånd

I Figur 6 visas konsekvensområdet i form av en statistisk fördelning när olyckans utbredning inte påverkas av någon säkerhetshöjande åtgärd.



Figur 6. Konsekvensområde vid olycka med farligt gods. Figuren visar en fördelning av konsekvensområdet vid olyckor av en viss typ. Exempelvis ger en BLEVE alltid ett skadeutfall som överstiger 240 meter och 10 % av olyckorna som orsakar en BLEVE når 340 meter eller längre.

Informationen i Figur 6 kan översättas till ett medelvärde för olyckan samt med ett konfidensintervall, inom vilket det är 95 % säkerhet att konsekvens inträffar. I Tabell 11 redovisas dessa värden.

²⁵ CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.



Tabell 11. Medelvärde, samt en bedömning av konfidensintervallets övre gräns för de olika olycksscenariernas utbredning.

Scenario	Riskområde i meter	
	50 %	95 %
Klass 1 detonation → tryck	35	80
Klass 2 BLEVE → brännskada	320	360
Klass 2 jetflamma → brännskada	10	60
Klass 2 UVCE → brännskada	35	260
Klass 2 giftmoln → förgiftning	85	1 000
Klass 3 pölbrand (direkt) → brännskada	15	30
Klass 3 pölbrand (fördröjd) → brännskada	25	45
Klass 3 giftmoln → förgiftning	40	80
Klass 5 detonation (järnväg) → tryck	120	140
Klass 6 giftmoln → förgiftning	15	20
Klass 8 → frätskada	10	10

Syftet med Tabell 11 är endast att beskriva spridningen i konsekvensens utbredning på ett tydligare sätt. Störst avvikelse från medelvärdet (50 %) har olyckor som medför spridning till luft (UVCE och giftmoln). Detta beror på att koncentrationen i en given punkt kan variera mycket beroende på källstyrka, vindhastighet och atmosfärsförhållanden.

B.3.2. Konsekvensområde vid begränsning av vätskeutbredning

I Tabell 12 redovisas hur den ackumulerade sannolikhetsfördelningen ändras när en säkerhetshöjande åtgärd som begränsar utbredningen av vätskor används. Informationen i Tabell 12 används för att ta fram sannolikhetsfördelningar lika de som redovisas i avsnitt B.3.1, vilka sedan används för att beräkna risknivåer.

Tabell 12. Jämförelse av konsekvensområde utan och med säkerhetshöjande åtgärd som begränsar utbredningen av vätskor.

Avstånd	KLASS 3 PÖLBRAND DIREKT		KLASS 3 PÖLBRAND FÖRDRÖJD		KLASS 3, GIFTMOLN		KLASS 6, GIFTMOLN	
	Utan	Med	Utan	Med	Utan	Med	Utan	Med
0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	22%
5	100%	63%	100%	99%	100%	100%	92%	-
10	59%	40%	98%	57%	100%	94%	62%	-
15	49%	4%	60%	43%	97%	81%	28%	-
20	32%	-	55%	19%	89%	60%	-	-
25	8%	-	47%	1%	72%	48%	-	-
30	-	-	37%	-	62%	39%	-	-
35	-	-	22%	-	54%	30%	-	-
40	-	-	7%	-	47%	25%	-	-
45	-	-	-	-	40%	20%	-	-
50	-	-	-	-	35%	14%	-	-
55	-	-	-	-	27%	8%	-	-
60	-	-	-	-	21%	3%	-	-
65	-	-	-	-	17%	2%	-	-
70	-	-	-	-	13%	2%	-	-



	KLASS 3 PÖLBRAND DIREKT		KLASS 3 PÖLBRAND FÖRDRÖJD		KLASS 3, GIFTMOLN		KLASS 6, GIFTMOLN	
75	-	-	-	-	7%	1%	-	-
80	-	-	-	-	3%	1%	-	-
85	-	-	-	-	2%	1%	-	-
90	-	-	-	-	1%	1%	-	-
95	-	-	-	-	1%	1%	-	-
100	-	-	-	-	1%	-	-	-
105	-	-	-	-	1%	-	-	-

C. Frekvenser och konsekvenser för mekanisk skada vid urspårning

I Tabell 13 visas fördelningen för avstånd från spår som vagnar förväntas hamna efter urspårning. För det viktade värdet beaktas fördelningen mellan antalet person- och godståg.

Tabell 13. Avstånd från spår för urspårade, baserat på Fredén²⁶.

AVSTÅND FRÅN SPÅR	0-1 m	1-5 m	5-15 m	15-25 m	>25 m
Persontåg	77,5%	18,0%	2,3%	2,2%	0,0%
Godståg	70,3%	19,8%	5,5%	2,2%	2,2%
Viktat värde	77,1%	18,1%	2,5%	2,2%	0,1%

Enligt Tabell 13 varierar sannolikheten för respektive konsekvensavstånd något beroende på vilken tågtyp som går på det aktuella spåret. En sammanvägning (viktning) av dessa sannolikheter används tillsammans med den totala urspårningsfrekvensen för både gods- och persontåg för att beräkna riskbidraget från urspårande tåg.

D. Risknivåer

D.1. Individrisk

Nedan följer en översiktlig beskrivning av den metodik som används för att kombinera frekvenser och konsekvenser till ett mått på individrisken.

Vid trafik på flera järnvägsspår fördelas tågtrafiken jämt över spåren. Modellen utgår sedan från ett avstånd på 5 meter från varje spårmittpunkt och gör en förskjutning av risknivåerna för att motsvara avståndet mellan spåren. Som exempel görs beräkningen för dubbelspår med halva tågtrafiken, varefter individrisken på 5 meter adderas till individrisken på 0 meter. På så sätt har det bortre spårets bidrag till individrisken för det närmaste spåret beaktats. Vid tre spår används en tredjedel av trafiken varefter individrisken på 10 och 5 meter adderas med värdet för 0 meter, och så vidare.

Olyckor med farligt gods

Frekvenserna för respektive scenario finns angivna i avsnitt A. Dessa frekvenser kombineras med sannolikhetsfördelningen för konsekvensens utbredning redovisad i avsnitt B och

²⁶ Fredén, S., *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001.



sannolikheten att ett område påverkas från avsnitt A. Beräkningsgången exemplifieras i avsnitt D.1.1 och D.1.2.

Urspårningsolyckor

För urspårningsolyckor används frekvensen för järnvägsolycka tillsammans med sannolikheten att ett område påverkas. Beräkningsgången är lika den som exemplifieras i avsnitt D.1.1 och D.1.2.

D.1.1. Sannolikheten att en olycka når en viss punkt som en funktion av avståndet från transportleden

I avsnitt B redovisas sannolikhetsfördelningar för respektive olycksscenario och samt en faktor för att korrigera olycksfrekvensen per km till den faktiska påverkan på ett visst avstånd från transportleden. Denna information kombineras genom korsvis multiplikation för att ta kunna ta fram en sannolikhetsfördelning som en funktion av avståndet från transportleden, vilken sedan används i riskberäkningarna.

D.1.2. Beräkning av individrisk

Individrisken beräknas med en upplösning om 5 meter, det vill säga beräknas var femte meter från väggkanten genom att multiplicera olycksfrekvensen för en olycka med en viss RID-klass med sannolikheten för att en olycka sker på en sträcka av 1 km när ett visst avstånd. För att ta fram den sammanlagda individrisken adderas slutligen individrisken för vart olycksscenario på alla studerade avstånd och ritas ut i ett individrisk-diagram i huvudrapporten.

D.2. Samhällsrisk

Beräkningar av samhällsrisk syftar till att försöka uppskatta skadeutfallet när en olycka väl inträffar. Skadeutfallet styrs av vilket scenario som inträffar samt hur många människor som befinner sig utomhus i anslutning till olyckan vid den aktuella tidpunkten. Samhällsriskberäkningarna kan inte göras med sådan precision att de visar på faktisk risk, utan de måste göras schablonmässigt utifrån ett antal givna förutsättningar.

D.2.1. Indata

Modellen för beräkning av samhällsrisken är uppbyggd med en iterativ process där statistiska fördelningar används för att ta fram skadeutfallet för tänkbara olyckor. Modellen bygger på följande huvudsakliga indata.

Personintensitet

När personintensiteten är känd krävs information om hur många människor som vistas utomhus under dagtid respektive på natten. En holländsk vägledning anger att 93 % befinner sig inomhus under dagtid och 99 % är inomhus på natten²⁷. Dagtid antas råda mellan 08:00-18:30 och natt mellan 18:30-08:00. Dessa värden bedöms vara relevanta även för planområdet.

²⁷ TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.



Påverkansområde

Kännedom om olyckornas utbredning i form av statistiska fördelningar används för att bestämma hur stor yta som olyckan påverkar. Det finns tre olika typer av påverkansområde:

- Cirkulär utbredning, till exempel bränder och explosioner.
- Konformad utbredning, till exempel utsläpp av giftig gas.
- Rektangulär utbredning vid urspårning.

Påverkansområdet (m^2) vid cirkulär utbredning bestäms genom att använda olyckans utbredning som radie och därefter beräkna den yta ($A = \pi r^2$) som påverkas. Om det finns ett bebyggelsefritt område ska beräknat påverkansområde minskas med ytan som detta område upptar. Vid konformad utbredning beräknas konsekvensområdet på liknande sätt efter kännedom om spridningsvinkeln²⁸ ($A = \varphi \pi r^2$).

D.2.2. Beräkning av samhällsrisk

Beräkningen av samhällsrisk sker med hjälp av statistisk simulering där värden slumpas fram från de fördelningar som representerar indata till modellen. Modellen består av ett antal "frågor", vilka besvaras med hjälp av de fördelningar som beskriver indata, se Tabell 14. En iteration består av att samtliga frågor i Tabell 14 besvaras.

Tabell 14. Modell för beräkning av samhällsrisk.

FRÅGA	SVARSALTERNATIV	KOMMENTAR
Vilken tidpunkt?	Dag Natt	Bestämmer hur många människor som är utomhus. Se avsnitt D.
Vilket scenario?	Urspårning Klass 1 detonation Klass 2 BLEVE Klass 2 jetflamma Klass 2 UVCE Klass 2 giftmoln Klass 3 pölbrand (direkt) Klass 3 pölbrand (fördröjd)	Se avsnitt A för information om frekvenser.
Riskområde?	Klass 3 giftmoln Klass 5 detonation Klass 6 giftmoln Klass 8	Bestämmer hur långt från olycksplatsen som dödsfall kan inträffa. Information finns i avsnitt B.
Påverkansområde?	Cirkulärt Konformat Rektangulärt	Avgör hur stor yta som påverkas av olyckan. Se avsnitt D.

Efter en iteration finns således information om hur befolkningstätheten i anslutning till olyckan samt hur stort påverkansområde som olyckan har. Därmed är det möjligt att beräkna antalet omkomna med följande uttryck:

$$\text{Antal döda} = \text{Personintensitet}(\text{pers}/\text{km}^2) \times \text{Påverkansområde}(\text{km}^2)$$

²⁸ Mer information om spridningsvinkeln (φ) finns i avsnitt A.



Antalet iterationer (upprepningar) är högt (1 000 000) för att säkerställa att alla möjliga kombinationer av olycksscenarioer, tidpunkter och olycksplacering kommer med i resultatet. För varje iteration sparas information om "antal döda" och när simuleringen är klar kan en statistisk fördelning för antalet döda tas fram. Denna fördelning används sedan tillsammans med frekvensen för olycka för att plotta en så kallad FN-kurva.

Notera att varje gång som påverkansområdet antar ett positivt värde, det vill säga då riskområdet är större än det bebyggelsefria avståndet antas att minst 1 människa omkommer. Konsekvensen (antal döda) avrundas alltid uppåt till närmsta heltal. Detta ger en viss överskattning av samhällsrisken för $N = 1$, men samtidigt finns det inget enkelt sätt att avgöra om det finns minst en människa i påverkansområdet. Därför måste det förutsättas att så är fallet.

Samtliga personer som vistas utomhus inom påverkansområdet antas omkomma. För personer som befinner sig inomhus omkommer en viss andel av personerna. I Tabell 15 redovisas de bedömningar som använts för att uppskatta andelen omkomna inomhus^{29,30}.

Tabell 15. Andel av personer inomhus som omkommer vid viss skadeverkan.

SKADEVERKAN	ANDEL INOMHUS SOM OMKOMMER
Urspårning	50 %
Tryckskada	50 %
Brännskada (pölbrand)	0 %
Brännskada (övrigt)	5 %
Förgiftning	10 %
Frätskada	0 %

E. Diskussion om modell och indata

Risikanalyser utförs med en analysteknik som bygger på en omfattande och detaljerad hantering av den variation och osäkerhet som kan förknippas med riskbedömningar. Metodiken följer det arbetssätt som använts för underlaget till Länsstyrelsens i Skåne läns riktlinjer (RIKTSAM) och i de fall där specifika indata saknas har värden, fördelningar och annan betydelsefull information hämtats från RIKTSAM.

E.1. Beräkningsmodeller

Modellerna som används för att beräkna konsekvenser av olyckor bygger i huvudsak på information som finns tillgänglig i den så kallade FOA-handboken³¹. I stort är det samma modeller som RIKTSAM bygger på, med undantag av vissa förbättringar. Bland annat modelleras utsläpp av giftiga gaser med både jet- och tunggassteg, vilket RIKTSAM inte gör. Detta ger mer realistiska (och längre) konsekvensområden i föreliggande riskanalys.

²⁹ TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

³⁰ Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. *Översiktsplan för Göteborg - Fördjudad för sektorn transporter av farligt gods*, Bilagor 1-5. 1997.

³¹ Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker*. Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997.



E.1.1. Indata

Val av indata har stor betydelse för konsekvensberäkningarna och i många fall är indata förknippade med stor variation eller osäkerhet. Indata där variationen spelar roll är exempelvis väder- och vindförhållanden och indata som är förknippad med stor osäkerhet är till exempel hålstorlek vid utsläpp.

Väder- och vindförhållanden

Väder- och vindförhållanden baseras på generisk statistik för Sverige. Statistiken gör det möjligt att ta fram diskreta sannolikhetsfördelningar för atmosfärens stabilitet och kontinuerliga fördelningar för vindhastigheten för respektive stabilitetsklass.

Generella indata och ämnesspecifika uppgifter

Exempel på generella indata är flödeskoefficienter och höjd på vätskepelare (i tanken), samt de hålstorlekar som kan uppkomma vid en olycka. Hålstorlekarna är de samma som i RIKTSAM, med sannolikheter från VTI³²:

- Litet hål (62,5 %), 10 mm diameter, 1 kg/s.
- Medelstort hål (20,8 %), 30 mm diameter, 12 kg/s.
- Stort hål (16,7 %), 110 mm diameter, 160 kg/s.

Dessa hålstorlekar är betydligt större än de som redovisas av Räddningsverket³³ där håldiametrar på 3, 9 respektive 31 mm används, vilket ger källstyrkor på 0,1–20 kg/s. En brittisk studie³⁴ använder 2 respektive 35 kg/s i sina beräkningar.

Konsekvensområdet för pölbränder bestäms i huvudsak av antagen hålstorlek och till viss del av antagen strålningsandel. Hålstorleken har drygt 5 gånger så stor påverkan på resultatet i jämförelse med strålningsandelen.

Det är tre variabler som har störst betydelse för konsekvensområdet för gasutsläpp som driver i väg med vinden – hålstorleken, vindhastigheten och stabilitetsklassen. Variablernas inbördes betydelse är 6,5 - 1,6 - 1, vilket innebär att det är hålstorleken som dominerar konsekvensområdets storlek. Kunskapsunderlaget för val av källstyrkor är sparsamt, men valda värden är konservativa i förhållande till andra modeller och riktlinjer.

Skadekriterier

Riskanalysen berör skador på människor och använder olika skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck. Konsekvensområdet bestäms av avståndet från utsläppskällan till en punkt där en dödlighet på 50 % inträffar. En förenkling som görs i enlighet med metodik redovisad i CPQRA³⁵ är att anta att alla människor omkommer inom området 100 till 50 % dödlighet och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom konsekvensområdet överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt.

³² Väg- och Trafikforskningsinstitutet, *Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg*, rapport nr 387:4, 1994.

³³ Räddningsverket, *Farligt gods – riskbedömning vid transport*, 1996.

³⁴ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

³⁵ Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*, New York, 1989.



Den exponering som ger 50 % dödlighet kallas även för LC₅₀-värde. LC₅₀-värdet kan bestämmas med kännedom om exponering och tid. CPR 18E³⁶ har använts som inspiration för de exponeringstider som används, vilka är 30 minuter för giftig gas och 30 sekunder för brännskada.

E.2. Slutsatser

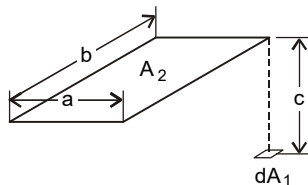
De variabler som påverkar riskbedömningen mest är utsläppets källstyrka (hålstorlek), vindhastighet och atmosfärens stabilitet. De två sistnämnda variablerna har bestämts med hjälp av generell väderstatistik och bedöms vara robusta i sammanhanget. Källstyrkan bygger på antaganden med ett relativt begränsat kunskapsunderlag. I föreliggande riskanalys används dock källstyrkor som klart överstiger värden som går att finna i andra vägledning och rekommendationer. Rekommendationerna i rapporten bedöms vara tillräckligt robusta inte nödvändiga att justera.

F. Säkerhetshöjande åtgärder

F.1. Skydd mot brandspridning

En pölbrand uppkommer vid utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor. Strålningsvärmens från dessa bränder är intensiv samtidigt som den avtar exponentiellt med avståndet. Strålningsnivån ska understiga det värde på 14 kW/m² som ger upphov till 2:a gradens brännskador respektive det värde på 15 kW/m² som ger brandspridning till byggnader³⁷.

För att kunna bedöma på vilket avstånd som det finns risk för brandspridning görs beräkningar av värmestrålning för en dimensionerande pölbrand³⁸ på 200 m², vilket ger en flamma som är 21 meter hög och 16 meter bred. Utgående strålning från branden är 43 kW/m² och för att brandspridning/brännskador inte ska ske måste synfaktorn understiga 0,33. Synfaktorn understiger detta värde på cirka 15 meters avstånd från branden. Beräkningarna redovisas nedan och gäller för motstående ytor (fasader parallella med spårområdet). Notera att avståndet (c) är det som söks för att synfaktorn (F_{d1-2}) inte ska överstiga 0,33.



$$F_{d1-2} = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}} \tan^{-1} \left(\frac{b}{\sqrt{a^2 + c^2}} \right) + \frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{\sqrt{b^2 + c^2}} \right) \right]$$

$$a/2 = 8 \text{ m}$$

$$b/2 = 10,5 \text{ m}$$

$$c = 15 \text{ m}$$

$$4 \times F_{d1-2} = 4 \times 0,079 = 0,32$$

Beräkningarna ovan visar att ett skyddsavstånd på 15 meter är tillräckligt för att undvika brandspridning och brännskador. Men, då avståndet ska mätas från pölens närmaste kant

³⁶ TNO, *Guideline for quantitative risk assessment*, CPR 18E.

³⁷ Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av brandskydd i byggnader, BBRAD3, BFS 2011:27 med ändringar t.o.m. 2013:12.

³⁸ Brandens yta på 200 m² motsvarar ytan som ett stort läckage av en hel tank, cirka 20 m³, resulterar i. Kolväten brinner med en förbränningshastighet på 0,1 kg/m²s, vilket ger en effektutveckling på cirka 370 MW för en pöl på 200 m².



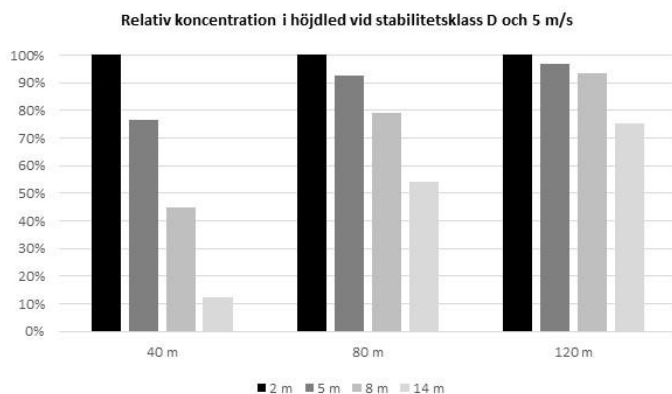
mot byggnaden uppstår några osäkerheter. Det är rimligt att anta att pölen breder ut sig mot planområdet och dess diameter är i storleksordningen 15 meter. Om byggnader inom 30 meter från transportleden skyddas mot brandspridning fås ett skydd som är tillfredsställande i de allra flest fall. Om det finns förutsättningar för att begränsa spridningen av vätskor kan ett skyddsavstånd på 20 meter från kanten där vätskor bromsas upp. Exempel på detta är mitten på ett dike, nedre kanten på en vall eller kanten hos en mur som vetter mot transportleden.

F.2. Högt placerade luftintag

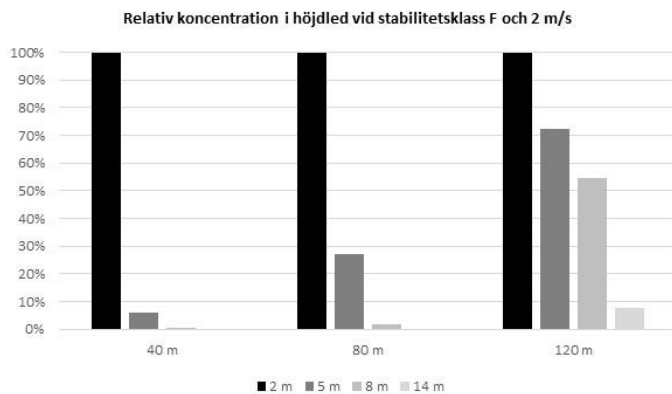
Många av de giftiga gaser som transporteras på väg är så kallade tunga gaser, vilket betyder att de har högre densitet än den omgivande luften och sprider ut sig längs marknivån. Efterhand som att gasmolnet blandas upp med luft minskar densiteten och till slut är densitetsskillnaden mellan omgivande luft och molnet försumbar. I avsnitt B.1.4 beskrivs flödesschemat för spridning i luft. Det så kallade tunggassteget har i 90 % av fallen en räckvidd på mindre än 200 meter, vilket medför att en säkerhetshöjande åtgärd som högt placerade luftintag i teorin kan vara effektiv för att minska hur mycket gas som kommer in i en byggnad.

Med hjälp av modellen "Spridning Luft", version 1.4.3 tillgänglig via programpaketet RIB som ges ut av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, undersöks hur koncentrationen varierar i höjdlid på tre avstånd (40, 80 samt 120 meter från utsläppspunkten). Tre olika höjder studeras (2, 8 och 14 meter ovan mark), vilka är representativa för byggnader med varierande våningsantal. Beräkningarna utförs för stabilitetsklass D och en vindhastighet på 5 m/s samt för stabilitetsklass F och en vindhastighet på 2 m/s. Gasen utgörs av svaveldioxid och källstyrkan 4,0 kg/s motsvarar ett rörbrott.

Resultatet redovisas i Figur 7 och Figur 8 där koncentrationen 2 meter ovan mark utgör ett referensfall och det värde som övriga resultat normeras mot. Ett värde större än 100 % innebär att koncentrationen på den studerade höjden är högre än den för referensfallet och ett värde på mindre än 100 % innebär att koncentrationen är lägre än referensfallet.



Figur 7. Relativ koncentration på olika höjder och olika avstånd från utsläppspunkten givet stabilitetsklass D och 5 m/s.



Figur 8. Relativ koncentration på olika höjder och olika avstånd från utsläppspunkten givet stabilitetsklass F och 2 m/s.

Båda figurerna visar att högt placerade luftintag skulle ge en påtaglig minskning av koncentrationen inomhus vid ett utsläpp med giftig gas. Effekten blir större ju närmre utsläppspunkten som byggnaden är placerad och ju högre luftintaget är placerat. Men, det är framför allt aktuella väder- och vindförhållanden som styr. Vid stabil skiktning så trycks gasmolnet ner mot marken av den ovanliggande luften, vilket ger mindre utblandning i höjdlid. För detta fall har luftintagets placering mycket stor betydelse inom hela riskhanteringsområdet. Sammanfattningsvis ger en placering av luftintag på cirka 8 meters höjd ovan mark möjlighet till en påtaglig riskminskning.