

PLANPROGRAM STATIONSSTADEN

Bilaga 5

Riskutredning



Läsanvisning

Denna utredning är framtagen under arbetet med planprogrammet för Stationsstaden. Syftet med utredningen var att kvalitetssäkra planprogramsförslaget och föreslå konkreta lösningar och rekommendationer inför kommande planeringssteg.

Det innebär att planprogramsförslaget som refereras till i utredningen, med text och kartor, kan ha förändrats efter att utredningen färdigställts.

Det är det slutliga förslaget som redovisas i planprogrammet som är det gällande och denna utredning är ett kompletterande planeringsunderlag som innehåller fler detaljer än vad som ryms i planprogrammet.

Riskutredning planprogram



Södra Myran, Stationsstaden Enköping

2023-03-09

Rev. Datum:

-

PROJEKTNAMN
Stationsstaden

STATUS
Version 1.0

FASTIGHET OCH KOMMUN
Södra Myran, Enköping

UPPDRAGSGIVARE
VAP VA-Projekt AB

UPPDRAGSANSVARIG
Johannes Lärkner

HANDLÄGGARE
Adam Lindström





Innehåll

1. Inledning	3
1.1. Bakgrund	3
1.2. Syfte och mål	3
1.3. Omfattning och avgränsningar	3
1.4. Metod	4
1.5. Underlag	4
1.6. Kvalitetsledningssystem	4
1.7. Revideringar och egenkontroll	5
2. Riskhänsyn vid fysisk planering	6
2.1. Fysisk planering	6
2.2. Risk	6
2.3. Styrande dokument och vägledningar	7
2.4. Metodik, principer och kriterier för riskvärdering	9
3. Planområdets förutsättningar	13
3.1. Planområdet och planförslaget	13
3.2. Järnväg Mälarbanan	14
3.3. Personintensitet	15
4. Riskinventering	16
4.1. Transport av farligt gods	16
5. Risknivåer och riskvärdering	22
5.1. Individrisk	22
5.2. Samhällsrisk	23
5.3. Bedömning av lämpliga säkerhetshöjande åtgärder	24
6. Slutsatser	25
6.1. Allmänt	25
6.2. Rekommendationer	25
7. Referenser	27



1. Inledning

1.1. Bakgrund

Briab har fått i uppdrag av VAP VA-Projekt AB, och i förlängningen Enköpings kommun, att utreda den riskbild som är förknippad med exploatering av området södra Myran, Enköping, inom stationsstaden. 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.

Södra Myran är belägen inom Stationsstaden i Enköping, vilken omfattas av ett större planprogram i anslutning till Mäljarbanan. Området södra Myran är det område inom Stationsstaden som är beläget närmast Mäljarbanan.

Enköpings kommun har påbörjat arbetet med planprogrammet. Programmet ska sedan ligga till grund för kommande detaljplaner i området. Att notera är således att denna riskutredning har detaljeringsnivå motsvarande planprogram. Eftersom planprogrammet är i ett tidigt skede har en del antaganden behövts göra i denna riskutredning. Riskutredning kan således fungera som en fingervisning inför det kommande arbetet med detaljplaner i området. I detta arbete kan fördjupade riskutredningar behövas för att komplettera denna handling.

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 aktuellt planprogram.

Riskutredning utgör underlag för kommande skede i detaljplaneprocessen.

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 trafikalt och befolkningstäthet.

Denna riskutredning omfattar följande typer av riskkällor:

- Transport av farligt gods på järnväg Mäljarbanan.
- Bensinstationer – endast i viss mån då förutsättningar kan ändras när området exploateras.



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:

- a. Vad kan hända?
 - b. Hur ofta kan det hända?
 - c. Vilka blir konsekvenserna?
 - d. 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.

HANDLIG

Grundkarta: 230111 GK_Myran-södra-utökad 3D

Myran_södra-ortofoto2021

Underlag Risk - Enköping

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
2023-02-24	Version 1.0	Adam Lindström	Fredrik Nystedt
2023-03-09	Version 1.0	Johannes Lärkner	Enbart mindre justeringar efter dialog med beställare



2. Riskhänsyn vid fysisk planering

2.1. Fysisk planering

Fysisk planering regleras av plan- och bygglagen och miljöbalken. 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 önskad 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 befolkningssituation 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.



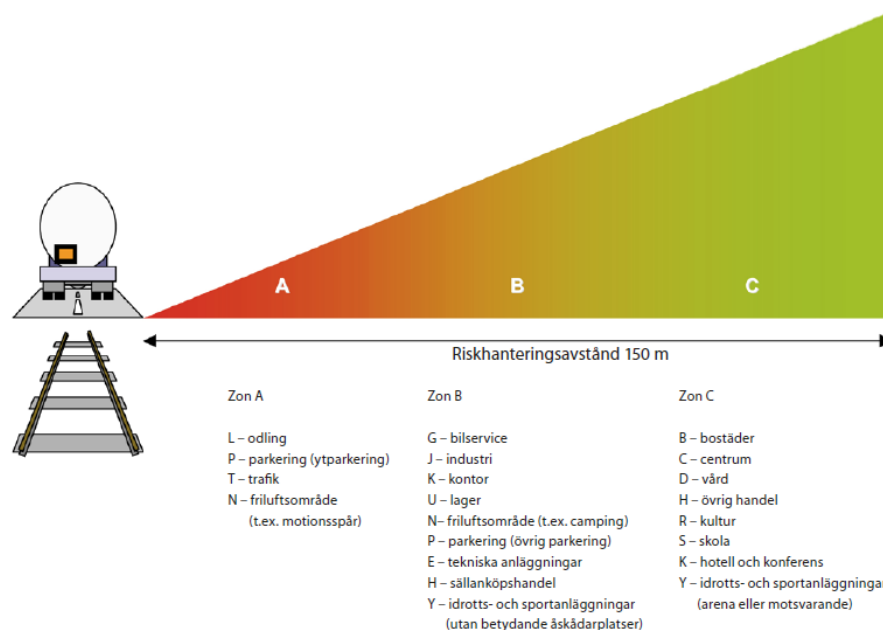
2.3. Styrande dokument och vägledningar

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 har tagit fram ett gemensamt dokument *Riskhantering i detaljplaneprocessen*, som vanligen hänvisas till som riskpolicyn. Dokumentet har fått en bred tillämpning på ett nationellt plan och flertalet länsstyrelser har byggt sina ställningstaganden kopplat till bebyggelseplanering och farligt gods efter de principer som redovisas där. I riskpolicyn anges 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.

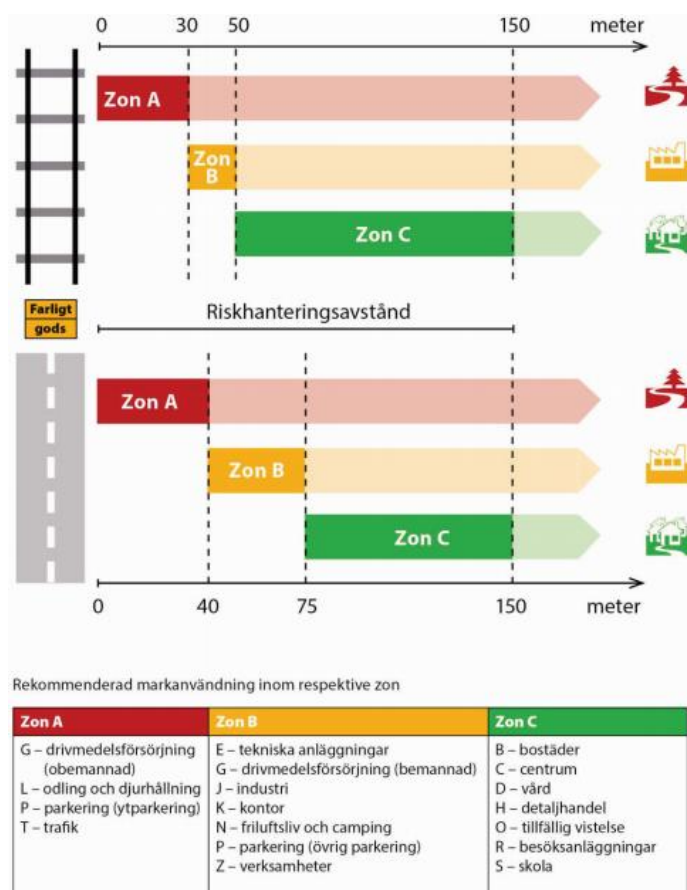


2.3.3. Riktlinjer från Länsstyrelsen Stockholm

Länsstyrelsen i Uppsala har inte gett ut några riktlinjer för riskhänsyn i fysisk planering. Vanligen hänvisas till riktlinjerna från Länsstyrelsen i Stockholm. Riktlinjerna från Länsstyrelsen i Stockholm redovisas nedan.

För att tydliggöra vilken mark som, med hänsyn till människors hälsa och säkert och risken för olyckor, är lämpad för ändamålet har Länsstyrelsen i Stockholm presenterat vägledning och riktlinjer för riskhänsyn vid fysisk planering. *Riktlinjer för riskanalys som beslutsunderlag* [4] och *Riskanalyser i detaljplaneprocessen* [5] är generella rekommendationer beträffande krav på innehåll i riskanalyser i planprocessen.

Specifika rekommendationer rörande bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer publicerades 2000 [6]. Länsstyrelsen anser i dessa rekommendationer att ny bebyggelse inte bör medges så nära farligt gods-leder att transporterna med farligt gods till slut omöjliggörs. I de senast utgivna riktlinjerna från 2016, *Riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods* [7], rekommenderas att markanvändning intill transportleder för farligt gods generellt bör planeras med de i Figur 2 angivna skyddsavstånden (zon A, B och C).



Figur 2. Rekommenderade skyddsavstånd mellan transportleder för farligt gods (väg och järnväg) och olika typer av markanvändning [7]. Avstånden mäts från närmaste väggkant respektive närmaste spårmitt.



Åtgärder genom planbestämmelser

I riktlinjerna från Länsstyrelsen i Stockholm anges ett antal åtgärder och när dessa är relevanta ett införa genom planbestämmelser.

Det ska finnas ett bebyggelsefritt skyddsavstånd på minst 25 meter intill järnväg, mätt från närmaste spårmitt. Inom 30 meter från närmaste spårmitt till järnväg där det förekommer transport av farligt gods presenteras följande åtgärder för markanvändning bostäder (B), centrum (C), vård (D), handel (H), friluftsliv och camping (N), tillfällig vistelse (O), besöksanläggningar (R), skola (S), kontor (K), drivmedelsförsörjning (G), industri (J) och verksamheter (Z):

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

Brandklassade fönster kan enligt Länsstyrelsen i Stockholm vara öppningsbara, vilket är ett avsteg från vad som anges i Boverkets byggregler (BBR) [7]. Om detta ska tillåtas i planen bör det anges i planbeskrivningen tillsammans med en förklaring till varför det tillåts.

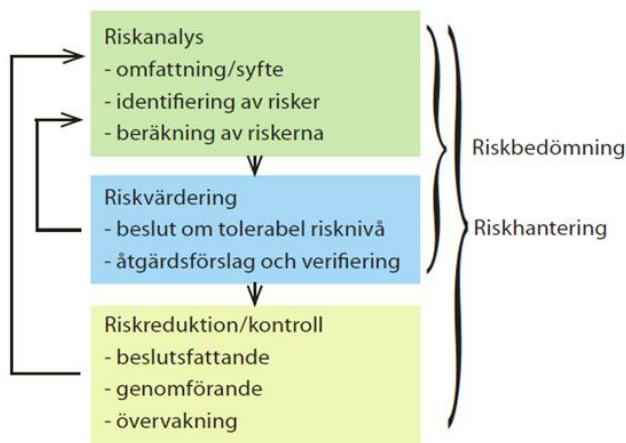
Länsstyrelsen i Stockholm menar att fönster i dessa fall kan tillåtas att öppnas för att tillfälligt vädras, och givet placeringen nära trafikleder är det troligt att de oftast hålls stängda.

”Avsteget” kan ses som en kompromiss för att möjliggöra fram för allt bostadsbebyggelse.

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 säkerhetskänsliga åtgärder samt uppföljning av att besluten ger avsedd påverkan på riskbilden. Schematiskt kan processen beskrivas enligt Figur 3.

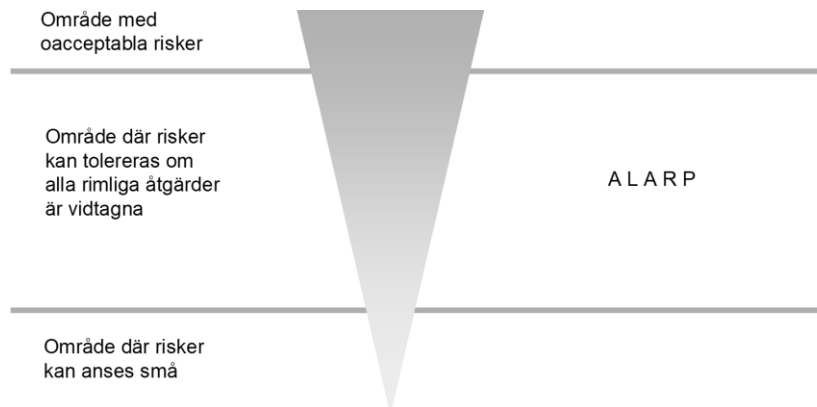


Figur 3. Metodik för riskhantering [3].



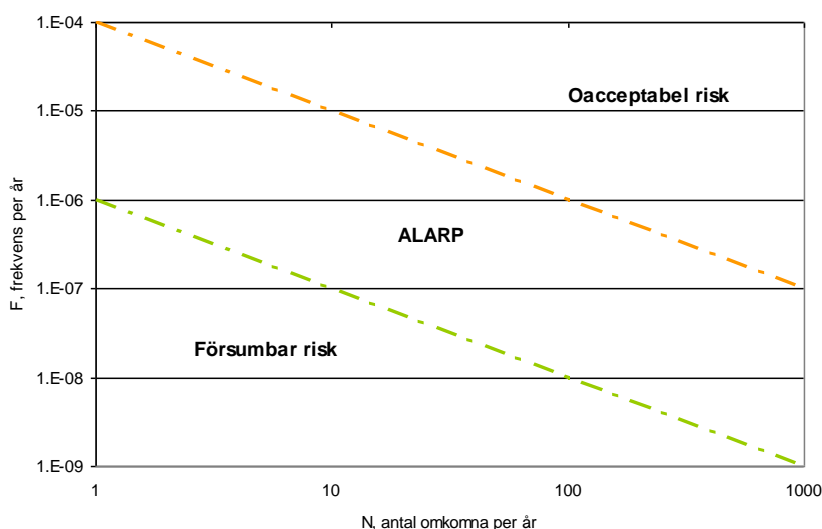
2.4.2. Allmänt om kriterier för riskvärdering

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. 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. 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.

2.4.4. 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.

Samhällsriskkriterierna ovan beräknas med frekvenser för 1 km transportled och avser ett område på 1 km^2 med den tillkommande bebyggelsen placerad i mittpunkt.



2.4.5. Riskhänsyn till drivmedelstationer

Drivmedelsstationer medför bland annat risk för brand, spill och utsläpp av drivmedel, bullerpåverkan och exponering för avgaser från trafik och vid tankning samt påfyllning [6].

Hur ofta leveranser sker påverkar sannolikheten för en olycka som medför påverkan på omgivningen. *Bättre plats för arbete* anger ett riktvärde på 100 meter mellan drivmedelsstationer och bostadsbebyggelse [8]. Länsstyrelsen i Stockholms län anger följande rekommendationer [6]:

- Byggnad bör med hänsyn till brand- och explosionsrisk inte uppföras inom ett avstånd av 25 meter från tankfordonets lossningsplats, avluftningsanordningar från bensincisternen och tankställe där fordon tankas (pump).
- Från bostäder och samlingsplatser utomhus till bensinstation bör ett minimiavstånd på 50 meter alltid hållas, ur både risk-, miljö och hälsoskyddssynpunkt. Detta längre avstånd gäller främst med hänsyn till luftföroreningarnas långsiktiga påverkan på människor.

I nyplaneringsfallet (ny bebyggelse eller ny bensinstation) bör dock alltid ambitionen vara att hålla ett avstånd på 100 meter.

Drivmedelsstationer medför bland annat risk för brand, spill och utsläpp av drivmedel, bullerpåverkan och exponering för avgaser från trafik och vid tankning samt påfyllning [6].

Sedan rekommendationerna för riskhänsyn vid ny bebyggelse för drivmedelsstationer skrevs av Länsstyrelsen i Stockholms län med ovanstående rekommendationer har absolutkrav för gasåterföring vid tankning införts, vilket både minskar utsläpp och explosionsrisker. Detta gör att de avstånd som rekommenderades år 2000 med största sannolikhet skulle vara kortare om rekommendationerna skrevs om idag. En undersökning i Luleå kommun visar att gasåterföringssystemen minskar utsläppen av lättflyktiga kolväten i samband med drivmedelshantering med cirka 70 % [9].

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) har gett ut en handbok om hur föreskrifterna om hantering av brandfarliga gaser och vätskor bör tillämpas vid drivmedelsstationer [10]. MSB rekommenderar ett skyddsavstånd på minst 25 meter från lossningsplats till bostäder. Mellan tankställe och bostad rekommenderas ett avstånd på minst 18 meter.

Utifrån skydd mot olyckor avseende transport och hantering av brandfarliga varor på drivmedelstationer kan ett skyddsavstånd på 25 meter från plats där brandfarlig vara hanteras till bebyggelse tillämpas. För boende, vårdbehövande eller barn bör även hänsyn tas till hälsopåverkan av lättflyktiga kolväten. Ett skyddsavstånd på 50 meter till bostäder är tillräckligt för att exponeringen ska vara tillfredsställande låg.

Det bör noteras att konceptet "drivmedelstation" är i förändring. När riktlinjerna som hänvisas till ovan skrevs förutsattes att med *drivmedel* menas bensin, diesel, E85 och möjligen fordonsgas. Idag byggs laddstolpar ofta i närheten av befintliga drivmedelsstationer på grund av smidighet och tradition. Riskbilden med laddstolpar skiljer sig från exempelvis cisterner med bensin och diesel, och beroende på samhällsutvecklingen i stort kan avstånd till "drivmedelstationer" behöva ses över i kommande detaljplaner, då nya riktlinjer säkerligen kommer komma framgent.



3. Planområdets förutsättningar

3.1. Planområdet och planförslaget

Planområdet är beläget i norra delen av Enköping precis norr om järnvägsstationen. Planområdet är i dagsläget bebyggt med varierad bebyggelse och parkering.

Väg E18 går norr om planområdet, dock ca 700 meter från Stationsstaden och berört område. Transport av farligt gods på väg E18 hanteras därmed inte i denna riskutredning.

Mäljarbanan, se rosa markering i Figur 6, är belägen precis i gränsen mot Stationsstaden. Järnvägsstationen är belägen ungefär på den södra sidan av järnvägen, ungefär på mitten av Stationsstaden.



Figur 6. Illustration över Stationsstadens placering. Mäljarbanan är markerad med rosa linje.

Det är ännu inte helt bestämt hur planområdet kommer att bebyggas, men troligt nyttjande av marken utgörs av handel, bostäder, kontor, hotell, etc.



3.2. Järnväg Mäljarbanan

Mäljarbanan passerar precis söder om Stationsstaden. På Mäljarbanan framförs både passagerartåg och godståg. Enligt tågplanen för 2022 uppgår ÅDT för samtliga fordonskategorier till 57,7 tåg, se Tabell 1.

Tabell 1. ÅDT 2022 (nuläge) för trafikplats Enköping.

B2. Trafikuppgifter tågplan 2022 per trafikplats			
Årsdygnstrafik (ÅDT) enligt tågplan 2022 (T22) per trafikplats, fordonskategori NMT96 och uppehållstyp			
Trafikplats	Fordonskategori NMT96	Upphållstyp	ÅDT tågplan
Enköping	Gods	Passage	5,0
Enköping	Gods	Upphåll	0,0
Enköping	GodsDi	Passage	0,0
Enköping	GodsDi	Upphåll	1,0
Enköping	Pass	Passage	0,0
Enköping	Pass	Upphåll	5,9
Enköping	X40	Upphåll	43,9
Enköping	X50-54	Upphåll	0,1
Enköping	Övriga	Passage	1,5
Enköping	Övriga	Upphåll	0,3
Enköping	Totalt		57,7

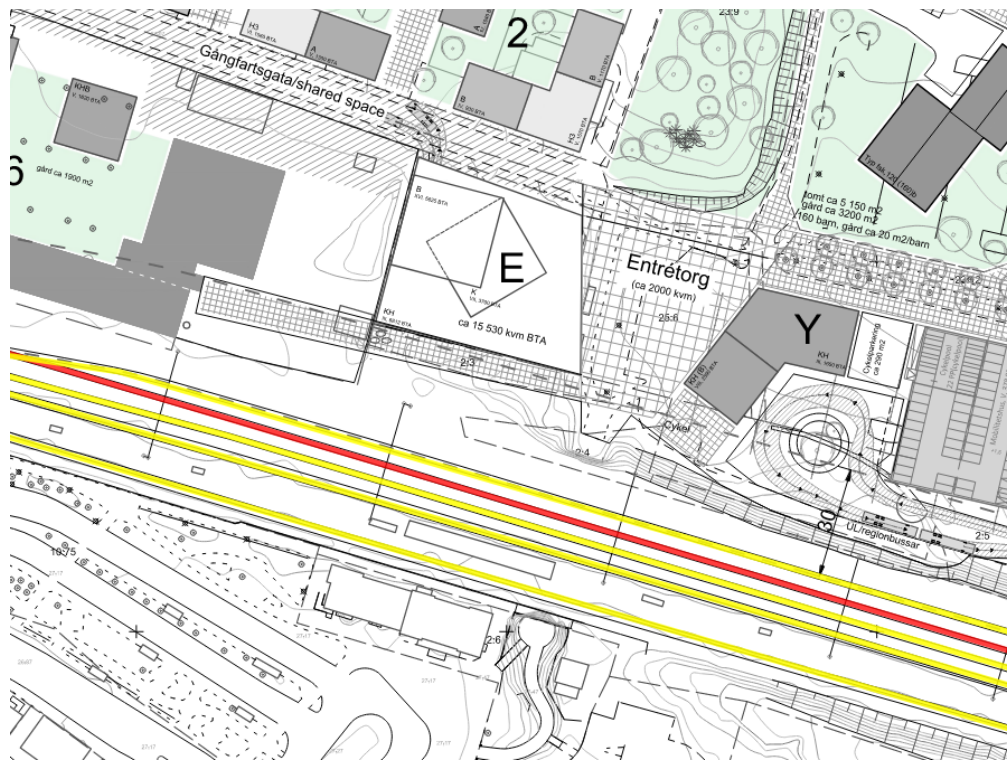
ÅDT för godståg uppgår till 6,0 tåg i nuläget.

Enligt uppdragsbeskrivningen framgår att riskutredning ska utgå från prognosår 2040. ÅDT för samtliga fordonskategorier 2040 ökar till 87,9 tåg, se Tabell 2. Däremot minskar antalet godståg till 3,7 tåg.

Tabell 2. ÅDT 2040 (prognosår) för trafikplats Enköping.

A1. Trafikuppgifter prognos 2040			
Årsdygnstrafik (ÅDT) enligt prognos 2040 per linjedel och fordonskategori NMT96.			
Linjedel	Bana	Fordonskategori NMT96	ÅDT prognos
Bålsta-Västerås N	Mäljarbanan	Gods	3,7
Bålsta-Västerås N	Mäljarbanan	X40	49,1
Bålsta-Västerås N	Mäljarbanan	X60	35,1
Bålsta-Västerås N	Mäljarbanan	Totalt	87,9

Förbi planområdet finns ungefär 10 spär växlar i dagsläget, samt 5 spär. Endast 2 av dessa spär är genomgående och övriga 3 spär tillkommer vid stationen. I riskberäkningarna förenklas utformningen till 3 spär och där avstånd till bebyggelse inom Stationsstaden räknas från det rödmarkerade spåret i Figur 7.



Figur 7. Riskberäkningarna gör med i genomsnitt 3 spår och avstånd till bebyggelse räknas från rödmarkerat spår.

Det kan noteras att Trafikverket oftast kräver ett skyddsavstånd på 30 meter från sin anläggning. Detta härleds dels till olycksrisken, men även till Trafikverkets möjlighet att genomföra drift och underhåll på sina anläggningar.

3.3. Personintensitet

För att beräkna samhällsrisk behövs underlag som visar på hur personintensiteten varierar inom områden och mellan olika typer av markanvändning. Då riskutredningen tas fram i ett tidigt skede av planprogrammet ansätts en personintensitet för hela Stationsstaden. För stad ansätts personintensiteten normalt till 5 000 personer per km², och för tät stad till 10 000 personer per km². Beräkningar görs med båda personintensitetsnivåer.



4. Riskinventering

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]. Med transportleder för farligt gods avses sådana leder som är utpekade som primära eller sekundära transportleder eller vägar där det sannolikt kan gå farligt gods-transporter. En primär transportled för farligt gods är avsedd för genomfartstrafik, varför där kan förväntas gå farligt gods-transporter i alla klasser¹, medan en sekundär transportled är avsedd för lokala transporter till och från de primära lederna.

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 land regleras i RID² för transport på järnväg. Farligt gods utgörs av flera olika ämnen vars fysikaliska och kemiska egenskaper varierar, och i RID delas farligt gods in i klasser beroende på vilka farliga egenskaper som ämnet har. I Tabell 3 beskrivs klasserna och karakteristiska konsekvenser för respektive klass.

¹ Transporter med farligt gods delas in i nio olika klasser för ämnen med liknande risker vid transport på väg. Klassificeringen benämns ofta ADR-klasser efter ett europeiskt regelverk för transport av farligt gods på landsväg.

² RID är europeiska föreskrifter för transport av farligt gods på järnväg. I Sverige används den nationella anpassningen RID-S (MSBFS 2020:10).



Tabell 3. Kortfattad beskrivning av respektive ADR/RID-klass.

KLASS	KATEGORI	BESKRIVNING	KONSEKVENSER
1	Explosiva ämnen och föremål	Sprängämnen, tändmedel, ammunition, etc.	Orsakar tryckpåverkan, brännskador och splitter. Stor mängd massexpllosiva ämnen ger skadeområde med 100 m radie (orsakat av tryckvåg). Personer kan omkomma både inomhus och utomhus. Övriga explosiva ämnen och mindre mängder massexpllosiva 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, gasmolnexplosion eller BLEVE. Konsekvensområden 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.
4	Brandfarliga fasta ämnen	Kiseljärn (metallpulver), karbid och vit fosfor.	Brand, strålning och giftig rök. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till närområdet kring olyckan.
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 uppemot 100 m.
6	Giftiga ämnen. Smittförande ämnen	Arsenik-, bly- och kvicksilversalter, bekämpningsmedel, etc.	Giftigt utsläpp. Konsekvenserna 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 begränsade till närområdet. Personskador kan uppkomma på längre avstånd.
9	Övriga farliga ämnen	Gödningsämnen, asbest, magnetiska material etc.	Konsekvenserna 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 järnväg

För andelen av godstrafiken (antal vagnar) som transporterar farligt gods används värdet 5,5 %. Nationell statistik från förvaltningsmyndigheten Trafikanalys under perioden 2018-2021 visar att transporter med farligt gods utgjorde cirka 5 % av antalet godstransporter. För järnvägstransporter förändrades metoderna för inhämtning av statistik år 2018 och statistiken efter 2018 är därmed inte jämförbar med tidigare år. Statistiken baseras på registerdata samt svar på enkäter som skickas ut till företag och myndigheter i järnvägssektorn. Indelning i respektive RID-klass redovisas i Tabell 4, och utgår från:

- Nationell statistik
- Annan information

Det redovisas inga transporter av RID-klass 1 i underlaget. För att ta hänsyn till sådana transporter och de olyckor som kan inträffa antas dessa ämnen utgöra 0,5 % av den mängd farligt gods som transporteras på järnväg.

Uppdelningen av RID-klass 1, 5 och 6 i underklasser har hämtats från Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer (RIKTSAM) [13] i brist på annan information. För klass 3 har det antagits förekomma ämnen med både brandfarliga och giftiga egenskaper i 5 % av fallen.

Tabell 4. Uppdelning av transport av farligt gods på järnväg X i huvudklasser och underklasser. 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 %
		Brännbart	30 %
		Övrigt	60 %
3	27,9 %	Giftigt	5 %
		Brandfarligt	95 %
4	2,3 %	-	-
5	14,3 %	Explosivt	5 %
		Övrigt	95 %
6	1,7 %	Flytande	72 %



RID-KLASS	ANDEL INOM RID-KLASS	UNDERKLASS	ANDEL INOM UNDERKLASS
		Övrigt	28 %
7	0 %	-	-
8	18,6 %	-	-
9	1,0 %	-	-

4.1.3. Val av olycksscenarier

Vid transport av farligt gods utgör nedanstående olycksförlopp de dimensionerande olycksscenarierna som utgör underlag till beräkning av individ- och samhällsrisknivåer (se även Tabell 5):

- 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, gasmolnexplosion, gasmolnbrand 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 5. Sammanfattning av dimensionerande olycksscenarier vid transport av farligt gods.

ÄMNE	PRIMÄR HÄNDELSE	SEKUNDÄR HÄNDELSE	SKADEVERKAN
Massexplosiva 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 ³). Jetflamma vid antändning av utströmmande gas. Explosion vid kraftig upphettning av tryckkondenserad gas som kokar och släpps ut momentant från en bristande tank (BLEVE ⁴).	Brännskador Tryckskador Förgiftningsskador vid inandning

³ Unconfined Vapour Cloud Explosion.

⁴ Boiling Liquid Expanding Vapour Cloud Explosion.



ÄMNE	PRIMÄR HÄNDELSE	SEKUNDÄR HÄNDELSE	SKADEVERKAN
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

4.1.4. Järnvägsdata

I genomsnitt deltar 3,5 vagnar i en urspårning. 5,5 % av godsvagnarna antas medföra farligt gods. Sannolikheten att en eller flera av dessa vagnar medför farligt gods är:
 $1 - (1 - 0,055)^{3,5} = 18 \%$.

I Tabell 6 visas indata för beräkning av olycksfrekvenser på järnväg uppdelat på person- respektive godståg.

Tabell 6. Indata för beräkning av olycksfrekvens på järnväg.

PARAMETER	ANTAL
Totalt antal tåg per år	32 120
Totalt antal vagnar per år	128 480
Totalt antal vagnaxlar per år	311 710

4.1.5. Frekvens för olycksscenarioer för järnvägstrafik

I Tabell 7 sammanställs de olika olyckstyperna, intensitetsfaktorerna, exponering och frekvens per år enligt Fredéns modell.

Tabell 7. Beräkning av olycksfrekvens för aktuell del av Mäljarbanan.

PARAMETER	INTENSITETSFAKTOR	EXPONERING	FREKVENS/ÅR
Rälsbrott	5,0E-11 / vagnaxelkm	311710	1,6E-05
Solkurva	1,0E-5 / spårkm	1	1,0E-05
Spårlägesfel	5,9E-10 / vagnaxelkm	311710	2,3E-04
Växel sliten	5,0E-10 / passage	10	1,6E-03
Vagnfel	3,1E-9 / vagnaxelkm	311710	9,7E-04
Lastförskjutning	4,0E-10 / vagnaxelkm	311710	1,2E-04
Annan orsak	5,7E-8 / tågkm	32120	1,8E-03
Okänd orsak	1,4E-7 / tågkm	32120	4,5E-03
Kollision i plankorsning	5,0E-8 / tågpassage	0	0,0E+00

I Tabell 8 visas en sammanställning av urspårningsfrekvenser för aktuell del av Mäljarbanan. I riskmodellen används frekvenserna tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna för att beräkna risknivåer.



Tabell 8. Sammanställning av frekvenser per år för urspårning.

URSPÅRNING	FREKVENNS/ÅR
Urspårning (total)	0,0093
Urspårning (persontåg)	0,0084
Urspårning (godståg)	0,0009
Urspårning (godståg med farligt gods)	0,0002

De enskilda scenariernas frekvenser i Tabell 9 avser olyckor med farligt gods och är den data som frekvensmodellen lämnar över till riskmodellen som redovisas i bilagan. I riskmodellen används frekvenserna tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna för att beräkna risknivåer.

Tabell 9. Frekvenser per år för respektive scenario vid järnvägstransport.

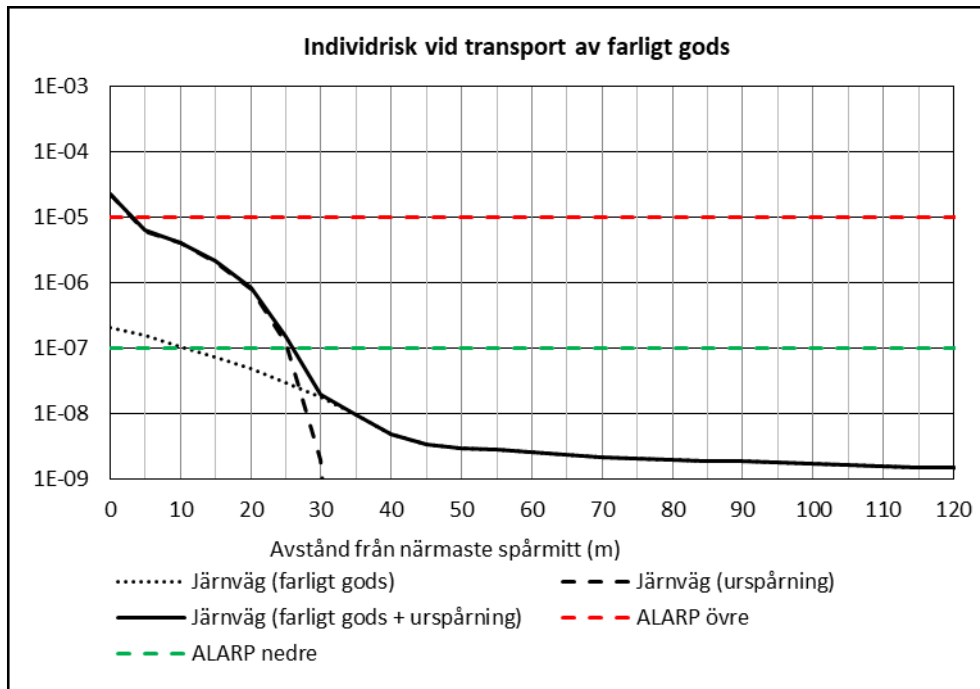
SCENARIO	FREKVENNS/ÅR
Klass 1 detonation	2,7E-09
Klass 2 BLEVE	1,6E-09
Klass 2 jetflamma	2,0E-08
Klass 2 UVCE	4,8E-09
Klass 2 giftmoln	3,2E-09
Klass 3 pölbrand (direkt)	2,6E-06
Klass 3 pölbrand (fördröjd)	1,3E-06
Klass 3 giftmoln	2,8E-08
Klass 5 detonation	1,7E-09
Klass 6 giftmoln	3,5E-08
Klass 8	4,4E-06
Summa:	8,4E-06



5. Risknivåer och riskvärdering

5.1. Individrisk

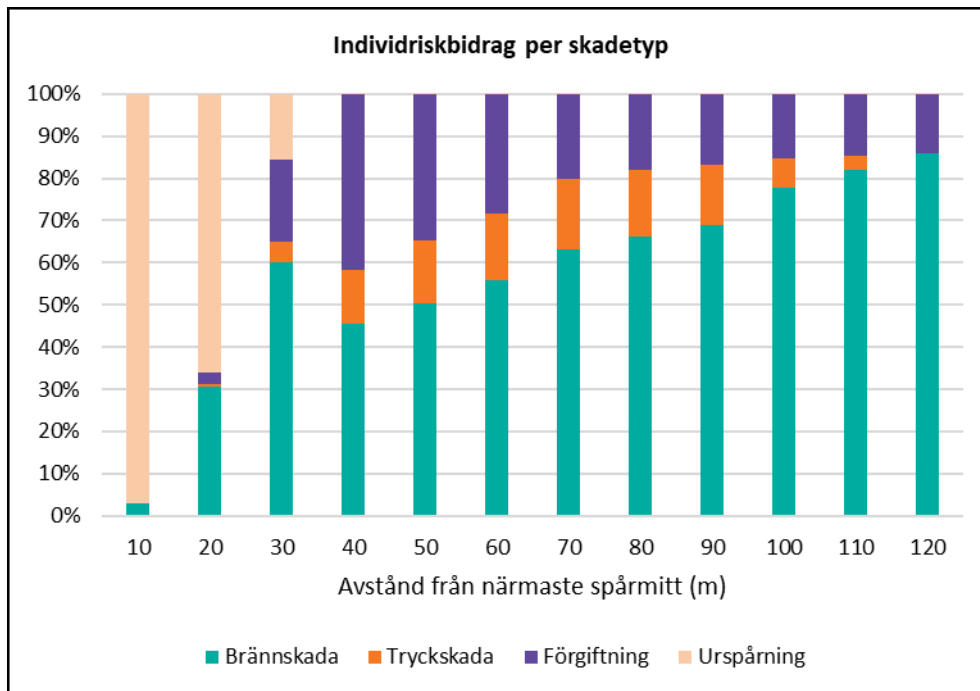
I detta avsnitt redovisas först grafer över beräknade individrisknivåer utmed studerad del av Mäljarbanan (1 km med Stationsstaden i centrum), se Figur 8.



Figur 8. Individrisk vid transport av farligt gods och urspårning utmed planområdet.

Individriska ligger således över ALARP-området inom 5 meter från spårmit. Detta beror på risknivåer kopplade till urspårning. Inom 30 meter från spårmit hamnar individriska inom ALARP-området för att därefter successivt minska.

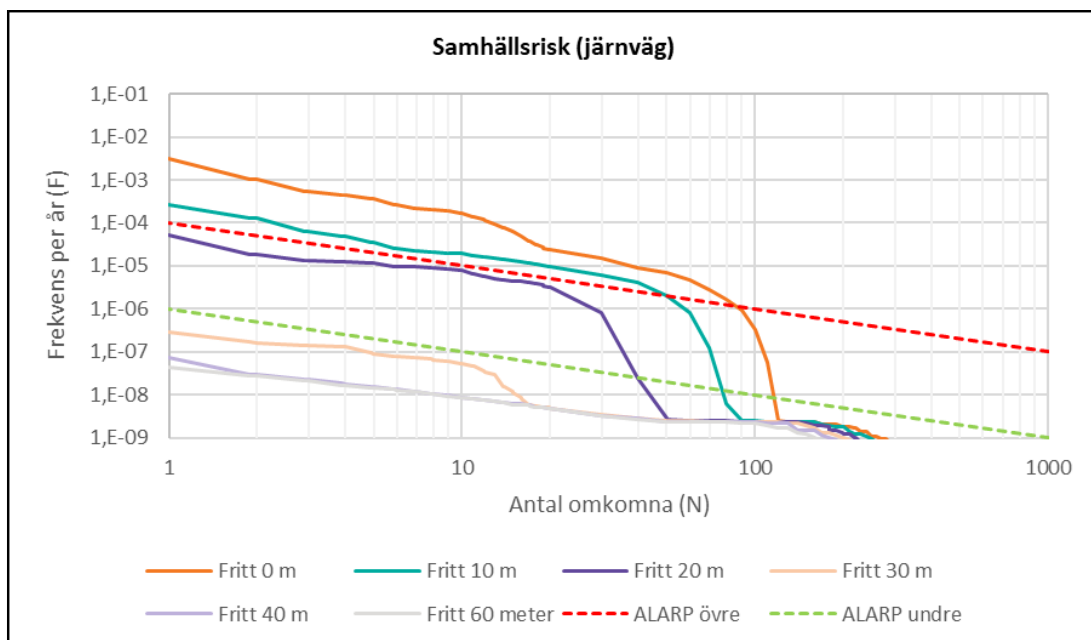
I Figur 9 redovisas individriska bidrag per skadetyper och avstånd från spårmit. Närmast spårmit (där individriska är som störst) bidrar scenarier med urspårning mest till den totala risknivån. Inom ALARP-området bidrar även scenarier med konsekvensen brännskada betydande till den totala risknivån.



Figur 9. Individriskbidrag per skadetyper och avstånd från spårmit.

5.2. Samhällsrisik

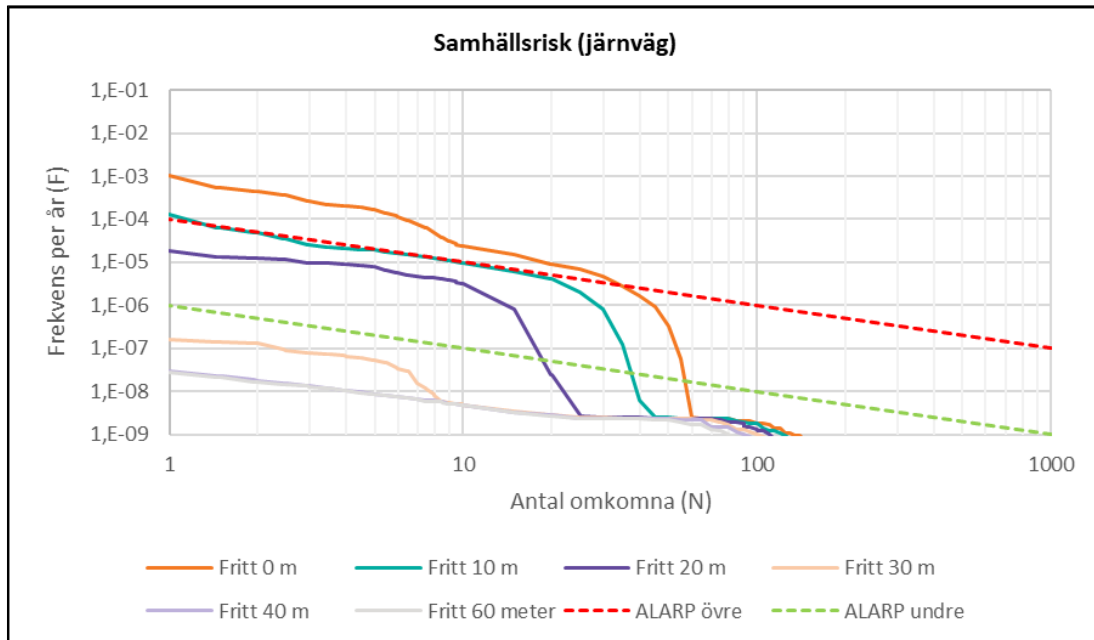
I Figur 10 redovisas samhällsrisiken utmed järnvägen för personintensitet 10 000 personer per km². De olika graferna visar olika bebyggelsefria avstånd från spårmit.



Figur 10. Samhällsrisik för planområdet med hänsyn till transport av farligt gods. Personintensitet 10 000 personer per km².



I Figur 11 redovisas samhällsriskerna utmed järnvägen för personintensitet 5 000 personer per km².



Figur 11. Samhällsrisk för planområdet med hänsyn till transport av farligt gods. Personintensitet 5 000 personer per km².

Utifrån Figur 10 och Figur 11 kan det konstateras att samhällsriskerna ligger under ALARP-området om bebyggelsefritt avstånd om 30 meter hålls till spårmittn, oavsett om personintensiteten sätts till 5 000 personer per km² eller 10 000 personer per km².

5.3. Bedömning av lämpliga säkerhetshöjande åtgärder

Med hänsyn till den beräknade individ- och samhällsriskerna rekommenderas ett bebyggelsefritt avstånd om 30 meter. Om detta avstånd uppfylls anses inga ytterligare säkerhetshöjande åtgärder vara nödvändiga, eftersom både individ- och samhällsriskerna hamnar under ALARP-området (baserat på de förutsättningar som är kända när denna rapport skrivs). Notera dock att exempelvis busshållplatser inte räknas som "bebyggelse" då de inte kan härledas till stadigvarande vistelse, utan är en naturlig del av att befinna sig inom transportsystemet.

Önskas bebyggelse inom 30 meter rekommenderas ett bebyggelsefritt avstånd om 25 meter baserat på graferna för individrisken och samhällsriskerna (samhällsriskerna ligger nära övre acceptanskriteriet vid detta avstånd). Byggnader inom 30 meter ska utföras med:

- Fasader, inklusive dörrar och fönster, i lägst brandteknisk klass EI 30.
- Friskluftsintag ska riktas bort från järnvägen.
- Det ska vara möjligt att utrymma bort från järnvägen på ett säkert sätt.



6. Slutsatser

6.1. Allmänt

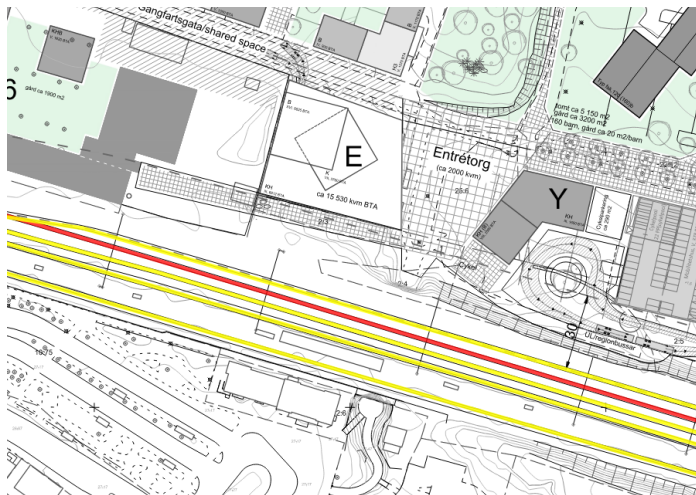
Syftet med riskanalysen är att undersöka om olycksriskerna avseende farligt gods på Mäljarbanan samt närheten till drivmedelsstationer är acceptabla för studerat planområde. Genom en riskanalys kan möjliga olyckor identifieras och bedömas och eventuella skyddsåtgärder kan därmed rekommenderas.

6.2. Rekommendationer

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

- Bebyggelseritt avstånd om 30 meter utan ytterligare åtgärder. Efter detta avstånd är individrisken acceptabel, och samhällsrisken ligger på acceptabla nivåer även med hög persontäthet.
- Bebyggelsefritt avstånd om 25 meter. Byggnader som uppförs mellan 25 meter och 30 meter ska utföras med:
 - Fasader, inklusive dörrar och fönster, i lägst brandteknisk klass EI 30.
 - Friskluftsintag ska riktas bort från järnvägen.
 - Det ska vara möjligt att utrymma bort från järnvägen på ett säkert sätt.

Alla avstånd räknas från spårmittpå rödmarkerat spår i Figur 12.



Figur 12. Rödmarkerat spår visar från vilken spårmittpå avstånd ska mätas.

- Bebyggelsefritt avstånd om minst 50 meter till eventuella drivmedelsstationer. Transporter till drivmedelsstationer kommer utgöra en försumbar del av risknivån i området. Däremot bör det vidare studeras hur nära bebyggelse dessa transporter sker. Vid korta avstånd bör konsekvenserna analyseras.



HANDLING
Riskutredning planprogram

PROJEKTNAMN
Stationsstaden

STATUS
Version 1.0

DATUM
2023-03-09

Enköping

REV. DATUM
-

-
- Brandposter och räddningstjänstens möjlighet till insats bör hanteras i den vidare planeringen av området.
 - Elektrifieringen av fordonsflottan kan snart komma att ställa nya krav på risk och säkerhet. Beroende på var laddningsplatser placeras (inomhus, utomhus etc.) kan riskbilden komma att se olika ut. För byggnader där laddning placeras inomhus ska frågan lyftas i samband med framtida byggprojektering och hanteras i en brandskyddsbeskrivning.



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, "Riktlinjer för riskanalyser som beslutsunderlag," Länsstyrelsen i Stockholms län, Stockholm, 2003.
- [5] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Riskanalyser i detaljplaneprocessen – vem, vad, när & hur?," Länsstyrelsen i Stockholms län, Stockholm, 2003.
- [6] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer," Räddnings- och säkerhetsavdelningen, Stockholm, 2000.
- [7] 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.
- [8] Boverket, "Bättre plats för arbete - Boverkets allmänna råd 1995:5," 1995.
- [9] A. Westerfors, "Bensin & dieselhantering, miljörapport 2002:3,," Miljökontoret, Luleå kommun., Luleå, 2002.
- [10] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), "Handbok - hantering av brandfarliga gaser och vätskor på bensinstationer," 2015.
- [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] 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.

Bilagor till riskutredning farligt gods



2023-03-09

Rev. Datum:

-

PROJEKTNAMN
Stationsområdet

STATUS
Version 1.0

FASTIGHET OCH KOMMUN
Södra Myran, Enköping

UPPDRAGSGIVARE
VAP VA-Projekt AB





1. Frekvenser för olycka med farligt gods

1.1. Generella indata

1.1.1. Olycksriktning

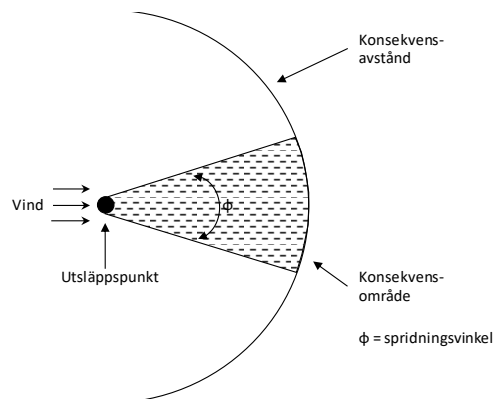
Med "olycksriktning" menas att hänsyn måste tas i vilken riktning som olyckan breder ut sig. Flertalet av scenarierna som kan inträffa är beroende av omgivningsförhållanden som vindriktning, men även olycksförloppets karakteristiska gör att den inte har en cirkulär påverkan. I Tabell 1 redovisas vilken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

Tabell 1. Korrektion 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
Urspåring	På båda sidor om spåret	1,0

1.1.2. 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.

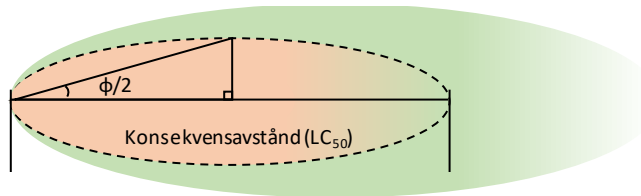
¹ I avsnitt 1.1.2 redovisas hur spridningsvinkeln beräknats.

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 2.

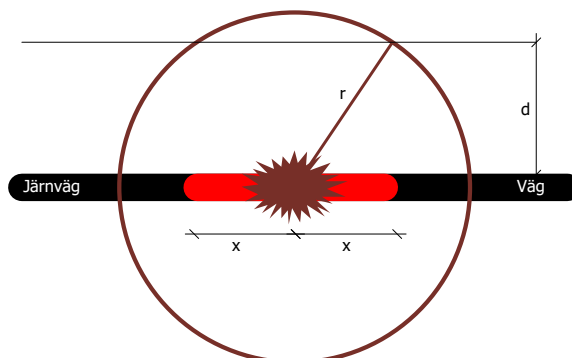
Tabell 2. Sammanställning av spridningsvinkel för olika väder- och vindförhållanden.

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 2) kan det konstateras att spridningsvinkeln kommer vara 22° eller lägre i 95 % av fallen. 22° används som dimensionerande värde i riskanalysen.

1.1.3. 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:

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

1.2. 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 olycka kommer i kontakt med varandra i 50 % av olyckorna och att det är en sannolikhet på 10 % att explosion sker efter kontakt⁷, givet att de

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.



oxiderande ämnen och organiska peroxider kan orsaka en explosion vid blandning med brännbar vätska.

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.

1.3. Olyckor på järnväg

1.3.1. 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

1.3.2. 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

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



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.

1.3.3. Sammanställning av frekvenser för enskilda scenarier

Informationen i avsnitt 1.1.1 samt 1.3.1-1.3.2 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 2.

En tabell över beräknade frekvenser redovisas i huvudrapporten.

2. Konsekvenser av olyckor med farligt gods

2.1. 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.

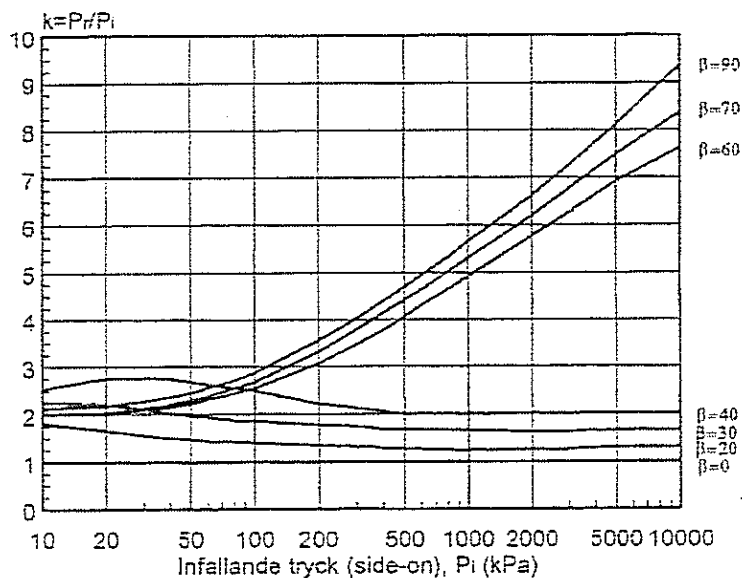
⁹ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.



2.1.1. 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.
- 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).

2.1.2. 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.

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

där

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

Y_{E_∞} = 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} = Prandtl's tal för luft, dimensionslöst = 0,71.

u = Vindhastighet, m/s.

D_{eq} = Pölens ekvivalenta diameter¹², m.

A = Pölens area, m.

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



ν	= Kinematisk viskositet för luft = $15,08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.
h	= Konvektivt värmeövergångstal, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.
k_{luft}	= Konduktivitet för luft = $0,02568 \text{ W}/\text{mK}$.
Q''	= Massflöde från ytan, $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$.
Q	= Massflöde från ytan, kg/s .
$C_{P_{\text{luft}}}$	= Värmekapacitet för luft = $1 \text{ J}/\text{gK}$.

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 den avdunstade vätskan antänds gäller inte denna modell, utan modellen för beräkning av konsekvensen av en pölbrand (se avsnitt 2.1.7).

2.1.3. 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).

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

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

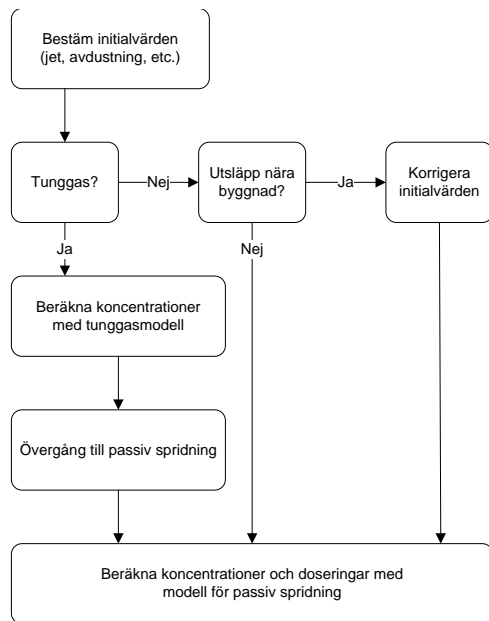
där,

Q	= Massflödet, kg/s .
C_d	= Kontraktionsfaktor för vätskeutströmning.
A	= Hålstorlek, m^2 .
P_0	= Tanktryck, Pa.
P_a	= Atmosfärstryck, Pa.
ν_f	= Specifik volym hos vätskefas, m^3/kg .
F	= Rörelsemängdsflöde i jetstråle, N.

2.1.4. Spridning i luft

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

¹³ Fischer, S. m.fl., *Vådautsläpp 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 2.1.2 eller modellen för bestämning av källstyrka vid utsläpp av tryckkondenserade gaser i avsnitt 2.1.3.

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:



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

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

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

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

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 så 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 höjdlid

u = Vindhastigheten, m/s.

H = Utsläppets höjd, m

Dispersionskoefficienterna som styr spridning i sid- och höjdlid 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
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 2.1.4.

2.1.5. 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/m².

X_E = Strålningsandel.

Δh_c = Förbränningsvärme, kJ/kg.

q_x = Mottagen strålning, kW/m².

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt 2.2.3. Sedan har eldklotets radie lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

2.1.6. 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.



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

där

- $R_{s,50}$ = Riskavstånd till 50 % dödlighet, m.
 t = Exponeringstid vid strålningspåverkan, s.
 Q = Utsläppets källstyrka, kg/s (se avsnitt 2.1.3).

2.1.7. 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 transmittteras genom luften, se avsnitt 2.1.5.

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt 2.2.3. Sedan har pölens diameter lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

2.1.8. 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.

2.2. Indata

2.2.1. 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

2.2.2. 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, JÄRNVÄG
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.

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.



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

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 nedan och gäller för järnväg.

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.

2.2.3. 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.

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



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)

2.3. 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 (LC₅₀) 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.

2.3.1. Konsekvensområde, enbart skyddsavstånd

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

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.

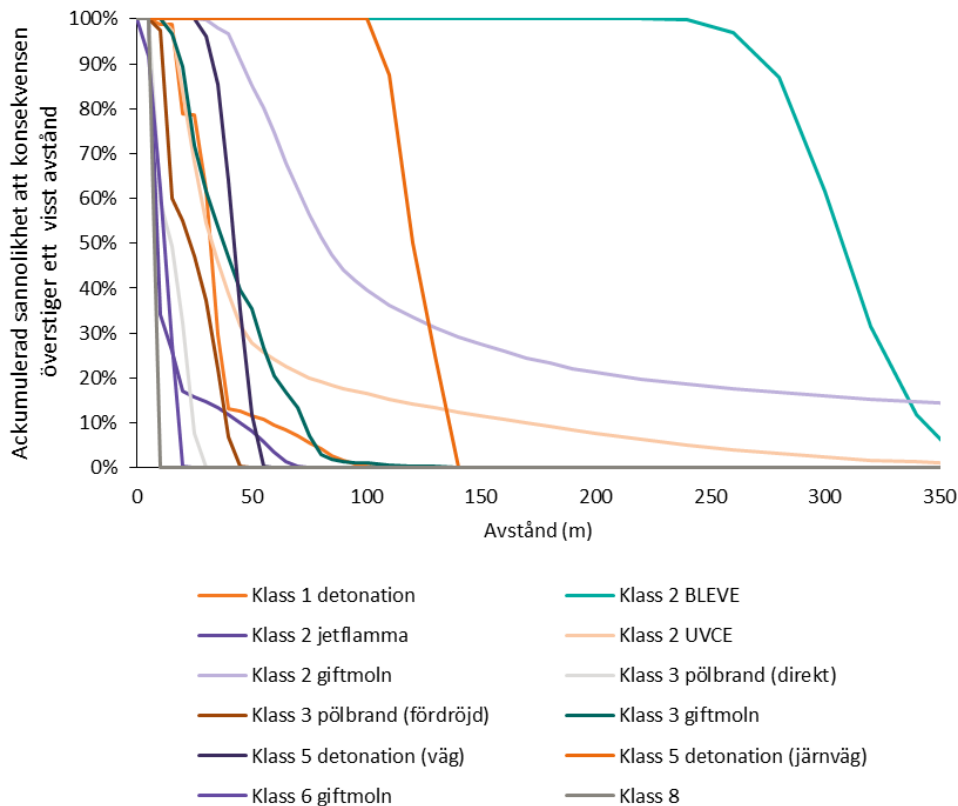
²¹ Eldklotets varaktighet för explosion är cirka 7 sekunder och för BLEVE cirka 11 sekunder. För värmestrålning från pölbränder gäller en exponeringstid på 30 s. Beräkningar av kritisk strålning sker enligt metodik redovisas i "CPR 16E, *Methods for the determination of possible damage*. Committee for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

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



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 skadefall 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.



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 atmosfärförhållanden.

2.3.2. 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 2.3.1, 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%	-	-
75	-	-	-	-	7%	1%	-	-
80	-	-	-	-	3%	1%	-	-
85	-	-	-	-	2%	1%	-	-
90	-	-	-	-	1%	1%	-	-
95	-	-	-	-	1%	1%	-	-
100	-	-	-	-	1%	-	-	-
105	-	-	-	-	1%	-	-	-

3. 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%

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



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.

4. Risknivåer

4.1. 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 1. Dessa frekvenser kombineras med sannolikhetsfördelningen för konsekvensens utbredning redovisad i avsnitt 2 och sannolikheten att ett område påverkas från avsnitt 1. Beräkningsgången exemplifieras i avsnitt 4.1.1 och 4.1.2.

Urspårningsolyckor

För urspårningsolyckor används frekvensen för järnvägsolycka tillsammans med sannolikheten att ett område påverkas. Beräkningsgången är lika den som exemplifieras i avsnitt 4.1.1 och 4.1.2.

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

I avsnitt 2 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 fram en sannolikhetsfördelning som en funktion av avståndet från transportleden, vilken sedan används i riskberäkningarna.

4.1.2. Beräkning av individrisk

Individrisken beräknas med en upplösning om 5 meter, det vill säga beräknas var femte meter från spårmittpunkt 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.



4.2. 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.

4.2.1. Indata

Modellen för beräkning av samhällsrisk 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

- Schablon

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.

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 ($A = \varphi \pi r^2$).

4.2.2. 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.

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

²⁸ Mer information om spridningsvinkeln (φ) finns i avsnitt 1.



Tabell 14. Modell för beräkning av samhällsrisk.

FRÅGA	SVARSALTERNATIV	KOMMENTAR
Vilken tidpunkt?	Dag Natt	Bestämmer hur många människor som är utomhus. Se avsnitt 4.
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 1 för information om frekvenser.
	Klass 3 giftmoln Klass 5 detonation Klass 6 giftmoln Klass 8	
Riskområde?	0 - 1 000 m	Bestämmer hur långt från olycksplatsen som dödsfall kan inträffa. Information finns i avsnitt 2.
Påverkansområde?	Cirkulärt Konformat Rektangulärt	Avgör hur stor yta som påverkas av olyckan. Se avsnitt 4.

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:

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

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 samhällsrisk 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}.

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

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



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 %

5. Diskussion om modell och indata

Risken analysen 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.

5.1. 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.

5.1.1. 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.

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

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



- 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

Risken analysen 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.

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.

5.2. 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 vägledningar och rekommendationer. Rekommendationerna i rapporten bedöms vara tillräckligt robusta inte nödvändiga att justera.

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.

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

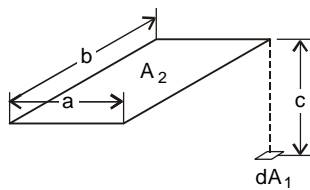


6. Säkerhetshöjande åtgärder

6.1. Skydd mot brandspridning

En pölbrand uppkommer vid utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor. Strålningsvärmen 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 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.

6.2. Högt placerade luftintag

Många av de giftiga gaser som transporteras 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 2.1.4 beskrivs

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

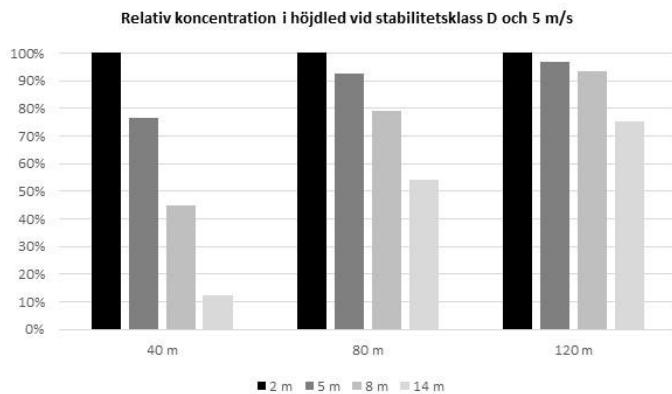
³⁸ Brandens yta på 200 m² motsvarar ytan som ett stort läckage av en hel tank, cirka 20 m³, resulterar i. Kolväten brinner med en förbränningshastighet på 0,1 kg/m²s, vilket ger en effektutveckling på cirka 370 MW för en pöl på 200 m².



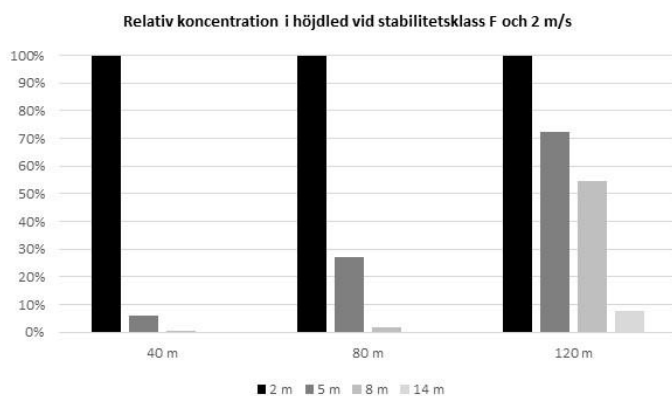
flödesschemat för spridning i luft. Det så kallade tunggassteget har i 90 % av fallen en räckvidd på mindre än 200 meter, vilket medför att en säkerhetshöjande åtgärd som högt placerade luftintag i teorin kan vara effektiv för att minska hur mycket gas som kommer in i en byggnad.

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.