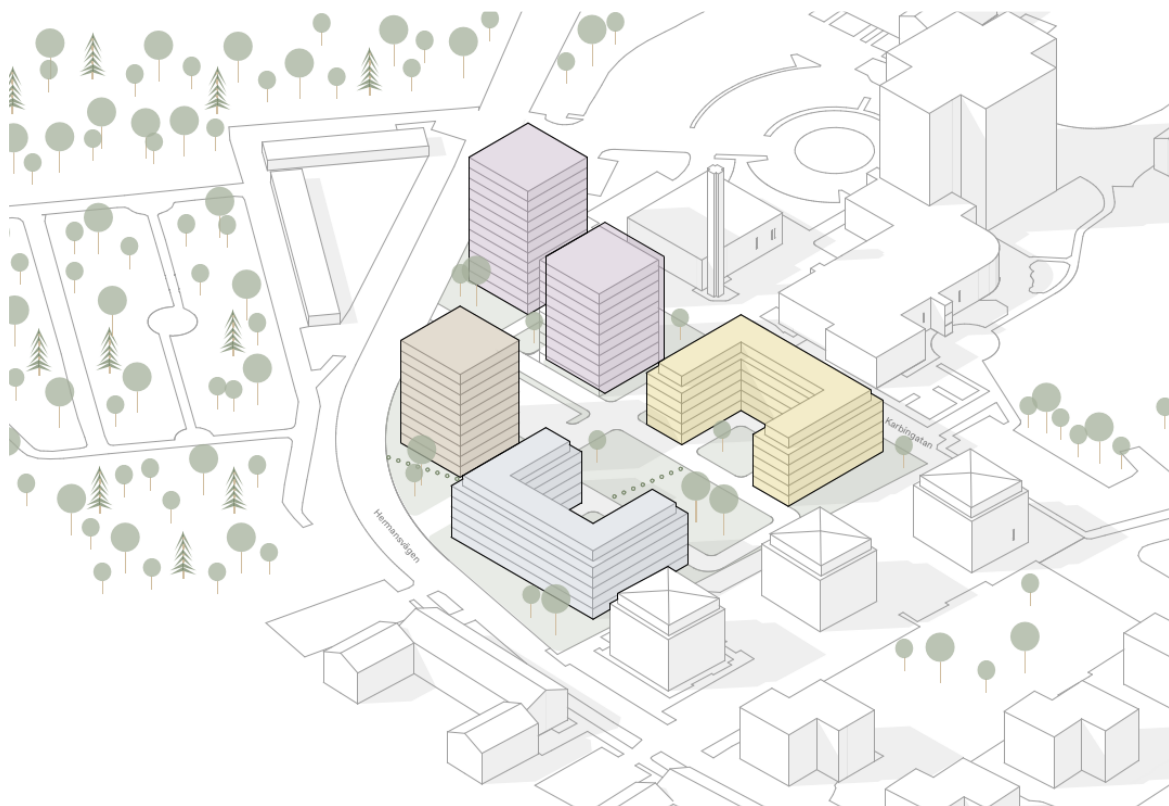


RIKSBYGGEN EKONOMISK FÖRENING

RISKBEDÖMNING DETALJPLAN

VÅRDAREN 8

2023-12-05



wsp

Riskbedömning Detaljplan

Vårdaren 8

Jönköping

KUND

Riksbyggen ekonomisk förening

KONSULT

WSP Project Management

121 88 Stockholm-Globen

Besök: Arenavägen 7

Tel: +46 10-722 50 00

WSP Sverige AB

Org nr: 556057-4880

wsp.com

KONTAKTPERSONER

Katarina Herrström, WSP, katarina.herrstrom@wsp.com

Lena Fakt, Riksbyggen, lena.fakt@riskbyggen.se

UPPDRAGSNAMN

Vårdaren 8, Jönköping, RBDP

UPPDRAGSNUMMER

10333556

Utgåva/revidering	Utgåva 1	Revision 1	Revision 2	Revision 3
Datum	2022-03-07	2023-12-05		
Handläggare	Olov Holmstedt Jönsson	Katarina Herrström		
Granskare	Gustav Nilsson	-		
Godkänd av	Katarina Herrström	Katarina Herrström		

Revision 1 genomförs med anledning av länsstyrelsens kompletteringsbegäran. Reviderade stycken markeras med lodrätt streck i vänstermarginalen.

Sammanfattning

WSP har av Riksbyggen fått i uppdrag att göra en riskbedömning i samband med upprättande av detaljplan för Vårdaren 8 i Jönköping kommun. Detaljplanen syftar till att möjliggöra flerbostadsbebyggelse inom planområdet. Söder om planområdet löper Jönköpingsbanan och E4, vilka är transportleder för farligt gods. Kortaste avstånd mellan planerad bebyggelse och Jönköpingsbanan är cirka 80 meter. Kortaste avstånd mellan planerad bebyggelse och E4 är cirka 150 meter. Strax norr om planområdet ligger även ett fjärrvärmeverk som innehåller tillstånd för hantering av brandfarlig vara.

Länsstyrelsen i Jönköpings län tillämpar de riktlinjer som Länsstyrelsen i Hallands län upprättat avseende bebyggelse intill transportleder med farligt gods. I dessa riktlinjer anges att riskhanteringsprocessen ska beaktas i framtagandet av detaljplaner inom 150 meter från farligt gods-led. Syftet med denna riskbedömning är att uppfylla Plan-och bygglagens (2010:900) krav på lämplig markanvändning med hänsyn till risk, samt länsstyrelsens krav på beaktande av riskhanteringsprocessen vid markanvändning intill farligt gods-led.

Utifrån de beräknade individ- och samhällsrisknivåerna bedöms utformningen av planområdet vara acceptabel ur riskhänseende. WSP rekommenderar dock i enlighet med riktlinjen att följande riskreducerande åtgärd bör krävas i detaljplanen:

Friskluftsintag till byggnader inom 150 meter från Jönköpingsbanan med centraliserat tilluftssystem ska placeras på oexponerad sida, dvs. vända bort från järnvägen.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	5
1.1	SYFTE OCH MÅL	5
1.2	OMFATTNING	5
1.3	AVGRÄNSNINGAR	5
1.4	STYRANDE DOKUMENT	6
1.5	INTERNKONTROLL	7
2	OMRÅDESBESKRIVNING	8
2.1	OMGIVNING	8
2.2	PLANOMRÅDET	8
2.3	INFRASTRUKTUR	10
2.4	FJÄRRVÄRMEVERK	11
2.5	BEFOLKNING OCH PERSONTÄTHET	11
3	RISKIDENTIFIERING	12
3.1	IDENTIFIERING OCH BESKRIVNING AV RISKKÄLLOR	12
3.2	FJÄRRVÄRMEVERKET	12
3.3	TRANSPORT AV FARLIGT GODS	14
3.4	MEKANISK PÅVERKAN VID URSPÅRNING	16
4	RISKUPPSKATTNING OCH RISKVÄRDERING	17
4.1	BERÄKNADE RISKNIVÅER	19
4.2	SAMMANFATTNING OCH ÅTGÄRDSFÖRSLAG	22
4.3	KÄNSLIGHETSANALYS	23
5	DISKUSSION	25
6	SLUTSATSER	26
BILAGA A.	METOD FÖR RISKHANTERING	27
BILAGA B.	STATISTISKT UNDERLAG	29
BILAGA C.	FREKVENSBERÄKNINGAR	32
BILAGA D.	KONSEKVENSBERÄKNINGAR	42
BILAGA E.	FREKVENSBERÄKNINGAR	47
BILAGA F.	KONSEKVENSBERÄKNINGAR	56
BILAGA G.	SKYDDSAKTORE	61
BILAGA H.	REFERENSER	63

1 INLEDNING

WSP har av Riksbyggen fått i uppdrag att göra en riskbedömning i samband med upprättande av detaljplan för Vårdaren 8 i Jönköping kommun. Detaljplanen syftar till att möjliggöra flerbostadsbebyggelse inom planområdet. Söder om planområdet löper Jönköpingsbanan och E4, vilka är transportleder för farligt gods. Kortaste avstånd mellan planerad bebyggelse och Jönköpingsbanan är cirka 80 meter. Kortaste avstånd mellan planerad bebyggelse och E4 är cirka 150 meter. Strax norr om planområdet ligger även ett fjärrvärmeverk som innehar tillstånd för hantering av brandfarlig vara.

Länsstyrelsen i Jönköpings län tillämpar de riktlinjer som Länsstyrelsen i Hallands län upprättat avseende bebyggelse intill transportleder med farligt gods. I dessa riktlinjer anges att riskhanteringsprocessen ska beaktas i framtagandet av detaljplaner inom 150 meter från farligt gods-led.

1.1 SYFTE OCH MÅL

Syftet med denna riskbedömning är att uppfylla Plan-och bygglagens (2010:900) krav på lämplig markanvändning med hänsyn till risk, samt länsstyrelsens krav på beaktande av riskhanteringsprocessen vid markanvändning intill farligt gods-led.

Målet med riskbedömningen är utreda lämpligheten med planerad markanvändning utifrån riskpåverkan. I ovanstående ingår att efter behov ge förslag på åtgärder.

1.2 OMFATTNING

Riskbedömningen tar huvudsakligt avstamp i nedanstående frågeställningar:

- Vad kan inträffa? (riskidentifiering)
- Hur ofta kan det inträffa? (frekvensberäkningar)
- Vad är konsekvensen av det inträffade? (konsekvensberäkningar)
- Hur stor är risken? (riskuppskattning)
- Är risken acceptabel? (riskvärdering)
- Rekommenderas åtgärder? (riskreduktion)

Mer djupgående beskrivning av riskhanteringsprocessens olika steg och de metoder som använts i riskbedömningen redogörs för i Bilaga A.

1.3 AVGRÄNSNINGAR

I riskbedömningen belyses risker förknippade med de aktuella transportlederna samt hanteringen av brandfarliga vätskor inom fjärrvärmeverket. De risker som har beaktats är plötsligt inträffade skadehändelser (olyckor) med livshotande konsekvenser för tredje man, d.v.s. risker som påverkar personers liv och hälsa. Bedömningen beaktar inte påverkan på egendom, miljö eller arbetsmiljö, personskador som följd av påkörning eller kollision eller långvarig exponering av buller, luftföroreningar samt elsäkerhet.

Resultatet av riskbedömningen gäller under angivna förutsättningar. Vid förändring av förutsättningarna behöver riskbedömningen uppdateras.

1.4 STYRANDE DOKUMENT

I detta avsnitt redogörs för de dokument som huvudsakligen varit styrande i framtagandet och utformningen av riskbedömningen.

1.4.1 Plan- och bygglagen

Plan- och bygglagen (2010:900) ställer krav på att bebyggelse lokaliseras till för ändamålet lämplig plats med syfte att säkerställa en god miljö för brukare och omgivning.

Vid planläggning och i ärenden om bygglov eller förhandsbesked enligt denna lag ska bebyggelse och byggnadsverk lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till [...] människors hälsa och säkerhet, ... (PBL 2010:900. 2 kap. 5§)

Vid planläggning och i ärenden om bygglov enligt denna lag ska bebyggelse och byggnadsverk utformas och placeras på den avsedda marken på ett sätt som är lämpligt med hänsyn till [...] skydd mot uppkomst och spridning av brand och mot trafikolyckor och andra olyckshändelser, ... (PBL 2010:900. 2 kap. 6§)

1.4.2 Riktlinjer – Farligt gods

Vid planläggning intill vägar eller järnväg där farligt gods transporteras hänvisar Jönköpings län till riktlinjer framtagna av Hallands län.

Länsstyrelsen i Halland har utifrån en kvantitativ analys av väg- och järnvägstransporter inom länet genomfört en värdering av tolerabla risknivåer i samband med samhällsplanering utmed transportleder avsedda för farligt gods [1]. Resultatet har omarbetats till riktlinjer som baseras på att områdena utmed transportlederna delas in i fyra zoner; yttre gräns för riskbedömningsområde, basavstånd, reducerat avstånd och bebyggelsefritt område.

Den yttre gränsen är utifrån riktlinjen satt till 150 meter och gäller alla transportleder för farligt gods. I praktiken innebär denna gräns att alla typer av byggnader för normalt förekommande användningsområden får etableras bortanför 150 meter från närmsta farligt gods-led utan att någon särskild riskbedömning görs. Vid etablering vid basavståndet bedöms risknivån som acceptabel utan särskilda åtgärder, dock ska vissa grundläggande säkerhetskrav på byggnaden vara uppfyllda. Det reducerade avståndet kräver att specificerade säkerhetshöjande åtgärder redovisas innan etablering, medan bebyggelse inom det vanligtvis bebyggelsefria området kräver en särskild riskanalys för att ett sådant undantag ska tas i beaktning.

Skyddsavstånden för farligt gods-transporter på väg och järnväg utifrån riktlinjer från Länsstyrelsen i Halland, kan sammanfattas som:

- **Yttre gräns:** 150 meter. Ingen särskild hänsyn tas till risker från farligt gods.
- **Basavstånd:** 30–100 meter. Ett rekommenderat avstånd till allmänna transportleder för farligt gods. Varierar beroende på verksamhetstyp.
- **Reducerat avstånd:** Avstånd specificeras från fall till fall. Byggnation kräver att specificerade säkerhetshöjande åtgärder vidtas.
- **Bebyggelsefritt område:** 15–30 meter. Minimavstånd mellan byggnader och transportleder. Kräver en särskild riskanalys.

Rekommenderade skyddsåtgärder samt avstånd varierar med hänsyn till den markanvändning som planeras. Markanvändningen har i riktlinjerna delats upp i fyra kategorier;

- Industri – avser olika typer av småindustri, lager och annan verksamhet som inte i sig utgör signifikant fara för omgivningen.
- Kontor – avser enbart kontorsbebyggelse i flera våningar.
- Småhus – avser villor, parhus, radhus, storvillor och liknande.
- Tätort – avser till exempel lägenhetsbebyggelse med tre våningar eller mer och av stads- eller tätortskaraktär.

Den tilltänka markanvändningen med flerbostadshus faller under kategorin tätortsbebyggelse i riktlinjen. För tätortsbebyggelse gäller för väg ett basavstånd om 60 respektive 100 meter (beroende på vägtyp) samt ett reducerat avstånd om 30 meter. Motsvarande basavstånd för järnvägen uppgår till 80 meter och det reducerade avståndet till 30 meter.

1.5 INTERNKONTROLL

Rapporten är utförd av Olov Holmstedt Jönsson (Civilingenjör Riskhantering) med Katarina Herrström (Brandingenjör och Civilingenjör Riskhantering) som uppdragsansvarig. I enlighet med WSP:s miljö- och kvalitetsledningssystem, certifierat enligt ISO 9001 och ISO 14001, omfattas denna handling av krav på internkontroll. Detta innebär bland annat att en från projektet fristående person granskar förutsättningar och resultat i rapporten. Ansvarig för denna granskning har varit Gustav Nilsson (Brandingenjör och Civilingenjör Riskhantering).

1.6 REVIDERING

Länsstyrelsen har kommit med följande yttrande på detaljplanen med avseende på riskbedömningen.

Farligt gods Länsstyrelsen anser att riskerna förenliga med lagring, men främst lossning av eldningsolja inte har beaktats fullt ut. Avståndet 23 meter anges i riskanalysen. Vid en kontrollmätning uppmättes ett värde på 15 meter från fasad-fasad. Riskanalysen menar på att om byggnader placeras med 8 meters mellanrum så är det enligt BBR ett fullgott brandskydd. Detta gäller dock för bostäder där en förhöjd risknivå ej föreligger. Fjärrvärmeverket bedöms som en verksamhet med en förhöjd risknivå, även om det inte är klassat som en farlig verksamhet. Vid lossning av eldningsolja är det möjligt att en tankbil hamnar ännu närmare husfasaden än de uppmätta 15 metrarna. Sammantaget behövs en tydligare beskrivning av hur risken relaterad till lossningsplatsen vid fjärrvärmeverket har beaktats och om nödvändigt även en bedömning av lämpliga skyddsåtgärder

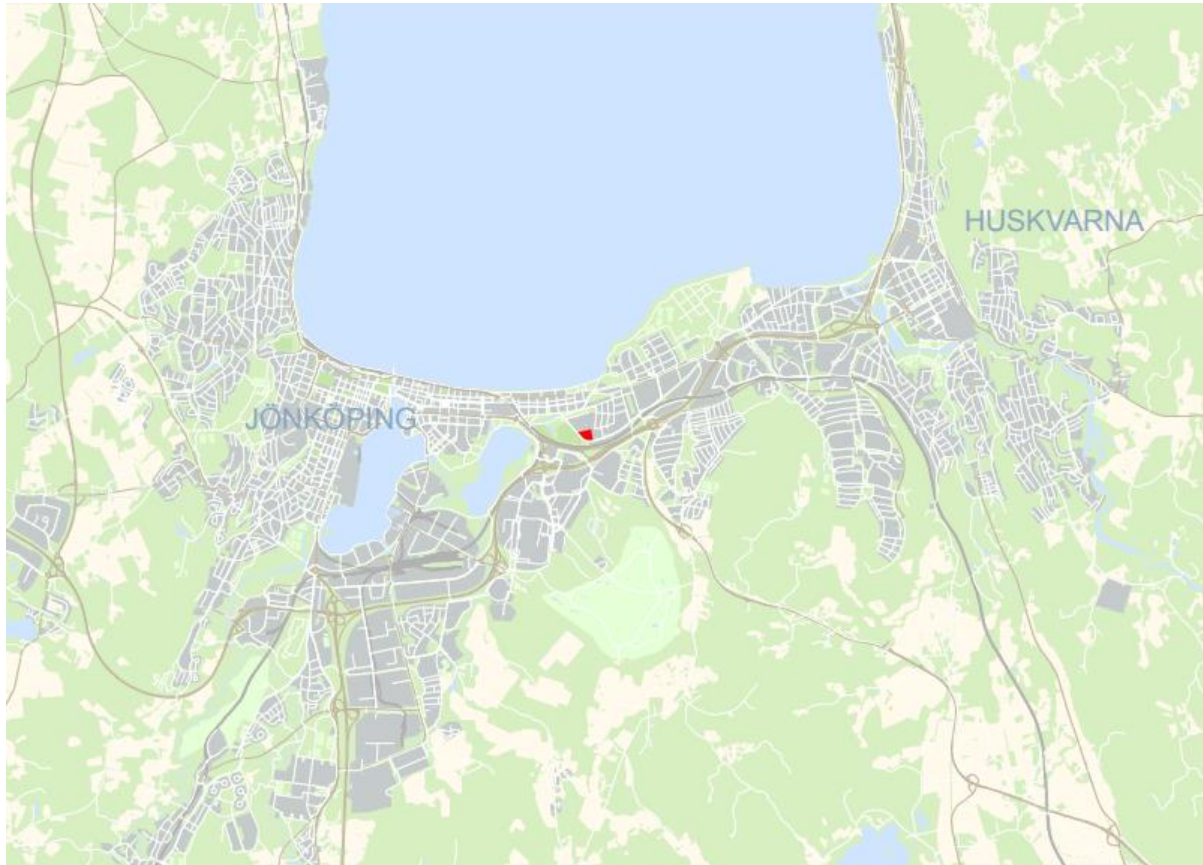
Yttrandet bemöts i avsnitt 3.2.2.

2 OMRÅDESBESKRIVNING

I detta kapitel ges en översiktlig beskrivning av planområdet med omgivning med syfte att överskådligt tydliggöra de förutsättningar och konfliktpunkter som utgör grund för bedömningen.

2.1 OMGIVNING

Det aktuella planområdet är beläget inom de västra delarna av stadsdelen Rosenlund i nära anslutning till Östra Kyrkogården. I Figur 1 syns planområdets placering i förhållande till övriga delar av Jönköpings tätort. Söder om planområdet löper Jönköpingsbanan och E4 vilka är transportleder för farligt gods.



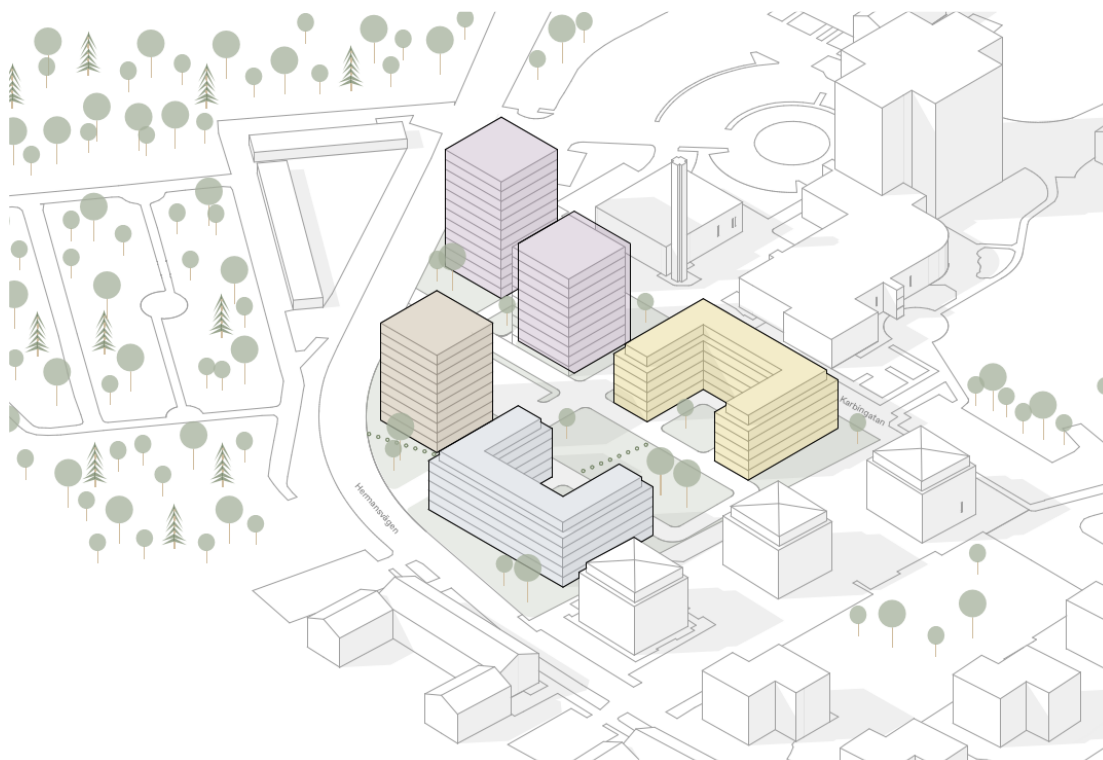
Figur 1. Planområdets placering i förhållande till övriga delar av tätorten [2]

2.2 PLANOMRÅDET

Detaljplanen omfattar fastigheten Vårdaren 8 och planområdets totala yta uppgår till cirka 1,4 hektar. Planområdet avgränsas i västlig och sydlig riktning av Hermansvägen, i nordlig av Karbingatan och i östlig riktning av fastigheten Vårdaren 7. Planområdet inrymmer i nuläget en större byggnadskropp samt ytparkering och grönområde. Planförslaget syftar till att möjliggöra uppförandet av fem nya flerbostadshus i 5-16 våningar inom planområdet, se Figur 2. Byggnationen kommer att ske stegvis i fyra etapper och förväntas medföra totalt 275 nya lägenheter.



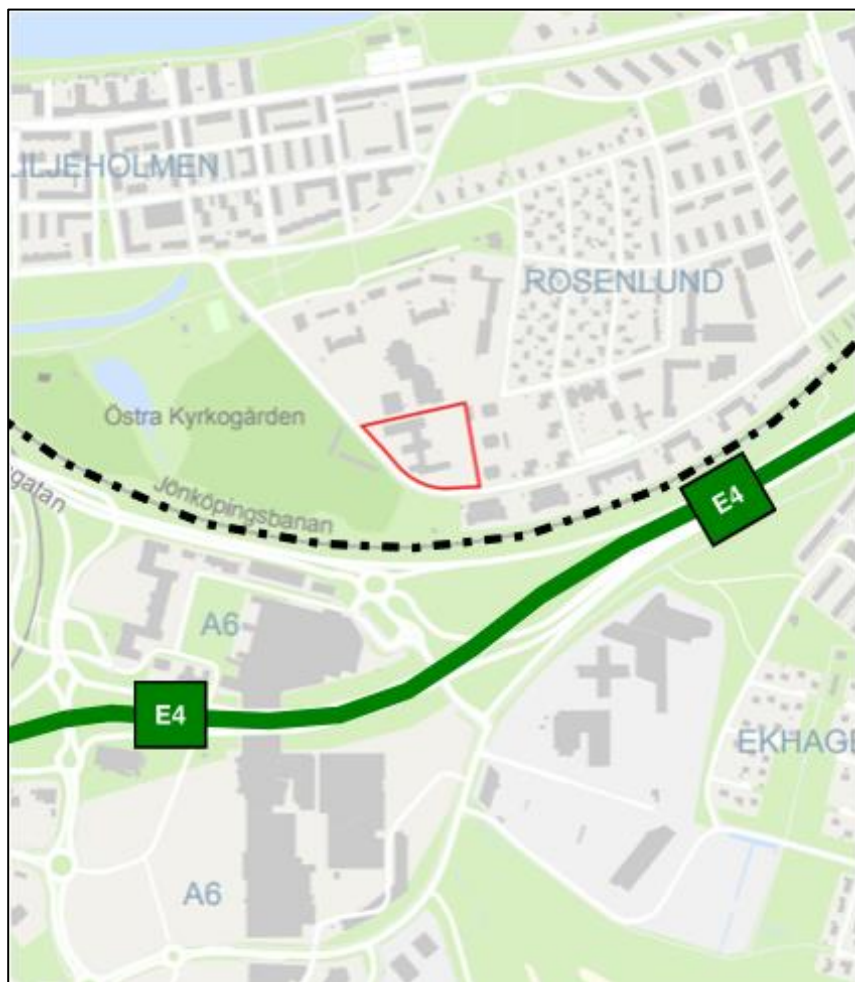
Figur 2. Tiltänka placering av tillkommande flerbostadshus.



Figur 3. Illustration över de planerade flerbostadshusen.

2.3 INFRASTRUKTUR

I detta avsnitt beskrivs de transportleder för farligt gods som behandlas riskbedömningen. Syftet är att överskådligt tydliggöra de förutsättningar och ingångsvärden som riskuppskattningen för respektive transportled baseras på. I Figur 4 redovisas planområdets placering i förhållande till transportlederna.



Figur 4. Planområdet placering i förhållande till transportlederna för farligt gods.

2.3.1 Jönköpingsbanan (Nässjö – Jönköping – Falköping)

Jönköpingsbanan är en enkelspårig elektrifierad järnväg som stäcker sig mellan Nässjö och Falköping via Jönköping och nyttjas både för person- och godstransporter. I Tabell 1 redovisas det prognostiserade trafikflödet på Jönköpingsbanan enligt Trafikverkets basprognos för horisontår 2040 [3]. För att resultatet av riskbedömningen ska bli robust kommer det prognosticerade trafikflödet för horisontår 2040 användas som ingångsvärde vid beräkningen av järnvägens riskpåverkan på omgivningen.

Tabell 1. Antal person- och godståg per årsmedeldygn på aktuell delsträcka av Jönköpingsbanan enligt Trafikverkets basprognos för år 2040 [3].

Jönköpingsbanan (Falköping – Jönköping)	År 2040
Antal persontåg per årsmedeldygn	44
Antal godståg per årsmedeldygn	12

2.3.2 E4

Aktuell delsträcka av E4 är motorväg med tre körfält i respektive ritning och hastighetsbegränsningen är satt till 80 km/h [4]. Körfälten i respektive körriktning separeras av mittremsa och en betongbarriär. Vägen är även utrustad med sidoräcken. E4 är utpekad som en primär transportled för farligt gods. Primära transportleder utgör stommen i det rekommenderade vägnätet för farligt gods-transporter och får användas för genomfartstrafik. På en primär transportled kan därmed betydande mängder farligt gods förväntas samt förekomst av samtliga klasser. WSP bedömer att E4 ska betraktas som en *Väg Hög* utifrån länsstyrelsens riktlinje.

I Tabell 2 nedan redovisas det uppmätta trafikflödet på aktuell delsträcka av E4 år 2019 samt den prognostiserade trafikeringen för horisontår 2040 [5]. För att resultatet av riskbedömningen ska bli robust används de prognostiserade trafikflödena för år 2040 som ingångsvärde vid beräkningarna

Tabell 2. Uppmätt trafikflöde på aktuell delsträcka av E4 år 2019 samt prognostiserade trafikflöden för horisontår 2040 [6] [5].

E4	År 2019	År 2040
ÅDT Total	47 470	59 000
ÅDT Personbilar	40 560	49 760
ÅDT Lastbilar	6 910	9 240
Andel tung trafik	14,6 %	15,7 %

2.4 FJÄRRVÄRMEVERK

Fjärrvärmeverket ligger strax norr om planområdet inom fastigheten Vårdaren 6 och går under benämningen Hetvattencentralen Östra Klinikerna. Anläggningen ägs och drivs av Jönköpings energi. Kortaste avståndet mellan fjärrvärmeverkets fasad och de planerade flerbostadshusen uppgår till drygt 23 meter. Fjärrvärmeverket utgör en så kallad spetsanläggning och pannorna eldas med eldningsolja. Spets- och reservanläggningar behövs för att säkerställa värmeproduktionen vid olika onormala situationer. Det kan vara tillfällen med extra hög förbrukning (kallår) eller vid driftstörningar på de normala produktionsanläggningarna. Enligt det nuvarande tillståndet för hantering av brandfarlig vara vilket är giltigt till och med 2025 får verksamheten hantera upp till 182,5 m³ eldningsolja 1 (Eo1) [7]. Eldningsoljan lagras i cisterner i byggnadens källarplan. Inga andra kemikalier som potentiellt skulle kunna utgöra en risk för omgivningen hanteras inom fjärrvärmeverket.

2.5 BEFOLKNING OCH PERSONTÄTHET

Persontätheten inom stadsdelen Rosenlund uppgick år 2020 till 5 225 invånare/km² [8]. Enligt underlaget kommer 275 nya lägenheter uppföras inom planområdet. Om varje ny lägenhet i medeltal antas medföra två boenden skulle planförslaget innebära att personantalet inom stadsdelen ökar med 550 människor.

3 RISKIDENTIFIERING

I detta kapitel redovisas riskidentifieringen.

3.1 IDENTIFIERING OCH BESKRIVNING AV RISKKÄLLOR

Att bedöma möjlig påverkan på omgivningen innebär, enligt avgränsningarna för denna riskbedömning, att identifiera de risker som är förknippade med transportlederna och fjärrvärmeverket. Nedan listas de riskkällor som har identifierats för respektive transportled och fjärrvärmeverket. De identifierande riskkällorna beskrivs sedan mer detaljerat i kommande avsnitt.

De risker kopplade till transporter på Jönköpingsbanan som bedöms kunna påverka omgivningen negativt är:

- Mekanisk påverkan i samband med urspårning.
- Olycka vid transport av farligt gods på järnväg.

De risker kopplade till transporter på E4 som bedöms kunna påverka omgivningen negativt är:

- Olycka vid transport av farligt gods på väg.

De riskerna kopplade till hanteringen av eldningsolja inom fjärrvärmeverket som bedöms kunna påverka omgivningen negativt är:

- Utsläpp i samband med lossning av eldningsolja.
- Brand inom anläggningen.

3.2 FJÄRRVÄRMEVERKET

I detta avsnitt bedöms riskpåverkan från fjärrvärmeverket kvalitativt varefter länsstyrelsens yttrande bemöts.

3.2.1 Kvalitativ riskpåverkan

Eldningsolja 1 (Eo1) har en flampunkt på omkring 60 °C och klassas därmed som en brandfarlig vätska [9]. Oljan förvaras inomhus i två cisterner som är placerade i fjärrvärmeverkets källarplan. Förbrukningen av eldningsolja är låg då fjärrvärmeverket är en spets-/reservanläggning där påfyllning enbart har skett vid 2-3 tillfällen de senaste fem åren [10]. Vid påfyllning lossas eldningsoljan från tankbil. Lossningsplatsen ligger i anslutning till Karbingatan längs den södra sidan av fjärrvärmeverkets fasad, se Figur 5. Kortaste avståndet mellan lossningsplatsen och de planerade flerbostadshusen uppgår till drygt 23 meter. En tänkbar men osannolik skadehändelse i samband med lossningsförfarandet är slangbrott vilket i sin tur skulle kunna medföra ett betydande utsläpp av eldningsolja tankbilen.

Eo1 klassas som miljöfarlig då den bland annat är giftig för vattenlevande organismer och kan orsaka skadliga långtidseffekter på vattenmiljö [9]. Utsläpp som når exempelvis dagvattenbrunnar kan därmed orsaka skador på naturmiljöer som ligger långt från utsläppskällan. Risk för allvarliga personskador bedöms däremot enbart föreligga i fall då utsläppet antänds vilket kan ge upphov till pölbränder som strålar mot omgivningen. Med hänsyn till eldningsoljans relativt höga flampunkt bedöms sannolikheten för att eventuella utsläpp ska antändas vara låg. Sannolikheten för att exempelvis vådautsläpp av bensin ska antändas, ett bränsle vars flampunkt ligger omkring -20 °C, uppgår i medeltal till omkring 3 % [11]. Sannolikheten för att ett utsläpp av eldningsolja 1 ska antändas kan således i medeltal förväntas vara betydligt mindre än 3 %. Utifrån föregående, sammantaget med att lossningen sker

mycket sällan, bedöms riskerna för planområdet kopplade till lossningen av eldningsolja inom vara acceptabla, varför ingen vidare utredning av riskkällan erfordras inom ramen för denna riskbedömning.

I avsnitt 5:61 i Boverkets byggregler anges krav gällande skydd mot brandspridning mellan byggnader. I korthet innebär kraven att byggnader antingen ska placeras på ett avstånd av minst åtta meter ifrån varandra eller förses med en brandteknisk konstruktion i form av brandcellsgräns eller brandvägg. Då det inbördes avståndet mellan fjärrvärmeverkets fasad och flerbostadshusen uppgår till minst 23 meter uppfylls således kraven i BBR gällande skydd mot brandspridning mellan byggnader med en marginal på 15 meter. Vidare består fjärrvärmeverkets fasad av obrännbart material (plåt) och antalet öppningar i fasaden är få vilket ytterligare reducerar risken för brandspridning.



Figur 5. Lossningsplatsens placering i förhållande till planområdet.

3.2.2 Bemötande av länsstyrelsens yttrande

Avståndet om 8 meter mellan fasader enligt Boverkets byggregler bedöms vara tillämpligt mellan fjärrvärmeverket och bostäderna då någon påtaglig förhöjd risknivå inte bedöms föreligga. Fjärrvärmeverkets förvaring av olja sker i cisterner i källarplan, vilket gör att ett eventuellt läckage med efterföljande antändning skulle ske i källarplan och inte påverka planerade bostäder. För det osannolika fall att branden skulle sprida sig till markplan skulle detta vara ett mer utdraget förlopp vilket ger tid för utrymning av omkringliggande byggnader om det skulle behövas. Ett sådant utdraget förlopp bedöms dock inte vara dimensionerande med avseende på förvaringen av eldningsolja, där förvaringen i källarplanet är en betydande skyddsåtgärd. Notera även att den del av fjärrvärmeverkets fasad som vetter mot bostadshusen saknar fönster vilket reducerar risken för brandspridning.

Som länsstyrelsen mycket riktigt påpekar kan avståndet vid lossning och planerade bostäder understiga 15 meter. I detta fall grundar sig bedömningen gällande lämpligheten på den låga sannolikheten för ett scenario där planerade bostäder skulle kunna utsättas för värmestrålning eller direkt flampåverkan vid lossning. Grundfrekvens för slangbrott vid lossning är $4 \cdot 10^{-6}$ per lossningstimme (källa: Bevi Risk Manual). Antaget 4 timmar lossning per år, vilket är ett konservativt antagande eftersom det endast har skett lossning 2-3 gånger de senaste 5 åren, ger en sannolikhet för slangbrott vid lossning på $1,6 \cdot 10^{-5}$ per år. För att det ska uppstå en tillräckligt stor pöl för att påverka omkringliggande bebyggelse vid antändning krävs att nödstoppet på tankbilens pump inte aktiveras, och sannolikheten för detta antas till 10 %. Det vill säga i 1 av 10 fall antas chauffören misslyckas med

att aktivera nödstoppet. Sannolikhet för antändning av pölen ansätts konservativt till 3 % vilket gäller för bensen som är brandfarlig vara klass 1. Sammantaget erhålls en sannolikhet för scenariot omfattande pölbrand vid lossningsplatsen på $4,8 \cdot 10^{-8}$ per år. Detta kan jämföras med det undre acceptanskriteriet för individrisk som är $1 \cdot 10^{-7}$ per år under vilket risknivån anses acceptabel utan åtgärder. Eftersom sannolikheten för scenariot med god marginal och konservativa antaganden ligger under gränsen för acceptabel individrisk har risken relaterad till lossningsplatsen vid fjärrvärmeverket bedömts som acceptabel.

3.3 TRANSPORT AV FARLIGT GODS

Farligt gods är ett samlingsbegrepp för farliga ämnen och produkter som har sådana egenskaper att de kan skada människor, miljö och egendom om de inte hanteras rätt under transport. Transport av farligt gods omfattas av regelsamlingar [12] [13] som har tagits fram i internationell samverkan. Farligt gods på järnväg respektive väg delas in i nio olika klasser enligt det så kallade ADR-/RID-systemet, som baseras på den dominerande risken som finns med att transportera ett visst ämne eller produkt.

Utifrån bedömning av vilka konsekvenser som kan uppstå vid olycka med farligt gods, se avsnitt B.2, bedöms följande farligt gods-kategorier vara relevanta för den fortsatta riskbedömningen; klass 1, 2, 3 och 5. Övriga klasser transporteras i begränsad mängd, eller bedöms inte ge signifikanta konsekvenser förutom i olycksfordonets omedelbara närhet.

3.3.1 Jönköpingsbanan

Statistiken som ligger till grund för de kvantitativa analyserna avseende järnvägens riskpåverkan på omgivningen baseras på ett utdrag från Trafikverkets databas LUPP (Leveransuppföljningssystemet). Statistiken innefattar: antal godståg, antal godståg med farligt gods, antal vagnar med farligt gods, antal ton farligt gods samt mängder av och fördelningen mellan transporterade farligt gods-klasser på Jönköpingsbanan under tidsperioden 2015–2020 [14]. Statistiken är sekretessbelagd och kan ej redovisas i rapporten. Statistiken ligger likväl till grund för de kvantitativa analyserna avseende Jönköpingsbanans omgivningspåverkan.

3.3.2 E4

År 2015 genomfördes omkring 540 000 inrikes transporter med farligt gods med svenska lastbilar. Den totala mängden farligt gods var drygt 16 miljoner ton, fördelat på en total sträcka av cirka 55 miljoner kilometer. Av samtlig tung trafik står farligt gods-transporter för omkring 2,5 % av den totalt tillryggalagda sträckan baserat på ett genomsnitt från 2009–2015.

Dessa siffror bedöms vara representativa för aktuell delsträcka av E4, dvs. 2,5 % av den tunga trafiken på vägsträckan antas utgöras av farligt gods-transporter. I Tabell 3 redovisas den inbördes fördelningen i körda kilometer för de olika ADR-S-klasserna baserat på uppgifter från TRAFKA för åren 2009–2015 för hela landet [15]. Fördelningen antas vara representativa för den aktuella delsträckan av E4.

Tabell 3. Inbördes fördelning i körda kilometer för de olika ADR-S-klasserna baserat på uppgifter från TRAFKA mellan åren 2009–2015 för hela landet [15].

ADR-S-Klass	Andel
Explosiva ämnen och föremål – Klass 1	0,32 %
Brandfarlig gas – Klass 2.1	6,73 %
Giftig gas – Klass 2.3	0,04 %
Brandfarliga vätskor – Klass 3	47,32 %

Oxiderande ämnen och organiska peroxider – Klass 5	2,62 %
Övriga klasser	42,96 %
Summa	100 %

3.3.3 Sammanställning av olycksscenarier

Utifrån bedömning av vilka konsekvenser som kan uppstå vid olycka med farligt gods, se avsnitt B.2, bedöms följande farligt gods-kategorier vara relevanta för den fortsatta riskbedömningen; klass 1, 2, 3 och 5. Övriga klasser transporteras i begränsad mängd, eller bedöms inte ge signifikanta konsekvenser förutom i olycksfordonets omedelbara närhet.

Baserat på de farligt gods-klasser som utreds vidare, har ett antal dimensionerande olycksscenarier med potentiellt dödlig konsekvens sammanställts i Tabell 4.

Tabell 4. Övergripande sammanställning över dimensionerande olycksscenarier baserat på rådande förutsättningar.

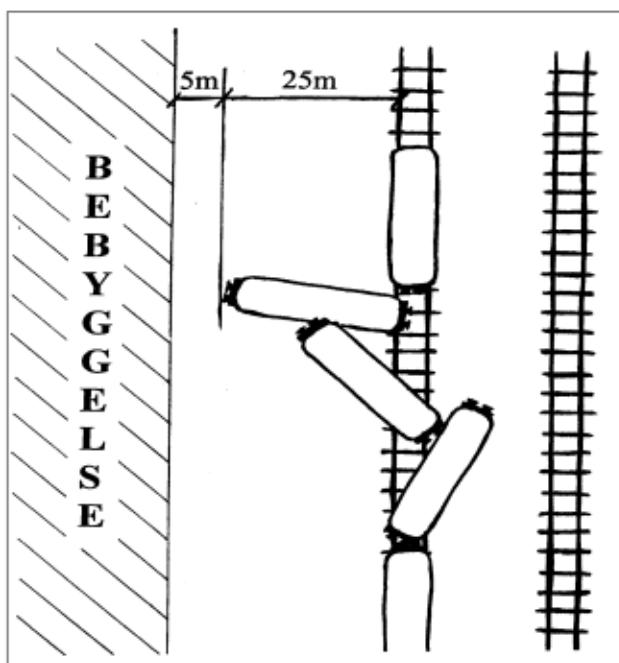
Explosiva ämnen Klass 1	Brandfarlig gas Klass 2.1	Giftig gas Klass 2.3	Brandfarlig vätska Klass 3	Oxiderande ämnen Klass 5.1
Liten explosion	BLEVE	Litet läckage	Liten pölbrand	Explosion
Medelstor explosion	Gasmolns-explosion	Medelstort läckage	Medelstor pölbrand	Brand
Stor explosion	Liten jetflamma	Stort läckage	Stor pölbrand	
	Mellan jetflamma			
	Stor jetflamma			

3.4 MEKANISK PÅVERKAN VID URSPÅRNING

Den dominerande risken (med avseende på sannolikhet) i anslutning till järnväg är urspårning. Konsekvenserna till följd av urspårning kan omfatta att människor förolyckas, antingen utomhus eller i intilliggande byggnader som påverkas av händelsen. Dock är den vanligaste konsekvensen av en urspårning materiella skador på järnvägsanläggningen och/eller på tåg. Risken för mekanisk påverkan på människor eller byggnader är oberoende av om det rör sig om persontåg eller godståg.

Det finns ett antal kända orsaker som var för sig eller tillsammans kan resultera i en urspårning, såsom växelpassager, kraftiga inbromsningar, spårlägesfel, solkurvor och sabotage. Alla urspårningar leder inte till negativa konsekvenser för omgivningen. Konsekvenserna av en urspårning är direkt beroende av hur långt ifrån spåret som tåget hamnar.

Urspårningar bedöms generellt ha ett konsekvensområde (med avseende på mekaniska skador) på maximalt cirka 30 meter från spåret, vilket är det avstånd som urspårade vagnar i de flesta fall hamnar inom [16]. Notera planområdet ligger bortom 30 meter från järnvägen och urspårningar kan därmed inte orsaka mekanisk påverkan på bebyggelsen inom planområdet. Urspårningar kan dock medföra mekanisk påverkan på den befintliga bebyggelse som ligger mellan aktuellt planområde och järnvägen.



Figur 6. Urspåringsolycka på järnväg.

4 RISKUPPSKATTNING OCH RISKVÄRDERING

I detta kapitel redovisas individrisknivån och samhällsrisknivån för området med avseende på identifierade riskscenarier förknippade med järnvägstransporterna och farligt gods-transporterna på E4.

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 förslag på kriterier för individ- och samhällsrisk [17]. Risker kan kategoriskt delas upp i;

- oacceptabla
- acceptabla med åtgärder och
- acceptabla

Risker som klassificeras som **oacceptabla** värderas som oacceptabelt höga och tolereras ej. Dessa risker kan vara möjliga att reducera genom att åtgärder vidtas.

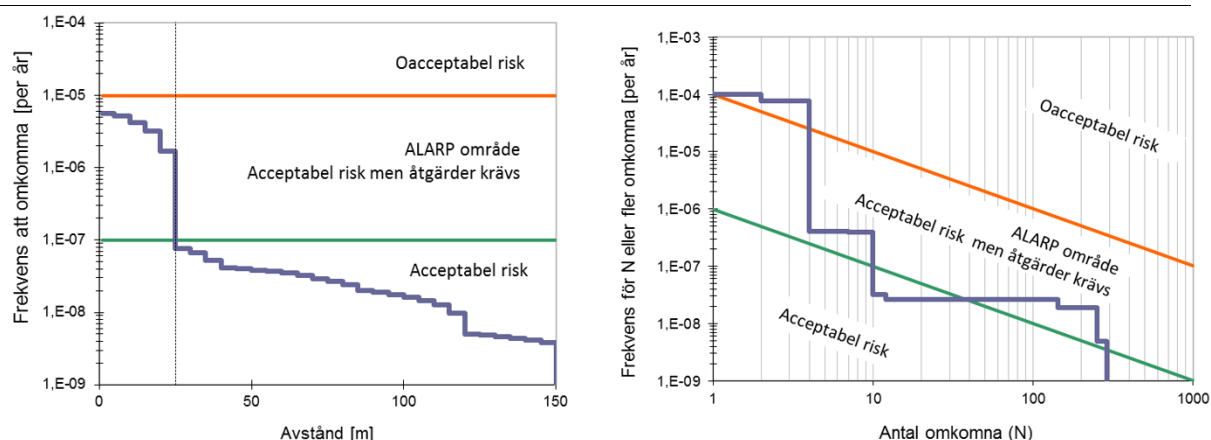
De risker som bedöms vara **acceptabla med åtgärder** behandlas enligt ALARP-principen (As Low As Reasonably Practicable). Risker som ligger i den övre delen, nära gränsen för oacceptabla risker, accepteras endast om nyttan med verksamheten anses mycket stor, och det är praktiskt omöjligt att vidta riskreducerande åtgärder. I den nedre delen av området bör inte lika hårda krav ställas på riskreduktion, men möjliga åtgärder till riskreduktion ska beaktas. Ett kvantitativt mått på vad som är rimliga åtgärder kan erhållas genom kostnads-nyttoanalys.

De risker som kategoriseras som låga kan värderas som **acceptabla**. Dock ska möjligheter för ytterligare riskreduktion undersökas där åtgärder, som med hänsyn till kostnad kan anses rimliga att genomföra, ska genomföras.

I Tabell 5 redogörs för DNV:s uppställda kriterier för värdering av individ- och samhällsrisk enligt ovan nämnd kategorisering. Kriterier återfinns i riskvärderingen för bedömning av huruvida risknivån är acceptabel eller ej. Gränserna markeras med streckade linjer enligt Figur 7.

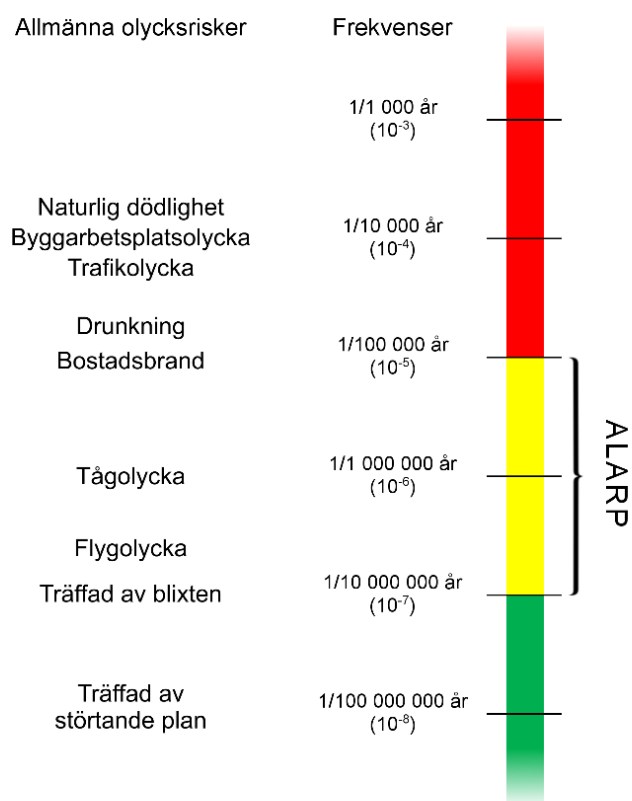
Tabell 5. Förslag till kriterier för värdering av individ och samhällsrisk enligt DNV.

Riskmått	Acceptabel risk	ALARP	Oacceptabel risk
Individrisk	$< 10^{-7}$	10^{-7} till 10^{-5}	$> 10^{-5}$
Samhällsrisk	$< 10^{-6}$	10^{-6} till 10^{-4}	$> 10^{-4}$



Figur 7. Föreslagna kriterier på individrisk samt samhällsrisk enligt DNV [17].

Som jämförelse illustreras i Figur 8 ett antal olycksrisker i samhället



Figur 8. Storleksordning på allmänna olycksrisker i förhållande till ALARP-området [1].

Individrisk – Sannolikheten att en individ som kontinuerligt vistas i en specifik plats omkommer. Individrisken är platsspecifik och oberoende av hur många personer som vistas inom det givna området. Syftet med riskmålet är att kvantifiera risken på individnivå för att säkerställa att enskilda individer inte utsätts för oacceptabel risk.

Individrisk redovisas ofta med en individriskprofil (t.v. i Figur 7) som beskriver frekvensen att omkomma som en funktion av avståndet till en riskkälla. Kan även redovisas som konturer på karta.

Samhällsrisk – Beaktar hur stor konsekvensen kan bli med avseende på antalet personer som påverkas vid olika scenarier där hänsyn tas till befolkningstätheten inom det aktuella området. Hänsyn tas även till eventuella tidsvariationer, som t.ex. att persontätheten i området kan vara hög under en begränsad tid på dygnet eller året och låg under andra tider.

Samhällsrisk redovisas ofta med en F/N-kurva (t.h. i Figur 7) som visar den ackumulerade frekvensen för N eller fler omkomna till följd av de antagna olycksscenarierna.

Det är nödvändigt att använda sig av båda riskmåten, individrisk och samhällsrisk, vid uppskattning av risknivån i ett område så att risknivån för den enskilde individen tas i beaktande samtidigt som hänsyn tas till hur stora konsekvenserna kan bli med avseende på antalet personer som samtidigt påverkas.

4.1 BERÄKNADE RISKNIVÅER

För uppskattning av risknivån har årsmedeldygnstrafik (ÅDT), vägkvalitet, hastighetsbegränsning etc. för aktuella vägvsnitt använts som indata. Med hjälp av Räddningsverkets (nuvarande Myndigheten för samhällsskydd och beredskap) skrift Farligt gods – riskbedömning vid transport [18] beräknas frekvensen för att en trafikolycka, med eller utan farligt gods, inträffar på aktuellt vägvsnitt. För beräkning av frekvenser/ sannolikheter för respektive skadescenario används händelseträdsanalys, se Bilaga C.

Konsekvenserna av olika skadescenarier uppskattas utifrån litteraturstudier, datorsimuleringar och handberäkningar. Konsekvensuppskattningar redovisas mer omfattande i Bilaga D.

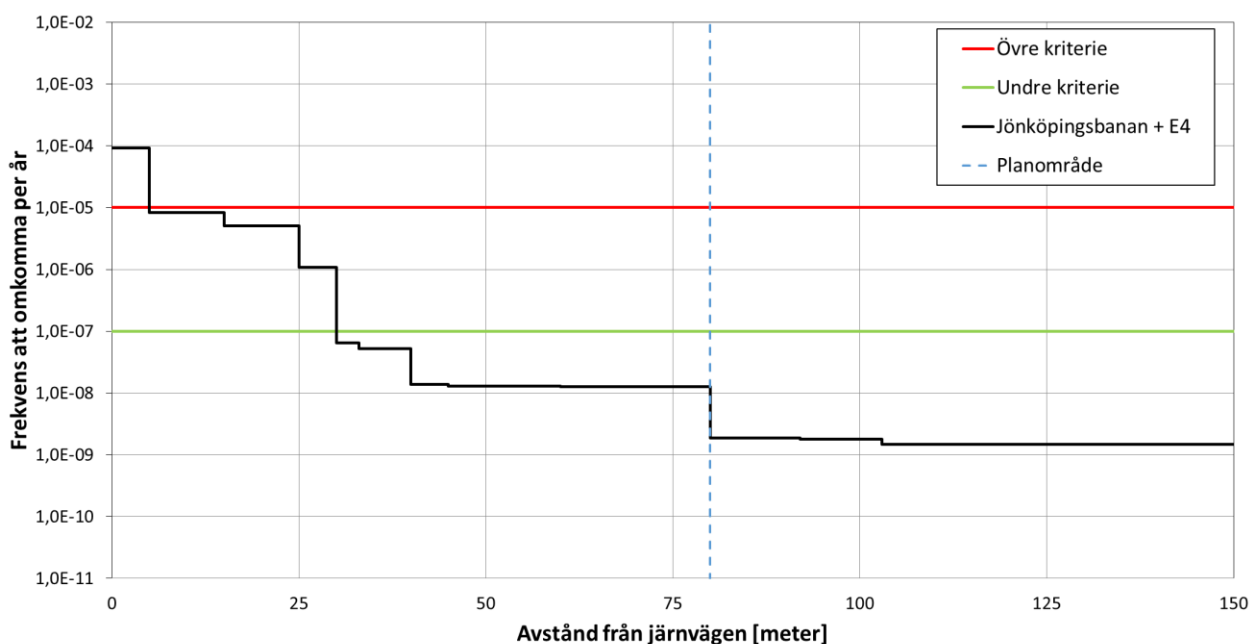
Med hjälp av Banverkets (nuvarande Trafikverket) rapport [19] beräknas frekvensen för att en järnvägsolycka, med eller utan farligt gods, inträffar på den aktuella sträckningen. För beräkning av frekvenser/sannolikheter för respektive skadescenario används händelseträdsanalys. Frekvensberäkningarna redovisas i Bilaga E.

Konsekvenserna av olika skadescenarier uppskattas utifrån litteraturstudier, datorsimuleringar och handberäkningar. Konsekvensuppskattningar redovisas mer omfattande i Bilaga F.

4.1.1 Individrisknivå

I Figur 9 redovisas den sammanlagda individrisknivån för områden norr Jönköpingsbanan med avseende riskpåverkan från järnvägstransporterna och E4. De vågräta linjerna markerar övre och undre gräns för ALARP-området.

Beräkningarna indikerar att individrisknivån når oacceptabla nivåer inom 5 meter från järnvägen (mätt från spårmitte). Mellan 5-30 meter ligger individrisknivån inom ALARP-området och blir därefter acceptabel. Kortaste avståndet mellan den planerad bebyggelse inom planområdet och järnvägen uppgår till cirka 80 meter. Beräkningarna indikerar således att individrisknivån inom planområdet ligger helt inom acceptabla nivåer med avseende på riskpåverkan från transportlederna.

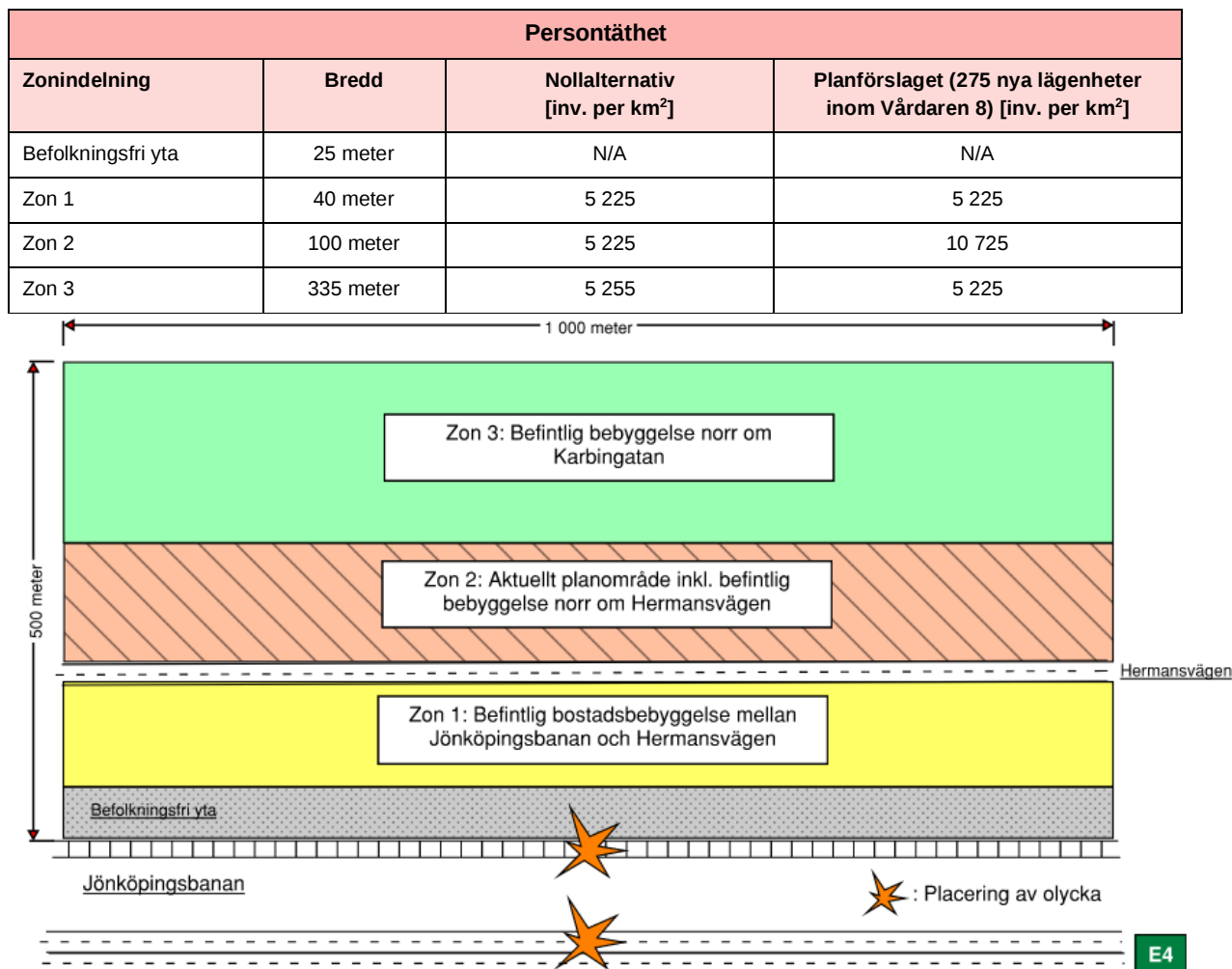


Figur 9. Individrisknivå med avseende på järnvägstransporterna på Jönköpingsbanan och farligt gods-transporterna på E4.

4.1.2 Samhällsrisknivå

I detta avsnitt redovisas hur beräkningarna av samhällsrisken har genomförts. Vidare redovisas vilka skyddsfaktorer avseende inomhusvistelse som har antagits vid beräkningarna av samhällsrisknivån. I Figur 10 redovisas den modell som har använts vid uppskattningen av samhällsrisken för planområdet och omnejd. I Tabell 6 redovisas persontätheten inom respektive zon i beräkningsmodellen.

Tabell 6. Ansatt persontäthet inom respektive zon i beräkningsmodellen för nollalternativ respektive planförslag.



Figur 10. Modell för beräkning av samhällsrisknivå för planområdet och omnejd.

Närmst Jönköpingsbanan antas en bebyggelse- samt befolkningsfri yta. Grundantagandet är i övrigt att personer uppehåller sig jämnt utspridda över respektive zon samt att en större andel av dessa personer vistas inomhus när olyckan inträffar. Vid beräkningarna av samhällsrisken antas inomhusvistelse vid vissa olycksscenarier medföra en signifikant lägre risk att omkomma.

De ansatta skyddsgraderna för inomhusvistelse som redovisas i Tabell 7 bygger på erfarenhetsmässiga bedömningar, tidigare riskbedömningar inom samhällsplanering [20] och internationella vägledningar så som CPR 18E [21]. I Bilaga G redovisas mer ingående motiveringar av ansatta skyddsgrader vid inomhusvistelse.

Tabell 7. Andel personer som befinner sig inomhus respektive utomhus vid olika tidpunkter på dygnet enligt riktvärden från RIKTSAM [22].

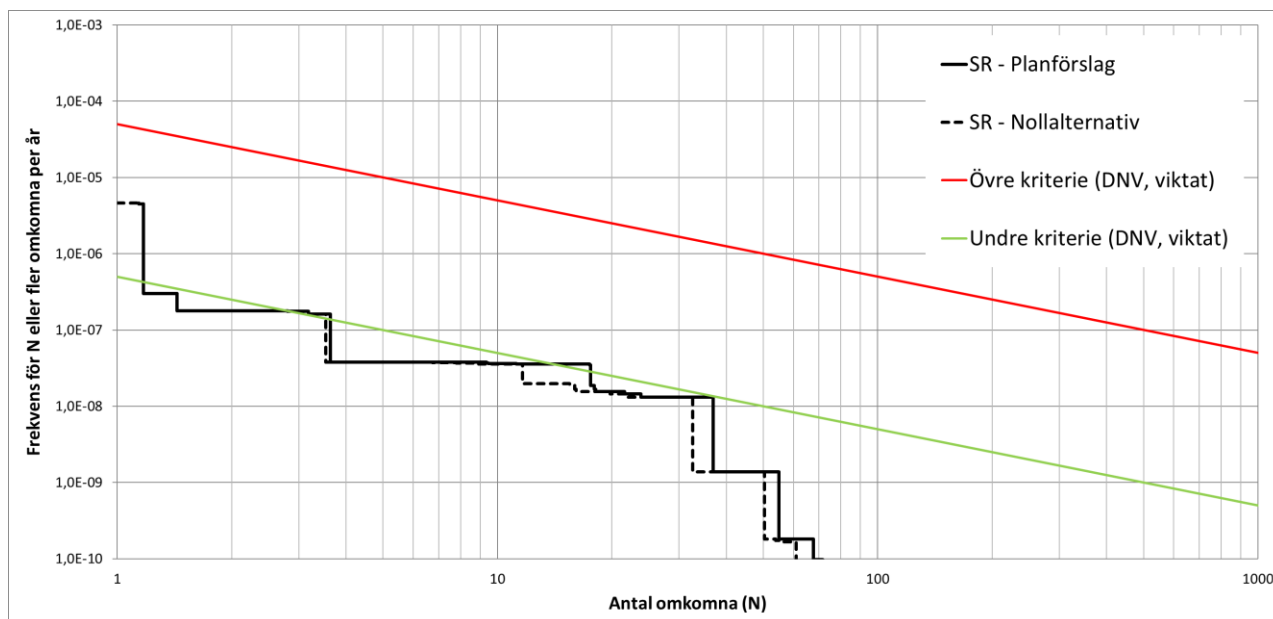
Tid på dygnet	Andel inomhus	Andel utomhus
Dagtid (kl. 07-19)	90 %	10 %
Nattetid (kl. 19-07)	99 %	1 %

Tabell 8. Ansatta skyddsgrader vid inomhusvistelse när samhällsriskerna för planområdet med omnejd beräknas. En skyddsgrad på exempelvis 60 % innebär att individerna som befinner sig inomhus inom konsekvensområdet antas ha en 60 % lägre sannolikhet att omkomma till följd av olyckan jämfört med individer som vistas utomhus inom samma konsekvensområde.

Olycksscenario	Zon 1 (skyddsgrad vid inomhusvistelse)	Zon 2 (skyddsgrad vid inomhusvistelse)	Zon 3 (skyddsgrad vid inomhusvistelse)
Stora explosionslaster	0 %	50 %	50 %
Mindre explosionslaster	50 %	N/A*	N/A*
Utsläpp av brandfarliga gaser (jetflammar, gasmoln)	50 %	75 %	N/A
Utsläpp av brandfarliga gaser (BLEVE)	90 %	90 %	90 %
Utsläpp av giftiga gaser	50 %	95 %	95 %
Utsläpp av brandfarliga vätskor	75 %	N/A*	N/A*

*Konsekvensavståndet vid dessa typer av olyckor understiger avståndet mellan bebyggelsen inom aktuell zon och järnvägen.

I Figur 11 syns den beräknade samhällsrisknivån för nollalternativet respektive planförslaget. Beräkningen indikerar den förtätning inom Zon 2 som planförslaget förväntas medföra enbart innebär en marginell ökning av samhällsrisknivån i förhållande till nollalternativet. Samhällsrisknivån för båda alternativen ligger generellt lågt inom ALARP-området, på gränsen till acceptabla nivåer. Sannolikheten för olyckor med en eller fler omkomna når förvisso mitten av ALARP-området i båda alternativen men detta beror på att bebyggelsen inom Zon 1 ligger förhållandevis nära järnvägen.



Figur 11. Beräknad samhällsrisknivå för nollalternativ respektive planförslag.

Ett annat sätt att illustrera skillnaderna i risknivå är beräkna den förväntade konsekvensen för respektive alternativ och sedan jämföra dessa mot varandra. I Tabell 9 redovisas förväntat antal omkomna per år för nollalternativet respektive planförslaget med avseende på riskpåverkan från Jönköpingsbanan och E4. Beräkningen indikerar att förtätningen inom planområdet skulle medföra en relativ riskökning på 3 % i förhållande till nollalternativet.

Tabell 9. Förväntat antal omkomna per år för nollalternativet respektive planförslaget med avseende på farligt gods-olyckor och tågurspårningar på Jönköpingsbanan och E4.

Förväntad konsekvens (Antal omkomna per år)	
Nollalternativ	Planförslag
$6,49 \cdot 10^{-6}$ per år	$6,68 \cdot 10^{-6}$ per år

4.2 SAMMANFATTNING OCH ÅTGÄRDSFÖRSLAG

Utifrån de beräknade individ- och samhällsrisknivåerna bedöms utformningen av planområdet vara acceptabel ur riskhänseende. Enligt Länsstyrelsen i Hallands läns riktlinje ska dock införandet av riskreducerande åtgärder avseende utsläpp av giftig gas alltid övervägas vid samhällsplanering inom 150 meter från transportleder med farligt gods [1]. WSP rekommenderar dock i enlighet med riktlinjen att följande riskreducerande åtgärd bör kravställas i detaljplanen:

- Friskluftsintag till byggnader inom 150 meter från Jönköpingsbanan med centraliserat tilluftssystem ska placeras på oexponerad sida, dvs. vända bort från järnvägen.

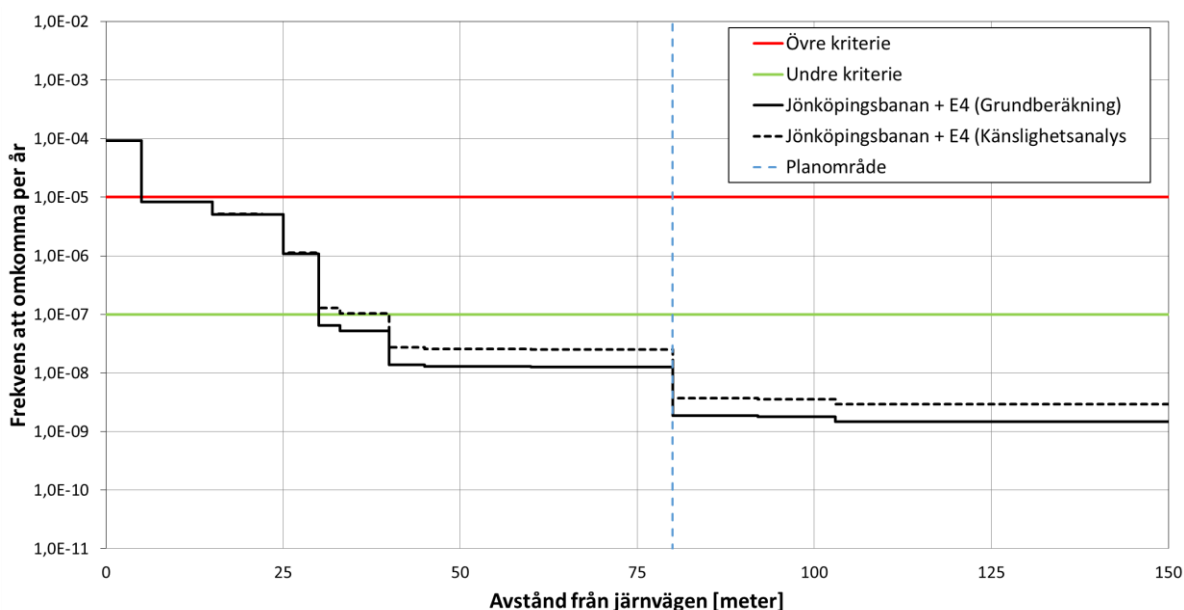
Syftet med åtgärden är att minska den mängd gas som kommer in i byggnaden via ventilationssystemet. Åtgärden minskar konsekvensen för personer som vistas inomhus vid utsläpp av brandgaser och andra giftiga gaser.

4.3 KÄNSLIGHETSANALYS

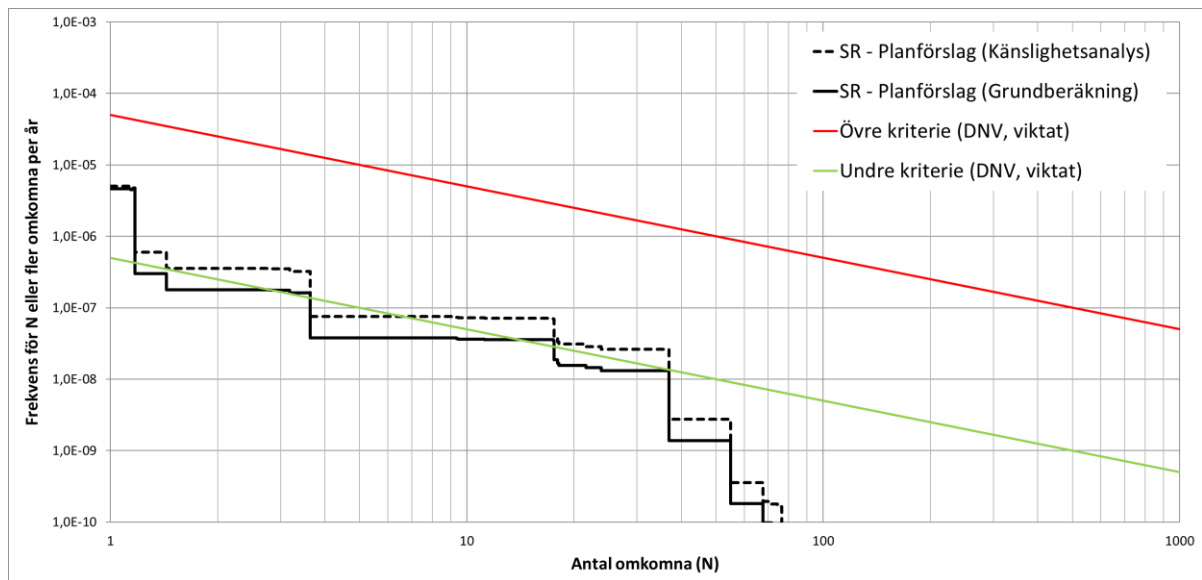
I detta avsnitt genomförs en känslighetsanalys för att undersöka hur de uppskattade risknivåerna för planområdet och omnejd skulle påverkas vid förändrade ingångsvärden. Specifikt undersöks hur risknivåerna påverkas om omfattningen av farligt gods-transporter på de aktuella transportlederna skulle fördubblas i relation till dagens värden.

I Figur 12 syns hur individrisknivån påverkas vid en ökad omfattning av farligt gods-transporter på Jönköpingsbanan och E4. Känslighetsanalysen indikerar att ökningen skulle medföra en generell höjning av risknivån. Individrisknivån inom planområdet ligger dock fortsatt helt inom acceptabla nivåer med avseende på riskpåverkan från transportlederna.

I Figur 13 redovisas motsvarande känslighetsanalys fast för samhällsrisknivån. Beräkningen indikerar att ökningen skulle medföra en generell höjning av samhällsrisknivån för planområdet och omnejd i relation till grundberäkningen. Samhällsrisknivån befinner sig dock fortsatt lågt inom den nedre halvan av ALARP-området. Sammantaget indikerar känslighetsanalysen att resultatet från riskbedömningen är förhållandevis robust gentemot eventuella framtida öknings av farligt gods-transporterna på transportlederna.



Figur 12. Förändringen av individrisknivå i relation till grundberäkningen om omfattningen av farligt gods på transportlederna i framtiden skulle fördubblas i relation till dagens värden.



Figur 13. Förändringen av samhällsrisk i relation till grundberäkningen om omfattningen av farligt gods på transportlederna i framtiden skulle fördubblas i relation till dagens värden.

5 DISKUSSION

Riskbedömningar av detta slag är alltid förknippade med osäkerheter, om än i olika stor utsträckning. Osäkerheter som påverkar resultatet kan vara förknippade med bl.a. det underlagsmaterial och de beräkningsmodeller som analysens resultat är baserat på. De beräkningar, antaganden och förutsättningar som bedöms vara belagda med störst osäkerheter är:

- Farligt gods-transporter förbi planområdet,
- schablonmodeller som har använts vid sannolikhetsberäkningar och
- antal personer som förväntas omkomma vid respektive skadescenario.

Antaganden i riskbedömningen har gjorts utifrån vad som bedöms vara konservativa ansatser för att säkerställa att risknivån inom området inte ska underskattas.

Vid analyser av detta slag råder ibland brist på relevanta data, behov av att göra antaganden och förenklingar och svårigheter att få fram tillförlitliga uppgifter som dessutom är mer eller mindre osäkra. Dessa svårigheter innebär att olika riskanalyser/riskanalytiker ibland kan komma fram till motstridiga resultat på grund av skillnader i antaganden, metoder och/eller ingångsdata. [23]

Det finns flera skäl till varför systematiska riskanalyser är att föredra framför andra mer informella eller intuitiva sätt att hantera den stora, men långt ifrån fullständiga, kunskapsmassa som finns beträffande riskerna med farligt gods. Användning av riskanalysmetoder av den typ som presenteras i VTI Rapport 389:1 och som använts i detta projekt innebär att befintlig kunskap insamlas, struktureras och sammanställs på ett systematiskt sätt så att kunskapsluckor kan identifieras. Detta medför att analysens förutsättningar kan prövas, ifrågasättas och korrigeras av oberoende. Metoden innebär också att de antaganden och värderingar som ligger till grund för olika skattningar tydliggörs för att undvika missförstånd vid information, diskussion och förhandling mellan beslutsfattare, transportörer och allmänhet. Riskanalyser utgör därigenom ett viktigt led i den demokratiska process som omger transporter av farligt gods i samhället. [23]

6 SLUTSATSER

Utifrån de beräknade individ- och samhällsrisknivåerna bedöms utformningen av planområdet vara acceptabel ur riskhänseende. WSP rekommenderar dock i enlighet med riktlinjen att följande riskreducerande åtgärd bör kravställas i detaljplanen:

- Friskluftsintag till byggnader inom 150 meter från Jönköpingsbanan med centraliserat tilluftssystem ska placeras på oexponerad sida, dvs. vända bort från järnvägen.

BILAGA A. METOD FÖR RISKHANTERING

Detta kapitel innehåller en beskrivning av begrepp och definitioner, arbetsgång och omfattning av riskhantering i projektet samt de metoder som använts.

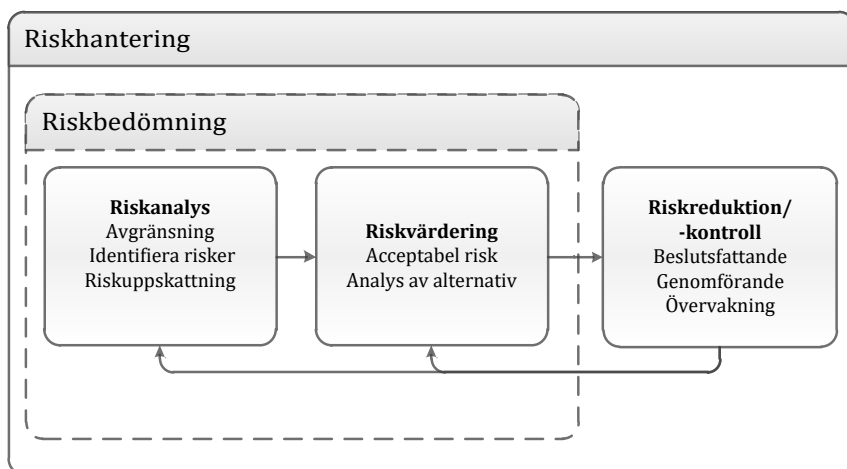
A.1. BEGREPP OCH DEFINITIONER

Begreppet risk avser kombinationen av sannolikheten för en händelse och dess konsekvenser. Sannolikheten anger hur troligt det är att en viss händelse kommer att inträffa och kan beräknas om frekvensen, d.v.s. hur ofta något inträffar under en viss tidsperiod, är känd.

Riskanalys omfattar, i enlighet med de internationella standarder som beaktar riskanalyser i tekniska system [24] [25], riskidentifiering och riskuppskattning, se Figur 14.

Riskidentifieringen är en inventering av händelseförlopp (scenarier) som kan medföra oönskade konsekvenser, medan riskuppskattningen omfattar en kvalitativ eller kvantitativ uppskattning av sannolikhet och konsekvens för respektive scenario.

Sannolikhet och frekvens används ofta synonymt, trots att det finns en skillnad mellan begreppen. Frekvensen uttrycker hur ofta något inträffar under en viss tidsperiod, t.ex. antalet bränder per år, och kan därigenom anta värden som är både större och mindre än 1. Sannolikheten anger istället hur troligt det är att en viss händelse kommer att inträffa och anges som ett värde mellan 0 och 1. Kopplingen mellan frekvens och sannolikhet utgörs av att den senare kan beräknas om den första är känd.



Figur 14. Riskhanteringsprocessen.

Efter att riskerna analyserats görs en riskvärdering för att avgöra om riskerna kan accepteras eller ej. Som en del av riskvärderingen kan det även ingå förslag till riskreducerande åtgärder och verifiering av olika alternativ. Det sista steget i en systematisk hantering av riskerna kallas riskreduktion/-kontroll. I det skedet fattas beslut mot bakgrund av den värdering som har gjorts av vilka riskreducerande åtgärder som ska vidtas.

Riskhantering avser hela den process som innehåller analys, värdering och reduktion/-kontroll, medan riskbedömning enbart avser analys och värdering av riskerna.

A.2. RISKANALYSMETODER

I denna riskbedömning används en kvantitativ metod för att uppskatta transportledernas riskpåverkan på omgivningen.

A.2.1 *Kvalitativa metoder*

I kvalitativa metoder används beskrivningar av typen stor, mellan eller liten, utan försök att närmre precisera sannolikheter för olika utfall utan, eftersom det primära syftet med klassificeringen är att jämföra riskerna med varandra [26].

A.2.2 *Semi-kvantitativa metoder*

De semi-kvantitativa metoderna är mer detaljerade än de renodlat kvalitativa metoderna, och innehåller delvis numeriska riskmått. De numeriska måtten behöver inte vara precisa, utan kan beteckna storleksordningar för att jämföra olika alternativ. En riskmatris är ett exempel på ett semi-kvantitativt verktyg [26].

A.2.3 *Kvantitativa metoder*

Kvantitativa metoder är helt numeriska och beskriver således risker med kvantitativa termer, exempelvis förväntat antal omkomna per år [27].

BILAGA B. STATISTISKT UNDERLAG

I denna bilaga redovisas det statistiska underlag för transporter av farligt gods som utgjort grund för genomförda bedömningar och beräkningar.

B.1. BERÄKNING AV OLYCKSFREKVENNS

I Räddningsverkets (nuv. MSB) rapport Farligt gods – riskbedömning vid transport [18] presenteras metoder för beräkning av frekvens för trafikolycka samt trafikolycka med farligt gods-transport på väg. Rapporten är en sammanfattning av Väg och- transportforskningsinstitutets rapport [28] och den beskrivna metoden benämns VTI-modellen. VTI-modellen analyserar och kvantifierar sannolikheter för olycksscenarioer med transport av farligt gods mot bakgrund av svenska förhållanden. Vid uppskattning av frekvensen för farligt gods-olycka på en specifik vägsträcka kan två olika metoder användas. Antingen kan en olyckskvot uppskattas utifrån specifik olycksstatistik för sträckan, eller utifrån nationell statistik över liknande vägsträckor. I denna riskanalys används det andra av dessa alternativ. Olyckskvotens storlek beror på ett antal faktorer såsom vägtyp, hastighetsgräns, siktförhållanden samt vägens utformning och sträckning.

Generellt gäller att vägtyper som tillåter högre hastighet är utformade på ett sätt vilket medför en lägre olyckskvot än där lägre hastighetsbegränsning råder. Korsningar, cirkulationsplatser och dylika utformningar ger högst olyckskvot. Antalet singelolyckor och sannolikheten att en olycka leder till en konsekvens med farligt gods (index) ökar med hastigheten.

Antalet trafikolyckor med transport av farligt gods som leder till konsekvens mot omgivningen beräknas enligt nedanstående metodik med indata enligt Tabell 10. Som underlag för beräkningarna av den förväntade frekvensen för trafikolycka respektive farligt gods-olycka används prognos för trafikflödet år 2040.

$$Olyckor_{Total}(O) = \dot{A}DT_{Total} \cdot 365 \cdot Sträcka(km) \cdot OK$$

$$Olyckor_{FG} = O \cdot \left[\left(SiO \cdot \frac{\dot{A}DT_{FG}}{\dot{A}DT_{Total}} \right) + (1 - SiO) \left(\frac{2 \cdot \dot{A}DT_{FG}}{\dot{A}DT_{Total}} - \frac{\dot{A}DT_{FG}^2}{\dot{A}DT_{Total}^2} \right) \right] \cdot Index$$

Tabell 10. Indata till frekvensberäkning för farligt gods-olycka enligt *Farligt gods – riskbedömning vid transport*.

Indataparameter	E4 2040	E4 Känslighetsanalys
$\dot{A}DT_{total}$	59 000	59 000
$\dot{A}DT_{FG}$	232	464
Hastighetsgräns	80 km/h	80 km/h
Olyckskvot (OK)	0,6	0,6
Andel Singelolyckor (SiO)	0,3	0,3
Index	0,13	0,13
Frekvens FG-olycka	$8,26 \cdot 10^{-2}$	$1,58 \cdot 10^{-1}$

B.2. FÖRDELNING MELLAN DE OLIKA ADR-S KLASSERNA

Farligt gods är ett samlingsbegrepp för farliga ämnen och produkter som har sådana egenskaper att de kan skada människor, miljö och egendom om det inte hanteras rätt under transport. Transport av farligt gods omfattas av regelsamlingar [12] som tagits fram i internationell samverkan. Farligt gods på väg delas in i nio olika klasser enligt ADR-S-systemet där kategorisering baseras på den dominerande risken som finns med att transportera ett visst ämne eller produkt. Detta innebär inte att ett ämne inte kan ge upphov till typkonsekvenser motsvarande de för en annan klass. T.ex. transporteras vätefluorid under klass 8 eftersom dess primära risk utgörs av frätskador. Ämnet är dock mycket giftigt och kan ge upphov till dödliga konsekvenser över relativt stora avstånd. I Tabell 11 nedan redovisas klassindelningen av farligt gods och en beskrivning av vilka konsekvenser som kan uppstå vid olycka.

Tabell 11. Kortfattad beskrivning av respektive farligt gods-klass samt konsekvensbeskrivning.

ADR-S	Kategori	Beskrivning	Konsekvenser
Klass 1	Explosiva ämnen och föremål	Sprängämnen, tändmedel, ammunition, etc. Maximal tillåten mängd explosiva ämnen på väg är 16 ton [12].	Orsakar tryckpåverkan, brännskador och splitter. Stor mängd massexplosiva ämnen ger skadeområde med 200 m radie (orsakat av tryckvåg). Personer kan omkomma både inomhus och utomhus. Övriga explosiva ämnen och mindre mängder massexplosiva ämnen ger enbart lokala konsekvensområden. Splitter och annat kan vid stora explosioner orsaka skador på uppemot 700 m [29].
Klass 2	Gaser	Inerta gaser (kväve, argon etc.) oxiderande gaser (syre, ozon, etc.), brandfarliga gaser (acetylen, gasol etc.) och giftiga gaser (klor, svaveldioxid etc.).	Förgiftning, brännskador och i vissa fall tryckpåverkan till följd av giftigt gasmoln, jetflamma, gasmolnsexplosion eller BLEVE. Konsekvensområden över 100-tals m. Omkomna både inomhus och utomhus.
Klass 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 30 m från en pöl. Rök kan spridas över betydligt större område. Bildandet av vätskepöl beror på vägutformning, underlagsmaterial och diken etc.
Klass 4	Brandfarliga fasta ämnen	Kiseljärn (metallpulver), karbid och vit fosfor.	Brand, strålning och giftig rök. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till närområdet kring olyckan.
Klass 5	Oxiderande ämnen, organiska peroxider	Natriumklorat, väteperoxider och kaliumklorat.	Tryckpåverkan och brännskador. Självantändning, explosionsartat brandförlopp om väteperoxidlösningar med koncentrationer > 60 % eller organiska peroxider som kommer i kontakt med brännbart organiskt material. Konsekvensområden för tryckvågor uppemot 120 m.
Klass 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.

Klass 7	Radioaktiva ämnen	Medicinska preparat. Vanligtvis små mängder.	Utsläpp radioaktivt ämne, kroniska effekter, mm. Konsekvenserna begränsas till närområdet.
Klass 8	Frätande ämnen	Saltsyra, svavelsyra, salpetersyra, natrium- och kaliumhydroxid (lut). Transporteras vanligtvis som bulkvara.	Utsläpp av frätande ämne. Dödliga konsekvenser begränsade till närområdet [28]. Personskador kan uppkomma på längre avstånd.
Klass 9	Övriga farliga ämnen och föremål	Gödningsämnen, asbest, magnetiska material etc.	Utsläpp. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till kontakt med själva olycksfordonet eller dess omedelbara närhet.

År 2015 genomfördes omkring 540 000 inrikes transporter med farligt gods med svenska lastbilar och den totala mängden farligt gods var drygt 16 miljoner ton, fördelat på en total sträcka av cirka 55 miljoner kilometer. Av samtlig tung trafik står farligt gods-transporter för omkring 2,5 % av den totalt tillryggalagda sträckan baserat på ett genomsnitt från 2009-2015. I Tabell 12 redovisas den inbördes fördelningen i körda kilometer för de olika klasserna baserat på uppgifter från TRAFIA mellan åren 2009-2015 för hela landet [15]. Siffrorna anses representativa för utredd sträcka.

Tabell 12. Antalet farligt gods-transporter framräknat enligt beräkningsmodellen samt fördelning mellan ADR-S klasser baserat på körda kilometer för respektive alternativ.

	E4 2040	E4 Känslighetsanalys
ÅDT _{FG}	232	464
ADR-S klass 1	0,32%	0,32%
ADR-S klass 2.1	6,73%	6,73%
ADR-S klass 2.3	0,04%	0,04%
ADR-S klass 3	47,32%	47,32%
ADR-S klass 5	2,62%	2,62%
ADR-S övriga	42,96%	42,96%

BILAGA C. FREKVENSBERÄKNINGAR

I frekvensberäkningarna beräknas en grundfrekvens för olyckor med transporter av farligt gods på en 1 km lång vägsträcka enligt VTI-modellen. Med händelseträdsmetodik beräknas sedan frekvenser för respektive olycksscenario för de olika klasserna. Händelseträden utvecklas i kommande avsnitt för varje ADR-S klass. Vid behov anpassas frekvenser till analysens geografiska avgränsningar.

C.1. ADR-S KLAS 1 – EXPLOSIVA ÄMNER OCH FÖREMÅL

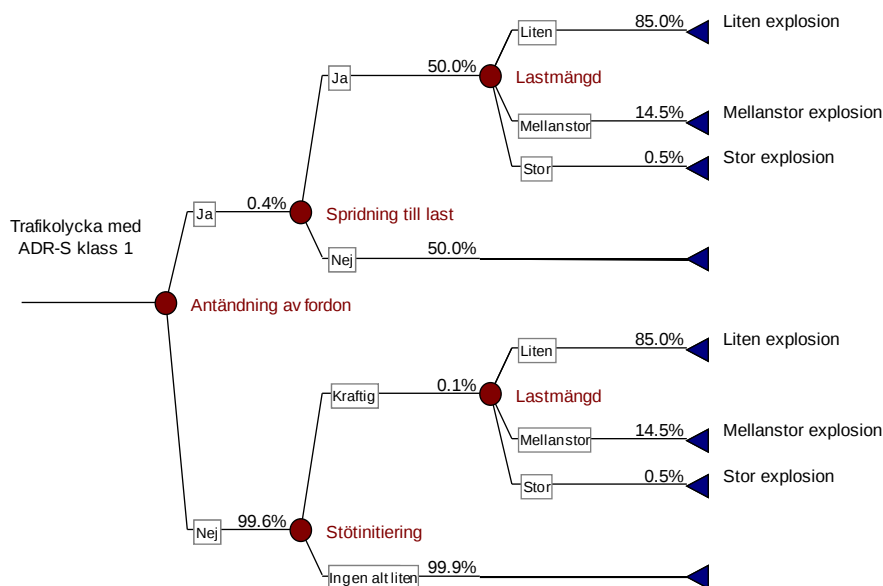
ADR-S klass 1 omfattar explosiva ämnen, pyrotekniska satser och explosiva föremål [12]. Dessa inkluderar exempelvis sprängämnen, tändmedel, ammunition, krut och fyrverkerier. Samtliga dessa varor kan genom kemisk reaktion alstra sådan temperatur och sådant tryck att de kan skada eller påverka omgivningen genom värme, ljus, ljud, gas, dimma eller rök. För att en sådan reaktion ska initieras krävs att tillräcklig energi tillförs ämnet. Vid ett olyckstillfälle kan en kraftig stöt eller en brand tillföra sådan energi till explosivämnet att det detonerar.

C.1.1 Transporterad mängd

Beroende på explosivämnenas kemiska och fysikaliska egenskaper är de indelade i riskgrupper (1.1-1.6). Enligt Räddningsverket (nuvarande MSB) [30] utgörs 80-90 % av de transporter som sker med explosiva ämnen av riskgrupp 1.1 (ämnen och föremål med risk för massexlosion). Vid beräkningar används riskgrupp 1.1 som representant för vidare utredning av ämnen i ADR-S klass 1. Detta bedöms vara ett konservativt antagande. Transporterad mängd är avgörande för explosionsverkan. Maximal mängd massexplodiva varor som får transporteras på väg är 16 ton, men de flesta transporter innefattar endast små nettomängder av massexplodiva varor.

C.1.2 Händelseträd med sannolikheter

Figur 15 redovisar sannolikheterna givet att en olycka skett involverande ett fordon lastat med explosiva ämnen. Dessa sannolikheter ligger till grund för frekvensberäkningar och motiveras i texten.



Figur 15. Händelseträd med sannolikheter för ADR-S klass 1.

C.1.2.1. ANTÄNDNING AV FORDON

De brandscenarier som kan leda till påverkan på lasten bedöms i huvudsak kunna uppkomma om transporten är involverad i en olycka som föranleder brand eller till följd av fordonsfel som leder till brand, till exempel överhettade bromsar eller elektriska fel.

Tillgänglig statistik över omfattningen av bränder inom transportsektorn är begränsad. Utifrån tillgänglig statistik från olika länder (bland annat Japan och Tyskland) anges en olyckskvot på cirka 1 fordonsbrand per 10 miljoner fordonskilometer [31]. Enligt svensk statistik är sannolikheten för att ett fordon inblandat i trafikolycka ska börja brinna cirka 0,4 % [32] [33].

C.1.2.2. BRANDSPRIDNING TILL LASTEN

Sannolikheten för spridning till last och detonation beror på vilken typ av ADR-S klass som involveras, vilket ämne, brandens storlek, mängden transporterat ämne med mera.

En fransk studie av fordonsbränder i tunnlar visar att 4 av 10 bränder släcks av personer på plats [34], med hjälp av enklare släckutrustning. Sådan släckutrustning finns dock sällan tillgänglig på ytvägnäten, men regelverket för transporter av farligt gods ställer krav på transportören att ha handbrandsläckare, och andelen släckta bränder i ADR-S klassade transporter bedöms vara något högre än vid andra olyckor. Resterande bränder antas bli släckta av räddningstjänsten, men då osäkerheter råder om insattiden kan det inte förutsättas att räddningstjänsten alltid förhindrar att branden sprider sig till den explosiva lasten. Utifrån detta resonemang görs samma bedömning som i Göteborgs fördjupade översiktsplan [35], att sannolikheten för att en brand sprider sig och leder till en explosion är 50 %.

C.1.2.3. STÖT

Med stöt avses sådan med intensitet och hastighet att den kan initiera en detonation. Det krävs kollisionshastigheter som uppgår till flera hundra m/s [36]. Det saknas dock kunskap om hur stort krockvåld som behövs för att initiera detonation i det fraktade godset. HMSO [11] anger att sannolikheten för en stötinitierad detonation vid en kollision är mindre än 0,2 %. Med hänsyn till den utveckling som skett inom fordonsutformning och trafiksäkerhet de senaste 20 åren antas sannolikheten för en stötinitierad detonation vara lägre än de 0,2 % som HMSO anger. Utifrån ovanstående bedöms sannolikheten för att en stöt initierar en detonation vara 0,1 %.

C.1.2.4. FÖRDELNING MELLAN LASTMÄNGDER

Genomfartstrafik respektive transporter till centrallager bedöms vanligen utgöras av maximalt lastade fordon, vilket motsvarar en last på 16 ton med fordon av EX/III-klass. Detta har framkommit i intervjuer med tillverkare och transportörer av explosiva ämnen [37] [38].

Statistik från Räddningsverket (nuvarande MSB) [39] anger att genomfartstrafik utgör omkring 0,5 % av alla transporter med farligt gods. Transporter med 16 ton antas därmed utgöra mindre än 0,5 % av samtliga transporter i klass 1. Detta överensstämmer med uppgifter från tre stora transportörer, som anger att andelen transporter med så stora lastmängder utgör mindre än 1 % av det totala antalet transporter med explosiva varor [40]. Övriga transporter utgörs av mindre mängder. Fördelningen mellan viktklasserna uppgår enligt Polisens [41] tillståndsavdelning till 0,50; 0,35; 0,10 respektive 0,05. Utifrån dessa uppgifter antas fördelningen enligt Tabell 13, för lastmängder av explosiva ämnen.

Tabell 13. Fördelning mellan lastmängder vid vägtransport av ADR-S klass 1.

Lastmängd	Inkluderat viktintervall	Andel	Representativ lastmängd för konsekvensberäkningar
Mycket stor	(16 000 kg)	0,5 %	16 000 kg
Mellanstor	(500-5000 kg)	14,5 %	1 500 kg
Liten	(<500 kg)	85 %.	150 kg

C.2. ADR-S KLASS 2 – GASER

ADR-S klass 2 omfattar rena gaser, gasblandningar och blandningar av en eller flera gaser med ett eller flera andra ämnen samt föremål innehållande sådana ämnen.

Gaser tillhörande ADR-S klass 2 är indelade i olika riskgrupper beroende på dess farliga egenskaper; brandfarliga gaser (riskgrupp 2.1.), icke brandfarliga, icke giftiga gaser (riskgrupp 2.2) samt giftiga gaser (riskgrupp 2.3) [12]. Volymen per transport kan, beroende på fordon och ämne, uppgå till cirka 30 ton. Störst skadeverkan vid vådautsläpp orsakar kondenserade gaser (i flytande form vid förhöjt tryck), brandfarliga gaser eller giftiga gaser. Nedan beskrivs riskgrupp 2.1 och riskgrupp 2.3 närmre.

C.2.1 ADR-S Riskgrupp 2.1 – Brandfarliga gaser

ADR-S riskgrupp 2.1 omfattas av brandfarliga gaser, exempelvis väte, propan, butan och acetylen. Här utgör brand den huvudsakliga faran, och gaserna är vanligtvis inte giftiga¹. Brandfarliga gaser är ofta luktfria [42]. Gasol ansätts som dimensionerande ämne att basera beräkningarna på, eftersom gasol på grund av dess låga brännbarhetsgräns samt att den transporteras tryckkondenserad och i stor utsträckning gör ämnet till ett konservativt val [35].

För brandfarliga gaser bedöms konsekvenserna för människor bli påtagliga först sedan utsläppet antänts. Nedanstående avsnitt beskriver hur en olycka med gods i klass 2.1 kan ta uttryck, samt vilka dimensionerande scenarier och tänkbara skadehändelser som kan uppträda.

C.2.1.1. GASLÄCKAGE

Gaser transporteras i regel under tryck i tankar med större tjocklek och därmed större tålighet [43]. Erfarenheter från utländska studier visar att sannolikheten för läckage av det transporterade godset då sänks till 1/30 av värdet för läckage i tankbil med ADR-S klass 3 [18].

C.2.1.2. LÄCKAGESTORLEK

Ett läckage till följd av en olycka med en transport av brandfarlig gas antas kunna bli *litet*, *medelstort* eller *stort*, där utsläppsstorlekarna är definierade i [18] utifrån massflöde: 0,09 kg/s (*litet*), 0,9 kg/s (*medelstort*) respektive 17,9 kg/s (*stort*). Med gasol som gas har arean på läckaget beräknats till 0,1; 0,8 respektive 16,4 cm². Vid läckage från tjockväggiga tankbilar bedöms sannolikheten för respektive storlek vara 62,5 %, 20,8 % och 16,7 % [18].

C.2.1.3. ANTÄNDNING

När ett läckage av brandfarlig gas, klass 2.1, har skett finns det en risk att gasen antänds. Antändningen kan inträffa direkt eller vara fördröjd. En direkt antändning antas leda till att en jetflamma uppstår, medan en fördröjd antändning kan innebära att en gasmolnsexplosion inträffar. För ett utsläpp som är mindre än 1500 kg anges sannolikheterna för direkt antändning, fördröjd antändning och ingen antändning vara 10 %, 50 % respektive 40 % [44], varför dessa värden kan antas gälla för *litet* läckage. För ett utsläpp som är större än 1500 kg anges motsvarande siffror vara 20 %, 80 % och 0 %.

¹ Vissa giftiga gaser, som exempelvis ammoniak, är vid höga koncentrationer även brandfarliga. De beaktas i huvudsak med avseende på de giftiga egenskaperna, vilka ger upphov till längre konsekvensavstånd än de brandfarliga egenskaperna.

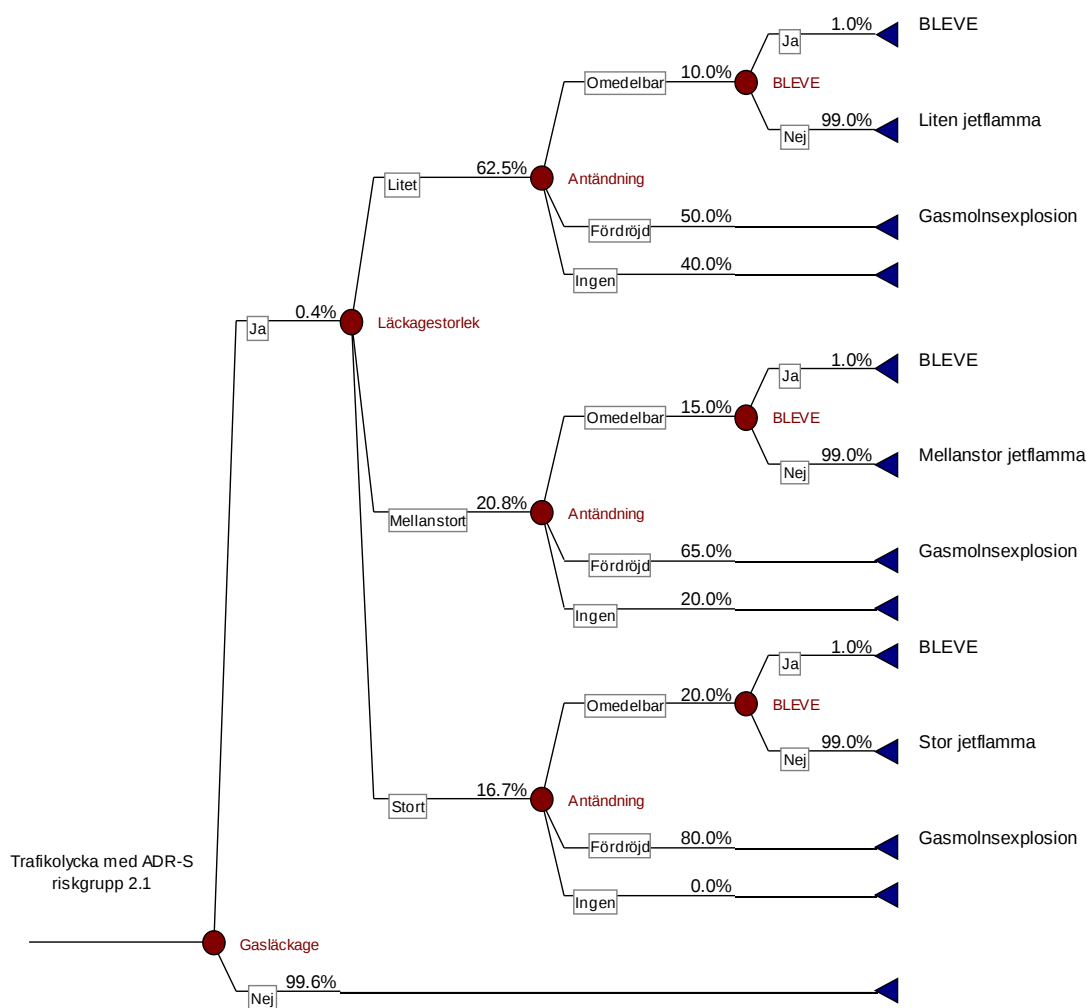
Dessa värden används för *stort* läckage. För *medelstort* läckage antas ett medeltal av ovanstående sannolikheter rimligt att använda, det vill säga 15 %, 65 % och 20 %.

C.2.1.4. BLEVE

En BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) kan inträffa om en tank med tryckkondenserad gas värms upp så snabbt att tryckökningen leder till att tanken rämnar. Detta resulterar i att den kokande vätskan (tryckkondenserad gas) momentant släpps ut och antänds. Detta resulterar i ett mycket stort eldklot. En BLEVE antas kunna uppstå i en oskadad tank, utan fungerande säkerhetsventil eller där säkerhetsventilen inte snabbt nog hinner avlasta trycket. Det krävs då att en direkt antändning har skett vid en intilliggande tank och orsakat jetflamma som är riktad direkt mot den oskadade tanken. Sannolikheten för att ovan givna förutsättningar ska infalla samtidigt och leda till en BLEVE bedöms vara liten, uppskattningsvis 1 %.

C.2.2 Händelseträd med sannolikheter

Figur 16 redovisar sannolikheterna i händelseträdets som används för en olycka som involverar ett fordon med brandfarlig gas. Dessa sannolikheter motiveras i efterföljande text.



Figur 16. Händelseträd med sannolikheter för ADR-S klass 2.1.

C.2.3 ADR-S riskgrupp 2.3 – Giftiga gaser

ADR-S riskgrupp 2.3 omfattar giftiga gaser, exempelvis ammoniak, fluorväte, kolmonoxid, klor, klorväte, svaveldioxid, svavelväte, cyanväte och kvävedioxid. Vissa giftiga gaser är också brandfarliga, som exempelvis ammoniak.

C.2.3.1. REPRESENTATIVT ÄMNE

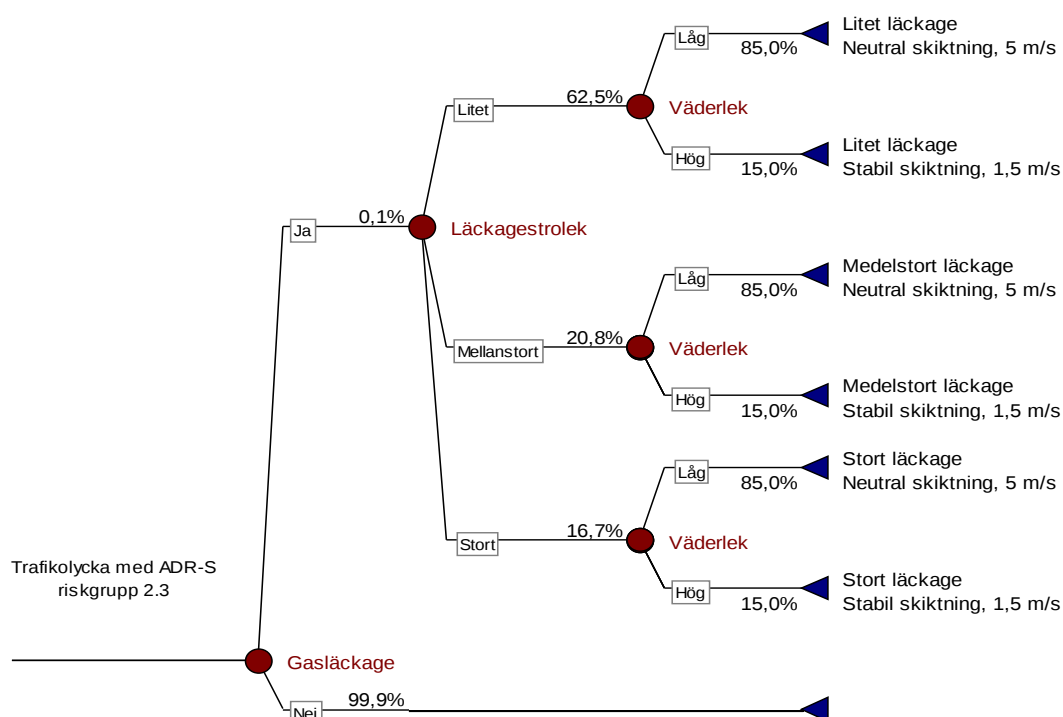
Svaveldioxid är den mest toxiska gas som transporteras på väg, varför ett konservativt antagande i att detta denna utgör dimensionerande ämne ansätts genomgående.

C.2.3.2. TOXIKOLOGISKA GRÄNSVÄRDEN

För att kvantifiera skadeutfallet vid exponering av ett giftigt ämne finns en rad olika gränsvärden. Då riskbedömningen baseras på frekvensen för dödsfall görs ansätts LC_{50} som dimensionerande gränsvärde. LC_{50} är den koncentration där mortaliteten i en normalfördelad population är 50 % för en given exponeringstid. I beräkningarna ansätts konservativt att skadeutfallet inom beräknat konsekvensområde är 100 %.

C.2.4 Händelseträd med sannolikheter

Figur 17 redovisar sannolikheterna i händelseträdets som används för en olycka som involverar ett fordon med giftig gas. Dessa sannolikheter motiveras i efterföljande text.



Figur 17. Händelseträd med sannolikheter för ADR-S klass 2.3.

C.2.4.1. GASLÄCKAGE

Sannolikheten att en olycka med farligt gods leder till läckage varierar beroende på bebyggelse, hastighetsgräns och vägtyp [18]. Gaser transporteras i regel under tryck i tankar med större tjocklek och därmed tålighet [43]. Erfarenheter från utländska studier visar på att sannolikheten för utsläpp av det transporterade godset därför sänks till 1/30 [18].

C.2.4.2. LÄCKAGESTORLEK

Ett läckage till följd av en olycka med en transport av giftig gas antas kunna bli *litet*, *medelstort* eller *stort*, där storlekarna är definierade utifrån utsläppets källstyrka. Storleken på läckaget är samma som för ADR-S klass 2.1 det vill säga 0,1; 0,8 respektive 16,4 cm². Vid läckage från tjockväggiga tankbilar bedöms sannolikheten för respektive storlek vara 62,5 %; 20,8 % och 16,7 % [18].

C.2.4.3. VÄDERLEK

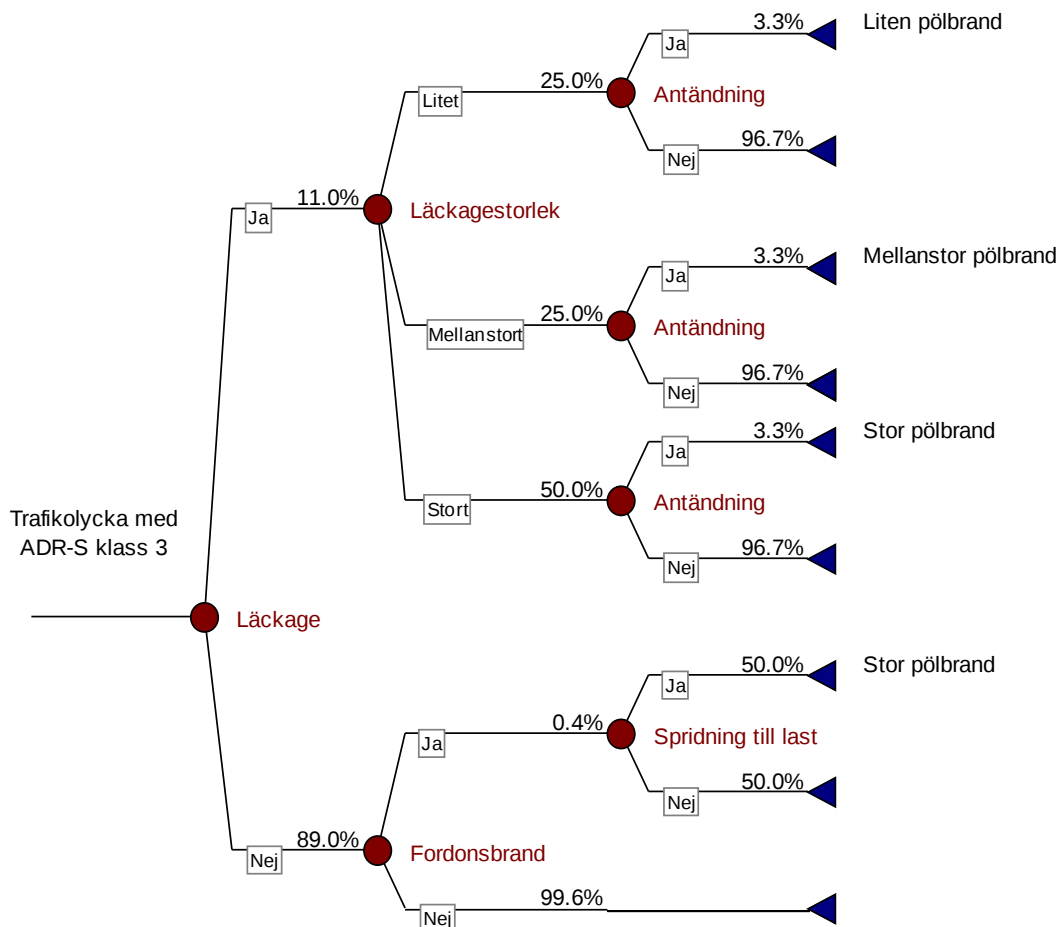
Gasspridning utomhus beror i stort av rådande väderlek där stabilitetsklass och vindhastighet har stor inverkan på resultatet. För att differentiera hur påverkan varierar med dessa parametrar varieras gasspridning i sex scenarier med olika förutsättningar, där ovan nämnda källstyrkor simuleras vid två typer av väderlek – Neutral atmosfärisk skiktning D med en vindhastighet på 5 m/s samt med en Extremt stabil skiktning F med en vindhastighet på 1,5 m/s. Den förstnämnda representerar genomsnittligt väder, vilket förekommer omkring 85 % av tiden, och den sistnämnda representerar ogynnsamt väder vilket ansätts råda under resterande 15 %.

C.3. ADR-S KLAS 3 – BRANDFARLIGA VÄTSKOR

ADR-S klass 3 omfattar brandfarliga vätskor, exempelvis bensin, E85, diesel- och eldningsolja, lösningsmedel etc. De flesta transporter av farligt gods utgörs av brandfarliga vätskor.

C.3.1 Händelseträd med sannolikheter

Figur 18 redovisar sannolikheterna givet att en olycka skett med ett fordon lastat med brandfarlig vätska. Dessa sannolikheter motiveras i texten.



Figur 18. Händelseträd med sannolikheter för ADR-S klass 3. Sannolikhet för läckage regleras av index, se Tabell 4

C.3.1.1. LÄCKAGE

Sannolikheten för att en trafikolycka med en farligt gods-transport inblandad leder till läckage definieras av sträckans farligt gods-index, se Tabell 10.

C.3.1.2. LÄCKAGESTORLEK

Storleken på läckaget varierar beroende på tankbilens storlek och typ. Enligt uppgifter från transportbolagen, när det gäller klass 3-produkter, är det vanligast att tankbilar med släp transporterar godset [45] [46]. Vid läckage från tankbil med släp fastställs sannolikheten för ett litet, mellanstort och stort läckage vara 25 %, 25 % respektive 50 % [18]. De olika läckagen definieras utifrån vilken pölstorlek som de ger upphov till: 50 m² (*litet*), 200 m² (*mellanstort*) samt 400 m² (*stort*).

C.3.1.3. ANTÄNDNING

Bensin och diesel utgör tillsammans majoriteten av produkterna i ADR-S klass 3 [47]. Sannolikheten för antändning av läckage med diesel på väg är mycket låg på grund av dess höga flampunkt, medan sannolikheten för antändning av ett bensinläckage är större. Förenklat (och konservativt) antas samtliga transporter av brandfarlig vätska vara bensin. Sannolikheten att antändning sker givet läckage av bensin, oberoende av om det är litet, mellanstort eller stort, är 3,3 % [11].

C.3.1.4. FORDONSBRAND

I enlighet med tidigare antagande avseende sannolikheten för att en trafikolycka leder till brand i fordon (se avsnitt C.1.2) är denna cirka 0,4 %. Fordonsbranden kan sprida sig till lasten, och denna sannolikhet uppskattas till 50 %.

C.4. ADR-S KLAS 5 – OXIDERANDE ÄMNEN OCH ORGANISKA PEROXIDER

ADR-S klass 5 är indelad i två riskgrupper; oxiderande ämnen (riskgrupp 5.1) och organiska peroxider (riskgrupp 5.2).

C.4.1 Allmänt om ADR-S riskgrupp 5.1

Oxiderande ämnen är brandbefrämjande ämnen som vid avgivande av syre (oxidation) kan initiera eller understödja brand i andra ämnen, samt i vissa fall detonera [12].

Ett vanligt förekommande ämne är ammoniumnitrat (AN) som ingår i många gödningsmedel och tillhör riskgrupp 5.1. Ammoniumnitrat kan i samband med vissa omständigheter sönderfalla explosivt genom detonation. Detta kan ske genom ett brandförlopp där ämnet är inneslutet och värms upp under tryckuppbyggnad, eller om det blandas med organiskt material [48]. Baserat på uppgifter från Yara i Köping [49] och FOI [50] kan en detonation uppstå om ammoniumnitrat blandas med ett flytande organiskt material såsom diesel, bensin, vegetabiliska oljor, eller om ett annat explosivämne detonerar i eller i kontakt med ammoniumnitratmassan. För att en blandning mellan ammoniumnitrat och organiskt material ska detonera krävs en homogen blandning samt tillförsel av tillräckligt stor energi. Natriumklorat är ett annat ämne som ingår i ADR-S riskgrupp 5.1 och har liknande egenskaper [51].

C.4.2 Allmänt om ADR-S riskgrupp 5.2

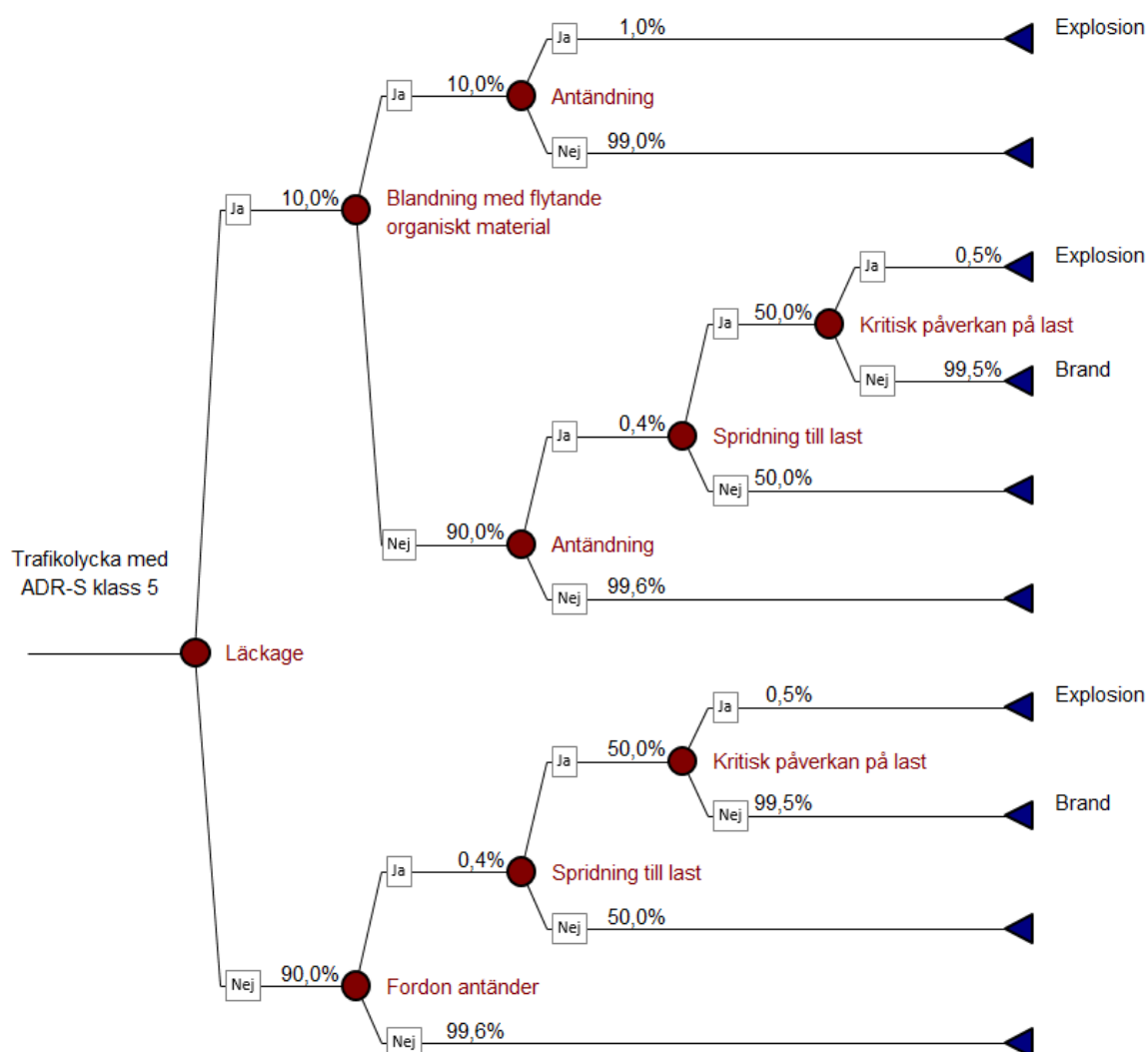
Organiska peroxider (ADR-S riskgrupp 5.2) karakteriseras av föreningar med instabila peroxidbindningar. Till följd av den kemiska strukturen är organiska peroxider mycket reaktiva, och dess termiska instabilitet kan medföra att ämnet sönderfaller, i vissa fall explosionsartat. Sönderfallet kan initieras av så väl värme och friktion som kontakt med främmande ämne [42]. I de fall peroxiden är innesluten i behållare kan explosion med tryckvåg och splitter uppstå, men detta gäller endast för en av de sex typer av ämnen som finns i riskgruppen. De övriga fem typerna av ämnen bedöms inte kunna leda till ett explosionsartat förlopp.

C.4.2.1. TRANSPORTERADE MÄNGDER OCH REPRESENTATIVT ÄMNE

Enligt rekommendationer från holländska myndigheter [52], bedöms ammoniumnitrat vara ett representativt ämne för hela ADR-S klass 5. Det är ett av de oxiderande ämnen som har störst oxiderande effekt och som transporteras mest frekvent och i störst mängd.

C.4.2.2. HÄNDELSETRÄD MED SANNOLIKHETER

Figur 19 redovisar ett händelsetråd som utvecklar förloppet efter att ett fordon lastat med ammoniumnitrat varit inblandat i en trafikolycka. De sannolikheter som anges i figuren motiveras i efterföljande textavsnitt.



Figur 19. Händelsetråd med sannolikheter för ADR-S klass 5.

C.4.2.3. LÄCKAGE

Sveriges enda producent av ammoniumnitrat utgörs i dagsläget av Yara AB i Köping. Ammoniumnitrat transporteras som prillade produkter (fasta korn), paketerade i säckar om 1000 kg. Transporterade mängder med bil omfattar ca 36 ton [53]. Säckarna utgörs av två lager, en tjock innersäck av plast samt en yttre av väv, vilka är sammansvetsade upp till. Då ett utsläpp endast bedöms kunna ske om säcken påverkas av ett vasst föremål eller av en stor tryckpåckänning antas sannolikheten för utsläpp uppgå till 10 %. Detta bedöms som en konservativt vald siffra, och styrks av att utsläpp av ammoniumnitrat i samband med transportolycka inte förekommit på Yara under de 12 år som verksamheten har bedrivits.

C.4.2.4. BLANDNING MED FLYTANDE ORGANISKT MATERIAL

Antändning och sönderfall genom deflagration eller detonation kan ske i samband med en olycka som involverar ammoniumnitrat om det blandas med ett organiskt flytande ämne såsom bensin. Idealt för att ett explosivt förlopp ska inträffa är att ammoniumnitratet blandas med bränslet homogent eller att de

blandas under längre tid så att bränslet kan absorberas av ammoniumnitraten. Sannolikheten för att ammoniumnitraten ska kontamineras vid en transportolycka ansätts till 10 %.

C.4.2.5. ANTÄNDNING AV BLANDNING

För att blandningen av ammoniumnitrat och bränsle ska explodera krävs att energi tillförs. I denna bedömning har explosion till följd av olyckan antagits ske med en sannolikhet av 1 %. Antagandet baseras på statistik avseende antändning av ett utsläpp med brandfarlig vätska och bedöms vara en konservativ uppskattning då brandfarlig vätska antas vara mer lättantändlig.

C.4.2.6. ANTÄNDNING AV OBLANDAT GODS

Sannolikheten för en antändning efter ett utsläpp av lasten, men utan att den blandats med organiskt material, bedöms utifrån ämnets egenskaper vara lika stor som sannolikheten att fordonet i sig fattar eld vid olyckan, det vill säga 0,4 %.

I enlighet med tidigare antagande avseende sannolikheten för att en trafikolycka leder till brand i fordon (se avsnitt C.1.2) är denna cirka 0,4 %.

C.4.2.7. BRANDSPRIDNING TILL LASTEN

För att ett explosivt förlopp ska ske i detta fall krävs tillförsel av energi i form av antingen en brand eller detonation i eller i kontakt med ammoniumnitratmassan. Sannolikheten för att fordonsbranden ska sprida sig till lastutrymmet beror bland mycket annat på fordonets utformning och hur lasten förvaras. Enligt tidigare resonemang antas sannolikheten för brandspridning till lasten vara 50 %.

C.4.2.8. KRITISK PÅVERKAN PÅ LAST

För att brand ska initiera ett explosivt förlopp krävs att temperaturen överstiger 190°C [49]. Antändning av ammoniumnitrat/bränsleblandning kan övergå till ett självunderhållande sönderfall (som behandlats ovan) medan ren ammoniumnitrat är så stabil att ett eventuellt sönderfall upphör då värmekällan avlägsnas [48]. Vidare krävs möjlighet till tryckupbyggnad för att termiskt sönderfall av ren ammoniumnitrat ska kunna övergå till explosivt sönderfall genom deflagration eller detonation [54]. Smälta av ammoniumnitrat tros kunna skapa dessa förutsättningar även om forskningen inom området är bristfällig [54]. Hypotesen är att vätskepelare av smälta kan skapa en egen inneslutning i vilken trycket kan bli så pass högt att reaktionsförloppet blir explosionsartat [54]. Denna typ av olycksförlopp bedöms vara relativt långsamma och förutsätter troligtvis att ammoniumnitraten utsätts för en relativt kraftig och långvarig brandpåverkan. Detta är något som även erhållen olycksstatistik kan styrka då det vid en majoritet av olyckorna anges brinntider på cirka 1-16 timmar innan detonation har inträffat. Sannolikheten för att en brand som spridit sig till lasten påverkar denna så allvarligt att det leder till en explosion innan samtliga personer i omgivningen hunnit utrymma området bedöms vara lägre än vid antändning av blandning och ansätts till 0,5 %.

C.5. ACKUMULERAD OLYCKSPÅVERKAN

Grundfrekvensen för olyckorna gäller för 1 km vägsträcka, vilket får till följd att frekvensen måste justeras med hänsyn till hur stort konsekvensavstånd som varje olycksscenario ger upphov till (konsekvensavstånd redovisas i Bilaga D).

BILAGA D. KONSEKVENSBERÄKNINGAR

I detta avsnitt beskrivs hur konsekvensområdet och det förväntade skadeutfallet för olika klasser kvantifierats. Beräkningarna redogörs separat för respektive ADR-S klass.

D.1. ANTAGANDE OM OLYCKANS PLACERING

Konsekvenser som uppstår vid olycksscenerierna antas utgå från väggkant närmast området.

D.2. ADR-S KLASST 1 – EXPLOSIVA ÄMNEN

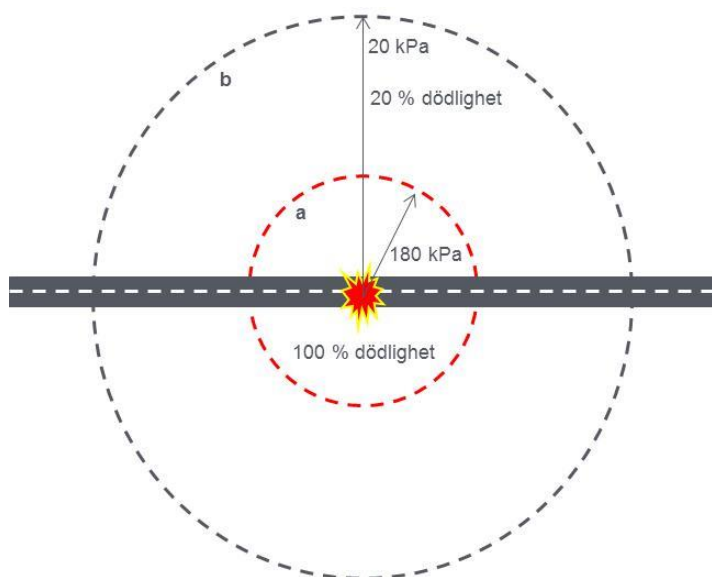
Den påverkan som kan uppkomma på människor till följd av tryckvågor kan delas in i direkta och indirekta skador. Vanliga direkta skador är spräckt trumhinna eller lungskador. De indirekta skadorna kan uppstå antingen då människor kastas iväg av explosionen (tertiära), eller då föremål (splitter) kastas mot människor (sekundära) [55].

Sannolikheten för en individ att träffas av splitter är låg, och antalet omkomna till följd av splitterverkan bedöms därför bli litet. Sammantaget bedöms riskbidraget från splitterverkan vara försumbart. Vad gäller trycknivåer, och de direkta skador som de ger upphov till, går gränsen för lungskador vid omkring 70 kPa och direkt dödliga skador kan uppkomma vid 180 kPa [56]. Dessa värden avser dock direkt tryckpåverkan, mot vilken den mänskliga kroppen är relativt tålig. Tertiära skador (då människor kastas iväg av explosionen) bedöms leda till dödsfall vid betydligt lägre tryck än 180 kPa. Byggnader har normalt en relativt låg trycktålighet, och skadas svårt eller rasar vid tryck på 15-40 kPa. 20 kPa bedöms vara ett representativt medelvärde för när byggnader skadas.

Samtantaget bedöms det lämpligt att dela upp konsekvensberäkningarna i två zoner, med hänsyn till de stora skillnaderna i trycknivåer som kan leda till dödlig påverkan, beroende på vilken effekt som studeras. Följande antaganden har gjorts vad gäller konsekvenserna:

- Inom det område där trycket överstiger 180 kPa antas 100 % av personerna omkomma.
- Inom det område där trycket hamnar i intervallet 20-180 kPa antas 20 % av personerna omkomma.

Skadeverkan vid varje explosionsscenario har därför delats upp i två delkonsekvenser, a och b, beroende på avstånd till trycknivåerna 180 respektive 20 kPa enligt Figur 20.



Figur 20. Skadeverkan från en explosion har delats upp i två zoner, i vilka sannolikheten att omkomma är olika.

Utifrån beräkningsgång i *Konsekvensanalys explosioner* [57] har avstånd, dit tryckvågen överstiger 180 respektive 20 kPa, tagits fram för de olika representativa dynamiska lastmängderna, vilka redovisas i

Tabell 14. Denna analys beaktar inte egendomsskador, vilka kan uppstå på ännu längre avstånd.

Tabell 14. Avstånd inom vilket personer antas omkomma för olika laddningsvikt av ADR-S klass 1 gods. Explosionen antas vid vägtransport vara så nära marken att man får full markreflexion, dvs halvsfärisk utbredning av luftstöt vågen.

Konsekvens	Representativ mängd gods	Avstånd $P \geq 180 \text{ kPa}$	Avstånd $P \geq 20 \text{ kPa}$
Liten explosion	150 kg	13 meter	41 meter
Mellanstor explosion	1 500 kg	28 meter	88 meter
Stor explosion	16 000 kg	62 meter	193 meter

D.3. ADR-S KLASS 2 – GASER

En viktig faktor för spridningen av en gas vid ett läckage är påverkan av vinden, både för scenarier med brandfarliga och giftiga gaser. De huvudsakliga konsekvenserna uppkommer i vindriktningen från utsläppet. Eftersom konsekvenserna drabbar ett mindre område reduceras frekvensen för respektive scenario med hänsyn till vilken ungefärlig spridningsvinkel som konsekvensområdet får.

Samtliga vindriktningar antas ha samma sannolikhet, vilket innebär att konsekvensområdets utbredning har samma sannolikhet i alla riktningar från läckaget.

D.4. ADR-S RISKGRUPP 2.1 – BRANDFARLIGA GASER

Vid beräkning av konsekvenserna av en farligt gods-olycka med utsläpp av brandfarlig gas (gasol) uppskattas det grovt att samtliga transporter utgörs av tankbilar, och att mängden gas i en tankbil är 25 ton.

Programvaran *Spridning Luft* [58] används för spridningsberäkningarna. Läckagestorleken har räknats fram utifrån det massflöde av gasol som anges i [18] för respektive storlek. För varje hålstorlek finns en ansatt sannolikhet.

Tabell 15. Framräknad läckagestorlek för gasol.

Läckagestorlek	Massflöde, Q	Läckagestorlek, Ø	Läckagestorlek, A
Litet	0,09 kg/s	0,32 cm	0,08 cm ²
Mellanstort	0,9 kg/s	1,03 cm	0,83 cm ²
Stort	17,9 kg/s	4,56 cm	16,4 cm ²

Vid beräkningarna har följande antaganden gjorts:

- Gasen antas vara propan (gasol).
- Hålet antas vara intryckt utifrån.
- En jetflamma antas vara horisontell.

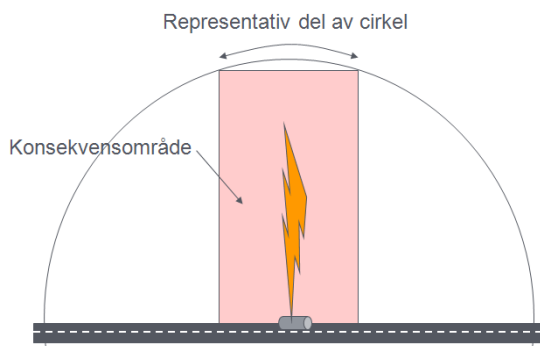
D.5. BLEVE

Konsekvenserna av en BLEVE beräknas enligt exempel 11.3.2 i *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor* [56]. Antagen mängd gasol är satt till 25 ton i en lastbil. Avståndet inom vilket man antas omkomma är beräknat till 170 m.

D.6. JETFLAMMA

En jetflamma kan uppstå om ett utsläpp av en brännbar gas antänds och förbränns direkt i anslutning till själva läckaget. En mycket kraftig stående flamma uppstår då när gasen trycks ut från kärlet.

Konsekvenserna av en jetflamma har beräknats utifrån exempel 11.3.3 i *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor* [56], där flammans längd och bredd beräknas. Beräkningsgång i *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis* [59] används sedan för att beräkna ett riskavstånd dit 50 % antas få dödliga skador av strålningen inom tiden $t = 10$ s. För frekvensreducering med hänsyn till att en jetflammas konsekvensområde inte är cirkulärt används en metod med en representativ del av en cirkel, enligt Figur 21.



Figur 21. Förhållandet mellan konsekvensområde och en representativ del av en cirkel för frekvensreducering i samband med jetflamma.

D.7. GASMOLNSEXPLOSION

En gasmolnsexplosion kan uppstå vid en fördröjd antändning av en utsläppt gasmassa som hunnit sprida sig och inte längre befinner sig under tryck. Konsekvensområdet beror på hur gasen sprids i omgivningen, vilket i sin tur beror på en mängd faktorer som vind, stabilitetsförhållanden, hinder, utströmmande flöde och densitet, med mera.

Vid en antändning förbränns hela den gasvolym som befinner sig inom brännbarhetsområdet. I det fysiska område där detta sker blir konsekvenserna mycket allvarliga med dödliga förhållanden. Utanför detta område förväntas dock konsekvenserna bli lindriga, men strålningspåverkan kan uppkomma.

Programvaran *Spridning Luft* [58] används för spridningsberäkningarna där avståndet till halva den undre brännbarhetsgränsen beräknas. Detta avstånd beräknas för att på ett konservativt sätt ta hänsyn till strålningspåverkan, som kan ske även utanför den gasvolym som förbränns.

Gasmolnsexplosionen beräknas utifrån ett stort läckage. Beräknat konsekvensområde approximeras med en cirkelsektor enligt Figur 21.

D.8. KONSEKVENSAVSTÅND ADR-S RISKGRUPP 2.1

Nedan sammanställs de framräknade konsekvensavstånden för ADR-S klass 2.1.

- BLEVE 170 meter
- Liten jetflamma 5 meter
- Medelstor jetflamma 17 meter
- Stor jetflamma 73 meter
- Gasmolnsexplosion 42 meter

D.9. ADR-S RISKGRUPP 2.3

Spridningsberäkningar har gjorts i programmen *Spridning Luft* och med *ALOHA* för totalt 6 scenarierna enligt Tabell 16. Redovisat konsekvensavstånd för respektive scenario utgörs genomgående av det högre värdet från simulering med de båda programmen. Indata till beräkningarna utgörs av underlag enligt Bilaga C och med en ytråhet på 0,5 m.

Tabell 16. Konsekvens avstånd för plym med giftig gas.

Utsläpp	Väderlek	Avstånd till LC _{50@30 min}	Spridningsvinkel
Litet	Stabilitetsklass D, 5 m/s	10 meter	45°
	Stabilitetsklass F, 1,5 m/s	30 meter	30°
Mellanstort	Stabilitetsklass D, 5 m/s	30 meter	45°
	Stabilitetsklass F, 1,5 m/s	150 meter	30°
Stort	Stabilitetsklass D, 5 m/s	135 meter	45°
	Stabilitetsklass F, 1,5 m/s	690 meter	30°

D.10. ADR-S KLAS 3

För brandfarliga vätskor gäller att skadliga konsekvenser för omgivningen kan uppkomma när vätskan läcker ut och antänds. Det avstånd, inom vilket personer förväntas omkomma direkt alternativt till följd av brandspridning till byggnader, antas vara där värmestrålningsnivån överstiger 15 kW/m². Det är en strålningsnivå som orsakar outhärdlig smärta efter kort exponering (cirka 2-3 sekunder) samt den strålningsnivå som bör understigas i minst 30 minuter utan att särskilda åtgärder vidtas i form av brandklassad fasad [35] [60].

De pölstorlekar som antas kunna bildas vid läckage av brandfarlig vätska har för olycka på väg antagits till 50 m² (*litet*), 200 m² (*mellanstort*) respektive 400 m² (*stort*). All brandfarlig vätska (bensin, diesel och E85) antas i beräkningarna utgöras av bensin, vilket bedöms vara konservativt.

Strålningsberäkningar har genomförts med hjälp av handberäkningar [35]. I Tabell 17 redovisas konsekvensområden inom vilka personer kan antas omkomma vid olika pölstorlekar.

Tabell 17. Avstånd till kritisk strålningsnivå på halva flammans höjd (15 kW/m²) för olika pölstorlekar.

Scenario	Pölbrand av varierande storlek	Avstånd till 15 kW/m ² från pölkant
Litet utsläpp	50 m ²	12 meter
Mellanstort utsläpp	200 m ²	23 meter
Stort utsläpp	400 m ²	30 meter

D.11. ADR-S KLASS 5

Två typer av olycksscenarier med påverkan på omgivningen har identifierats i samband med olyckor med oxiderande ämnen och organiska peroxider: Explosion och brand.

D.11.1.1. EXPLOSION

Konsekvenserna av en explosion i en last med ammoniumnitrat beror till stor del på mängden som deltar i explosionen. I de flesta fall kan man anta att det är tillgången på organiskt material (exempelvis fordonsbränsle) som är den begränsande faktorn. En normal lastbil antas medföra 400 liter diesel i tanken, vilket leder till att en ammoniumnitrat/dieselblandning kan bildas, som motsvarar upp till 4,1 ton trotyl [51]. Utifrån detta används sedan 4,1 ton trotyl som dimensionerande explosion för dessa scenarier, med samma beräkningsmetod som används för explosioner i klass 1.

Resultaten visar att personer i omgivningen omkommer inom drygt 30 meter, medan byggnader skadas inom drygt 120 meter.

D.11.1.2. BRAND

En brand som inkluderar ämnen i ADR-S klass 5 är mycket intensiv, eftersom dessa ämnen är brandunderstödjande. Grovt antas en sådan brand motsvara en stor pölbrand så som den beaktas inom ADR-S klass 3 ovan. Konsekvensavståndet blir därmed 30 meter.

BILAGA E. FREKVENSBERÄKNINGAR

För att kunna kvantifiera risknivån i området behövs ett mått på frekvensen för de skadescenarier som identifierats och bedömts kunna inträffa på den planerade järnvägssträckningen i höjd med studerat område. Denna frekvens beräknas enligt Trafikverkets (tidigare Banverkets) *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen* [61]. Därefter används händelseträdsmetodik för att bedöma frekvenserna för de scenarier som kan få konsekvensen att minst en person skadas allvarligt eller omkommer. Det bör påpekas att det är frekvensen för järnvägsolycka (antal olyckor per år) och inte sannolikheten som skattas med denna modell.

E.1. SANNOLIKHET FÖR URSPÅRNING

De indata som krävs för att kunna skatta frekvensen för järnvägsolycka är:

- Den studerade sträckans längd (km) som bestäms av den sträcka på vilken en olycka kan påverka planområdet. Studerad sträcka är i detta fall 1 km.
- Totalt antal tåg som passerar den studerade sträckan under den tidsperiod som skattningen avser (tåg/år) är cirka 20 450.
- Totalt antal vagnar som passerar den studerade sträckan under den tidsperiod som skattningen avser (vagnar/år). Persontågen antas i genomsnitt ha fem vagnar och godstågen 30 vagnar.
- Antal vagnaxlar per vagn, vilket antagits till 3 st.

E.1.1 Urspåring

Frekvenser för beräkning av sannolikhet för urspåring av tåg redovisas i Tabell 18 [61]:

Tabell 18. Ingående parametrar vid beräkning av sannolikhet för urspåring.

Identifierade olyckstyper för urspåring	Frekvens (per år)	Enhet
Rälsbrott	$5,00 \cdot 10^{-11}$	vagnaxelkm (godståg)
Solkurvor	$1,00 \cdot 10^{-5}$	spårkm
Spårlägesfel	$4,00 \cdot 10^{-10}$	vagnaxelkm (godståg)
Växel sliten, trasig	$5,00 \cdot 10^{-9}$	antal tågpassager
Växel ur kontroll	$7,00 \cdot 10^{-8}$	antal tågpassager
Vagnfel		
Persontåg	$9,00 \cdot 10^{-10}$	vagnaxelkm (persontåg)
Godståg	$3,10 \cdot 10^{-9}$	vagnaxelkm (godståg)
Lastförskjutning	$4,00 \cdot 10^{-10}$	vagnaxelkm (godståg)
Annan orsak	$5,70 \cdot 10^{-8}$	tågkm
Okänd orsak	$1,40 \cdot 10^{-7}$	tågkm (godståg)

E.1.2 Sammanstötningar

I denna grupp innefattas sammanstötningar mellan rälsburna fordon, som t.ex. sammanstötning mellan två tåg, mellan tåg och arbetsfordon etc. Sannolikheten för en sammanstötning med tåg på en linje antas vara så låg att den inte är signifikant [61] och kommer därför inte att beaktas i de fortsatta beräkningarna.

E.1.3 Plankorsningsolyckor

I höjd med planområdet finns inga plankorsningar.

E.1.4 Växling och rangering

I höjd med planområdet sker inget växlingsarbete eller rangering.

E.1.5 Resultat

Notera att vissa olyckstyper i Tabell 18 som kan resultera i en urspårning är specifikt kopplade till godstrafik, exempelvis vagnfel godståg och lastförskjutningar. Olycksfrekvenserna för dessa olyckstyper allokeras därmed enbart till händelsen urspårning godståg. Frekvensbidraget från olyckstyper som inte specifikt rör godståg fördelas genom att vikta för andelen tåg av respektive trafikslag som förekommer på sträckan enligt nedanstående exempel:

$$\varphi(\text{Godståg, rälsbrott}) = \varphi(\text{rälsbrott}) \cdot \text{Andel godståg}$$

$$\text{Andel godståg} = \frac{\text{Antal godståg}}{\text{Antal godståg} + \text{Antal persontåg}}$$

I Tabell 19 redovisas hur olycksfrekvenserna har fördelats över respektive trafikslag.

Tabell 19. Fördelning av olycksfrekvenser för respektive trafikslag.

Urspårning godståg	Frekvens (per år)
Vagnfel godståg	$\varphi(\text{vagnfel godståg})$
Lastförskjutning	$\varphi(\text{lastförskjutning})$
Okänd orsak	$\varphi(\text{okänd orsak})$
Spårlägesfel	$\text{Andel godståg} \cdot \varphi(\text{spårlägesfel})$
Solkurvor	$\text{Andel godståg} \cdot \varphi(\text{solkurvor})$
Växel sliten, trasig	$\text{Andel godståg} \cdot \varphi(\text{växel sliten, trasig})$
Växel ur kontroll	$\text{Andel godståg} \cdot \varphi(\text{växel ur kontroll})$
Rälsbrott	$\text{Andel godståg} \cdot \varphi(\text{rälsbrott})$
Annan orsak	$\text{Andel godståg} \cdot \varphi(\text{annan orsak})$
Σ	$\varphi(\text{godståg})$
Urspårning persontåg	Frekvens (per år)
Vagnfel persontåg	$\varphi(\text{vagnfel persontåg})$
Solkurvor	$\text{Andel persontåg} \cdot \varphi(\text{solkurvor})$
Spårlägesfel	$\text{Andel persontåg} \cdot \varphi(\text{spårlägesfel})$
Växel sliten, trasig	$\text{Andel persontåg} \cdot \varphi(\text{växel sliten, trasig})$
Växel ur kontroll	$\text{Andel persontåg} \cdot \varphi(\text{växel ur kontroll})$
Rälsbrott	$\text{Andel persontåg} \cdot \varphi(\text{rälsbrott})$
Annan orsak	$\text{Andel persontåg} \cdot \varphi(\text{annan orsak})$
Σ	$\varphi(\text{persontåg})$

E.1.6 Avstånd från spårmitt för urspårande vagnar

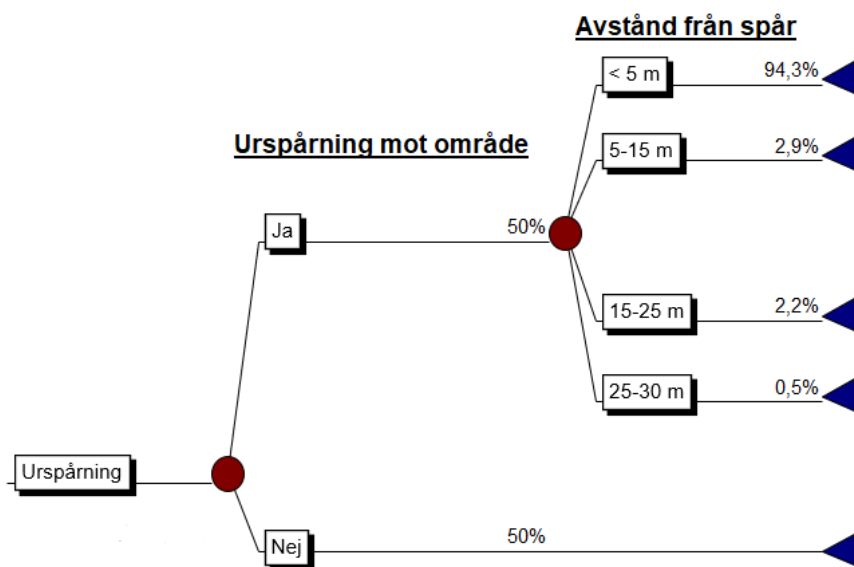
Alla urspårningar leder inte till negativa konsekvenser för omgivningen. Huruvida personer i omgivningen skadas eller ej beror på hur långt ifrån rälsen en vagn hamnar efter urspårning. I Tabell

20 nedan redovisas fördelningen för avstånd från spårmittpunkt som vagnar förväntas hamna efter urspårning, fördelat på trafikandelar (21 % persontåg och 79 % godståg) [61].

Tabell 20. Avstånd från spårmittpunkt (m) för urspårade vagnar.

Avstånd från spårmittpunkt	0-1 m	1-5 m	5-15 m	15-25 m	>25 m
Resandetåg	77,53%	17,98%	2,25%	2,25%	0,00%
Godståg	70,33%	19,78%	5,49%	2,20%	2,20%
Viktat medel efter andel	75,99%	18,36%	2,94%	2,24%	0,47%

Sannolikheten att en vagn hamnar så långt som 25 meter från spårmittpunkt vid urspårning är mycket liten [62]. Enligt Tabell 20 ovan 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 resandetåg för att beräkna riskbidraget från urspårande tåg. Ett händelseträd som beskriver detta presenteras i Figur 22.



Figur 22. Händelseträd med sannolikheter för urspårningar.

E.2. JÄRNVÄGSOLYCKA MED TRANSPORT AV FARLIGT GODS

Farligt gods är ett samlingsbegrepp för farliga ämnen och produkter som har sådana egenskaper att de kan skada människor, miljö och egendom om det inte hanteras rätt under transport. Transport av farligt gods omfattas av regelsamlingar [12] som tagits fram i internationell samverkan. Farligt gods på järnväg delas in i nio olika klasser enligt RID-S-systemet där kategorisering baseras på den dominerande risken som finns med att transportera ett visst ämne eller produkt. Detta innebär inte att ett ämne inte kan ge upphov till typkonsekvenser motsvarande de för en annan klass. T.ex. transporteras vätefluorid under klass 8 eftersom dess primära risk utgörs av frätskador. Ämnet är dock mycket giftigt och kan ge upphov till dödliga konsekvenser över relativt stora avstånd. I Tabell 21 nedan redovisas klassindelningen av farligt gods och en beskrivning av vilka konsekvenser som kan uppstå vid olycka.

Tabell 21. Kortfattad beskrivning av respektive farligt gods-klass samt konsekvensbeskrivning.

RID-S	Kategori	Beskrivning	Konsekvenser
Klass 1	Explosiva ämnen och föremål	Sprängämnen, tändmedel, ammunition, etc. Maximal tillåten mängd explosiva ämnen på väg är 16 ton [12].	Orsakar tryckpåverkan, brännskador och splitter. Stor mängd massexplosiva ämnen ger skadeområde med 200 m radie (orsakat av tryckvåg). Personer kan omkomma både inomhus och utomhus. Övriga explosiva ämnen och mindre mängder massexplosiva ämnen ger enbart lokala konsekvensområden. Splitter och annat kan vid stora explosioner orsaka skador på uppemot 700 m [29].
Klass 2	Gaser	Inerta gaser (kväve, argon etc.) oxiderande gaser (syre, ozon, etc.), brandfarliga gaser (acetylen, gasol etc.) och giftiga gaser (klor, svaveldioxid etc.).	Förgiftning, brännskador och i vissa fall tryckpåverkan till följd av giftigt gasmoln, jetflamma, gasmolnsexplosion eller BLEVE. Konsekvensområden över 100-tals m. Omkomna både inomhus och utomhus.
Klass 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 30 m från en pöl. Rök kan spridas över betydligt större område. Bildandet av vätskepöl beror på vägutformning, underlagsmaterial och diken etc.
Klass 4	Brandfarliga fasta ämnen	Kiseljärn (metallpulver), karbid och vit fosfor.	Brand, strålning och giftig rök. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till närområdet kring olyckan.
Klass 5	Oxiderande ämnen, organiska peroxider	Natriumklorat, väteperoxider och kaliumklorat.	Tryckpåverkan och brännskador. Självantändning, explosionsartat brandförlopp om väteperoxidlösningar med koncentrationer > 60 % eller organiska peroxider som kommer i kontakt med brännbart organiskt material. Konsekvensområden för tryckvågor uppemot 120 m.
Klass 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.
Klass 7	Radioaktiva ämnen	Medicinska preparat. Vanligtvis små mängder.	Utsläpp radioaktivt ämne, kroniska effekter, mm. Konsekvenserna begränsas till närområdet.
Klass 8	Frätande ämnen	Saltsyra, svavelsyra, salpetersyra, natrium- och kaliumhydroxid (lut). Transporteras vanligtvis som bulkvara.	Utsläpp av frätande ämne. Dödliga konsekvenser begränsade till närområdet [28]. Personskador kan uppkomma på längre avstånd.
Klass 9	Övriga farliga ämnen och föremål	Gödningsämnen, asbest, magnetiska material etc.	Utsläpp. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till kontakt med själva olycksfordonet eller dess omedelbara närhet.

Enligt tidigare resonemang bedöms inte alla farligt gods-klasser relevanta vid uppskattning av risknivån på det aktuella området. Således är de RID-S-klasser som beaktas mer detaljerat i riskuppskattningen därför explosiva ämnen (klass 1), gaser (klass 2), brandfarliga vätskor (klass 3) samt oxiderande ämnen och organiska peroxider (klass 5).

Frekvensen för en olycka med godståg är enligt avsnitt E.1.5 beräknad till $1,63 \cdot 10^{-3}$ per år. I genomsnitt omfattar en urspårning 3,5 vagnar [63]. Sannolikheten att en eller flera av de inblandade godsvagnarna i en urspårning innehåller farligt gods är då:

$1-(1-X)^{3,5}$

Där X är andelen vagnar med farligt gods som framförs på sträckan per år (konfidentiell uppgift).

E.3. OLYCKSSCENARIER – HÄNDELSETRÄDSMETODIK

I denna del av bilagan redovisas frekvensberäkningar som genomförts med hjälp av händelseträdsmetodik.

E.3.1 RID-S-klass 1 – Explosiva ämnen

Inom EU är den maximalt tillåtna mängden som får transporteras på väg 16 ton, och små mängder begränsas till 50-100 kg. Dock tillåts större mängder på järnväg, varför 25 ton antagits som maximal transportmängd.

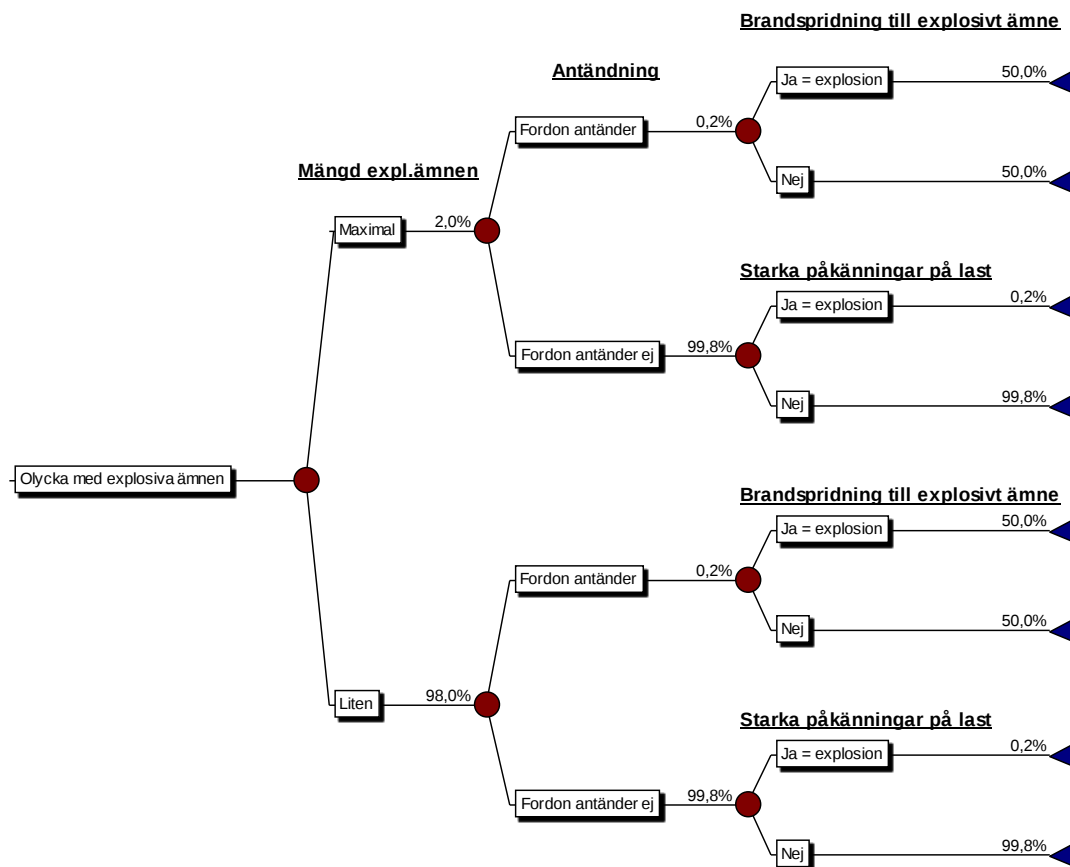
Transport av RID-S klass 1 på järnväg förekommer i väldigt liten mängd. RID-S klass 1 utgjorde under tidsperioden 2006-2010 endast 0,015 % av den totala transportmängden farligt gods i Sverige som helhet [64]. Det finns flera olika transportörer och de flesta hänvisar till sekretess, dels av företagsmässiga och dels av säkerhetsmässiga skäl. Enligt samtal med ett av de största transportbolagen på järnväg utfördes endast tre transporter med klass 1 i Sverige under hela 2011. Ingen uppgift om total mängd explosiver finns att tillgå eftersom även emballage och annat räknas in i transportvikten. Uppskattningsvis var ingen av de tre transporterna på mer än 500 kg explosivt ämne [65].

En grov uppskattning är att laster på 25 ton utgör cirka 2 % av antalet transporter med RID-S klass 1, och övriga 98 % antas i beräkningarna förenklat utgöra mindre laster om 150 kg.

En explosion antas kunna inträffa dels om olyckan leder till brand i vagn, dels om de mekaniska påkänningarna på vagnen blir tillräckligt stora, d.v.s. om lasten utsätts för en stöt. Eftersom det finns detaljerade regler för hur explosiva ämnen ska förpackas och hanteras vid transport görs bedömningen att det är liten sannolikhet för att olycka vid transport av explosiva ämnen leder till omfattande skador på det transporterade godset på grund av påkänningar.

Sannolikheten för att en vagn inblandad i en olycka ska börja brinna uppskattas till 0,2 %, vilket är hälften av motsvarande sannolikhet för vägolycka [32] [33]. Därefter antas ett konservativt värde på sannolikheten för att branden sprider sig till det explosiva ämnet till 50 % [20].

Med stöt avses sådan stöt som har den intensitet och hastighet att den kan initiera en detonation. Det krävs kollisionshastigheter som uppgår till flera hundra m/s [36]. Till skillnad från i fallet med brand så saknas kunskap om hur stort krockvåld som behövs för att initiera detonation i det fraktade godset. Som ett jämförelsevärde att förhålla sig till anger HMSO [11] att sannolikheten för en stötinitierad detonation vid en kollision är mindre än 0,2 %. I Figur 23 redovisas möjliga scenarier.



Figur 23 Händelseträd med sannolikhet för olycka med explosiva ämnen.

E.3.2 RID-S-klass 2 – Gaser

Baserat på transportflödena som uppmätts 2006 [66], antas 87 % av transporterna inom RID-S-klass 2 utgöras av brandfarliga gaser. 13 % antas vara giftiga gaser.

Sannolikheten för att en olycka leder till läckage av farligt gods antas variera beroende på om det rör sig om en tunn- eller tjockväggig vagn. Gaser transporteras vanligtvis tryckkondenserade i tjockväggiga tryckkärl och tankar med hög hållfasthet. Sannolikheten för stort respektive litet läckage (punktering) som följd av en olycka är för tjockväggiga vagnar 1 % i båda fallen [61]. Sannolikheten för inget läckage är följaktligen 98 %.

För *brännbara* gaser bedöms konsekvenserna för människor bli påtagliga först sedan utsläppet antänts. Tre scenarier kan antas uppstå beroende av typ av antändning. Om den trycksatta gasen antänds omedelbart vid läckage uppstår en jetflamma. Om gasen inte antänds direkt kan det uppstå ett brännbart gasmoln som sprids med vinden och kan antändas senare. Det tredje scenariot, BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), är mycket ovanligt och kan endast inträffa om vagnen saknar säkerhetsventil och tanken utsätts för en omfattande brand. En BLEVE kan då uppkomma om tanken utsätts för kraftig brandpåverkan under en längre tid.

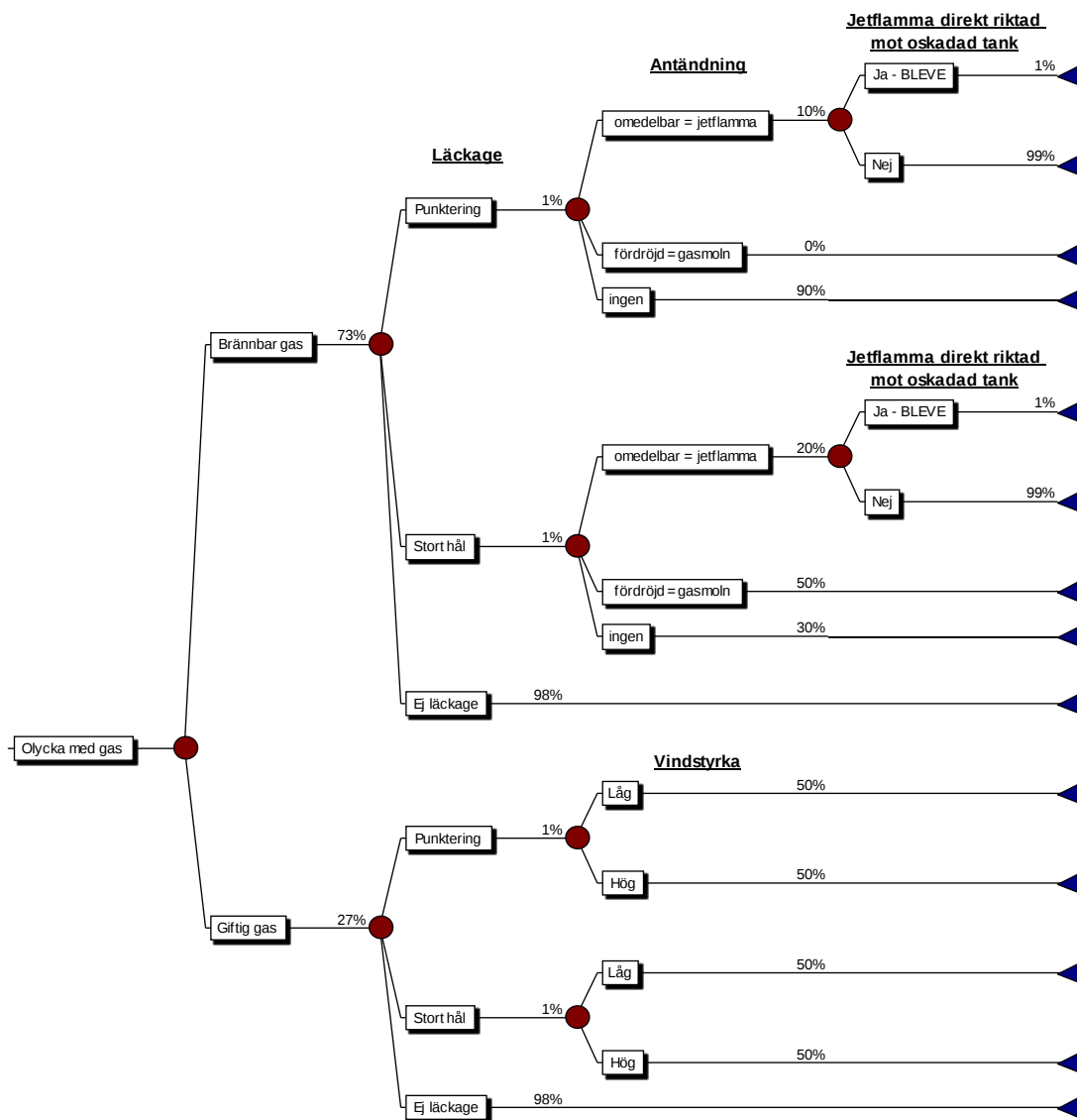
För ett litet utsläpp brännbar gas (punktering av vagn) ansätts följande sannolikheter [67] för:

- omedelbar antändning (jetflamma): 10 %
- fördröjd antändning (brinnande gasmoln): 0
- ingen antändning: 90 %

För ett stort utsläpp (stort hål) är motsvarande siffror 20 %, 50 % och 30 % [67]. En BLEVE antas enbart kunna uppstå i intilliggande tank om eventuell jetflamma är riktad direkt mot tanken under en

lång tid. Vid fördröjd antändning av den brännbara gasen antas gasmolnet driva iväg med vinden och därför inte påverka intilliggande tankar vid antändning. Sannolikheten för att en BLEVE ska uppstå till följd av jetflamma är mycket liten. Konservativt ansätts 1 %.

För olycka med *giftiga gaser* påverkar vindstyrkan utsläppets konsekvenser på omgivningen. Vindstyrkan antas vara antingen hög (8 m/s) eller låg (3 m/s) med lika stor sannolikhet. I Figur 24 redovisas olika scenarier för en olycka med gas.

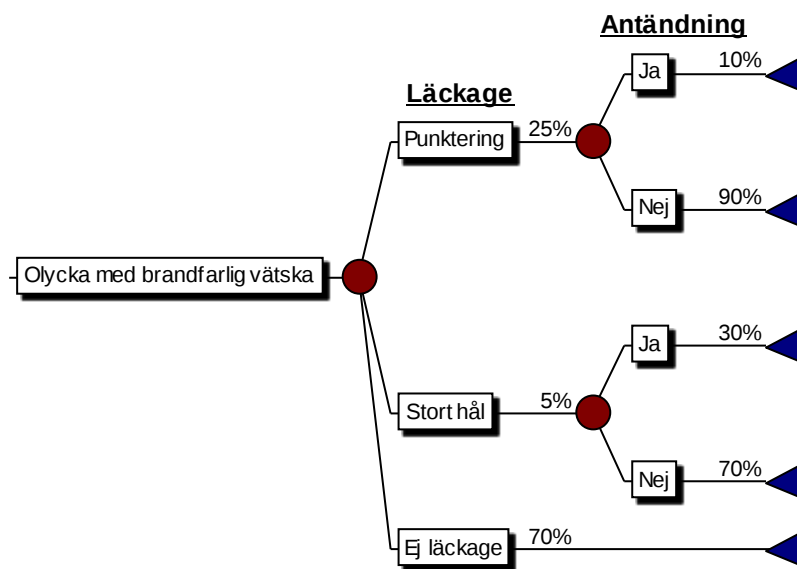


Figur 24. Händelseträd för farligt gods-olycka med gas i lasten.

E.3.3 RID-S-klass 3 – Brandfarliga vätskor

För brandfarliga vätskor gäller att skadliga konsekvenser kan uppstå först när vätskan läcker ut och antänds. Brandfarliga vätskor antas oftast transporteras i tunnväggiga tankar, och sannolikheten för ett litet läckage (punktering) respektive stort läckage vid urspårning är 25 % och 5 % [61]. I 70 % av fallen förekommer inget läckage.

Sannolikheten för att ett litet respektive stort läckage av brandfarliga vätskor på järnväg ska antändas antas vara 10 % respektive 30 % [61]. I Figur 25 redovisas olika scenarier för en olycka med brandfarlig vätska. Scenariot stor pölbrand bedöms som mycket konservativt om underlaget vid järnvägsbanken består av makadam som är ett lättgenomsläppligt material, vilket försvårar bildandet av pölar vid utsläpp.



Figur 25. Händelseträd för farligt gods-olycka med brandfarlig vätska i lasten.

E.3.4 RID-S-klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

Oxiderande ämnen brukar vanligtvis inte leda till personskador, förutom om de kommer i kontakt med brännbart, organiskt material (t.ex. bensen, motorolja etc.). Blandningen kan då leda till självantändning och kraftiga explosionsförlopp. Det är dock inte samtliga oxiderande ämnen som kan självantända. Vattenlösningar av väteperoxider med över 60 % väteperoxid bedöms kunna leda till kraftiga brand- och explosionsförlopp och detsamma gäller för organiska peroxider. Vattenlösningar av väteperoxider med mindre än 60 % väteperoxid bedöms däremot inte kunna leda till explosion.

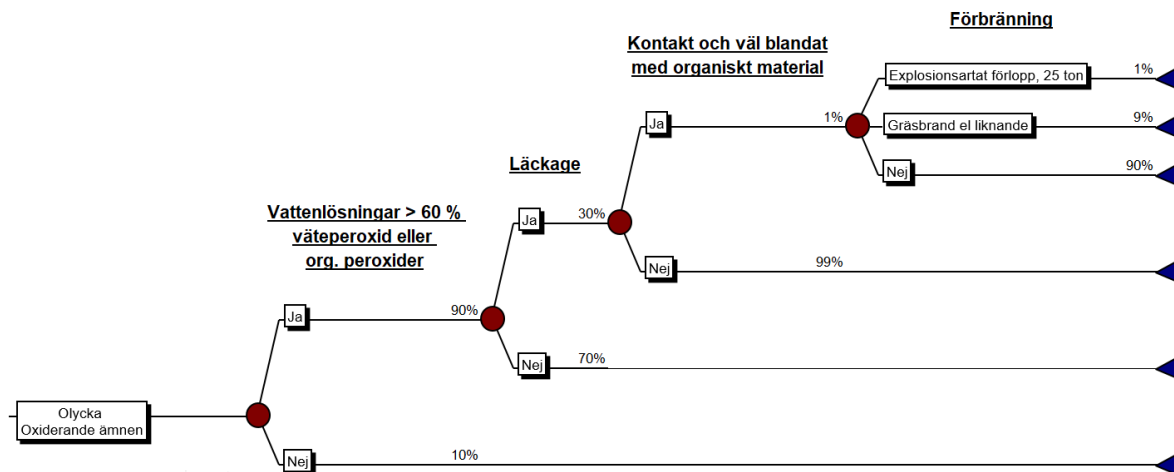
Oxiderande ämnen är brandbefrämjande ämnen som vid avgivande av syre (oxidation) kan initiera brand eller understödja brand i andra ämnen, t.ex. brand i vegetation kring banvallen. Explosion kan inträffa i vissa fall.

Vissa organiska peroxider är så känsliga att de endast får transporteras under temperaturkontrollerade förhållanden. Dessa ämnen får ej transporteras på järnväg enligt RID.

Transportstatistik [64] anger att 93 % av transporterarna i RID-S-klass 5 utgörs av oxiderande ämnen, och 7 % av organiska peroxider. En huvuddel av de oxiderande ämnen som transporteras i Sverige bedöms kunna självantända explosionsartat vid kontakt med organiskt material. Utifrån detta antas 90 % av transporterarna med klass 5 kunna leda till explosionsartade förlopp.

Oxiderande ämnen antas bli transporterade i tunnväggiga vagnar och sannolikheten för läckage är då 30 % (se ovan i avsnitt E.3.3 avseende litet respektive stort läckage). Sannolikheten för att det utläckta ämnet ska komma i kontakt med väl blandat och organiskt material har i aktuellt fall antagits till 1 %

[20]. Givet att blandning skett antas en antändning uppstå med sannolikheten 10 %. 10 % av fallen då blandningen antänt antas gå till detonation, medan resterande 90 % antas utvecklas till en kraftig brand. I Figur 26 redovisas olika scenarier för en olycka med oxiderande ämnen.



Figur 26. Händelsetråd för farligt gods-olycka med oxiderande ämnen i lasten.

E.4. ANPASSNING AV SANNOLIKHETEN AVSEENDE KONSEKVENSAVSTÅND

För individriskberäkningarna görs en frekvensreducering med avseende på att vissa scenarier har konsekvensavstånd som inte sträcker sig över hela den studerade sträckan. En specifik plats drabbas bara av olyckans konsekvenser om den inträffar på en viss sträcka i närheten. Längden på denna sträcka antas vara det uppskattade konsekvensavståndet multiplicerat med en faktor 2. Detta värde dividerat med den totala studerade sträckan ger därmed en frekvensreduktionsfaktor för respektive scenario.

Även för samhällriskberäkning anpassad till planområdet tillämpas en typ av frekvensanpassning. Konsekvenserna i antal döda uppskattas utifrån att olyckan inträffar så att konsekvenserna riktar mot planområdet (exempelvis att jetflamman eller utsläppet är riktat mot planområdet). Därför kan frekvensen i samhällriskberäkning anpassad till planområdet halveras då jetflamman (med flera) som är riktade bort från planområdet inte ska bidra till grupprisken för planområdet. Förfarandet bedöms vara konservativt, då vissa scenarier har ett spridningsområde (andel av cirkulärt område) som är mindre än 50 % - vilket de i praktiken nu får. För olycksscenarioer med cirkulärt konsekvensområde (ex. explosioner) görs ingen sådan reduktion.

BILAGA F. KONSEKVENSBERÄKNINGAR

De riskmått som används i denna riskbedömning är individrisk och samhällsrisk. Indata till beräkningar är bl.a. avståndet inom vilket personer antas omkomma, med avseende på respektive skadescenario.

Alla konsekvensavstånd för olyckor med farligt gods har beräknats utifrån att olyckan inträffar mitt på spåret, från vilket alla konsekvensavstånd sedan uppskattas. Vid beräkning av mekanisk skada orsakad av urspårning har dock de urspårande vagnarnas avstånd från spårmitte beaktats.

F.1. MEKANISK SKADA VID URSPÅRNING

I samband med urspårningar antas dödlig påverkan uppstå på alla människor som befinner sig inom det avstånd på vilket tåget hamnar. Risker för mekanisk påverkan på människor eller byggnader är oberoende av om det rör sig om persontåg eller godståg. Riskerna begränsas till området närmast banan, cirka 25-30 m, vilket är det avstånd som urspårade vagnar i de flesta fall hamnar inom.

F.2. UPPSKATTADE KONSEKVENSER FÖR OLYCKOR MED FARLIGT GODS

Eftersom egenskaperna hos ämnena i de olika farligt gods-klasserna skiljer sig mycket från varandra har olika metoder använts för att uppskatta konsekvenserna för de scenarier som beskrivs i 0. Litteraturstudier, simuleringsprogram och handberäkningar är exempel på olika metoder som har använts.

F.2.1 RID-S-klass 1 – Explosiva ämnen

Den påverkan som kan uppkomma på människor till följd av tryckvågor kan delas in i direkta och indirekta skador. Vanliga direkta skador är spräckt trumhinna eller lungskador. De indirekta skadorna kan uppstå antingen då människor kastas iväg av explosionen (tertiära), eller då föremål (splitter) kastas mot människor (sekundära) [55].

Sannolikheten för en individ att träffas av splitter är låg, och antalet omkomna till följd av splitterverkan bedöms därför bli litet. Sammantaget bedöms riskbidraget från splitterverkan vara försumbart. Vad gäller trycknivåer, och de direkta skador som de ger upphov till, går gränsen för lungskador vid omkring 70 kPa och direkt dödliga skador kan uppkomma vid 180 kPa [56]. Dessa värden avser dock direkt tryckpåverkan, mot vilken den mänskliga kroppen är relativt tålig. Tertiära skador (då människor kastas iväg av explosionen) bedöms leda till dödsfall vid betydligt lägre tryck än 180 kPa. Byggnader har normalt en relativt låg trycktålighet, och skadas svårt eller rasar vid tryck på 15-40 kPa. 20 kPa bedöms vara ett representativt medelvärde för när byggnader skadas.

Sammantaget bedöms det lämpligt att dela upp konsekvensberäkningarna i två zoner, med hänsyn till de stora skillnaderna i trycknivåer som kan leda till dödlig påverkan, beroende på vilken effekt som studeras. Följande antaganden har gjorts vad gäller konsekvenserna:

- Inom det område där trycket överstiger 180 kPa antas 100 % omkomma.
- Inom det område där trycket uppgår till 20-180 kPa antas 20 % omkomma.

Utifrån beräkningsgång i *Konsekvensanalys explosioner* [57] har avstånd, dit tryckvågen överstiger 180 respektive 20 kPa, beräknats för de olika representativa dynamiska lastmängderna, vilka redovisas i Tabell 22. Denna analys beaktar inte egendomsskador, vilka kan uppstå på ännu längre avstånd.

Tabell 22. Avstånd inom vilket personer antas omkomma för olika laddningsvikt av RID-S klass 1 gods. Explosionen antas vara så nära marken att man får full markreflexion, dvs halvsfärisk utbredning av luftstöt vågen.

Konsekvens	Representativ mängd gods	Avstånd $P \geq 180 \text{ kPa}$	Avstånd $P \geq 20 \text{ kPa}$
Liten explosion	150 kg	13 meter	41 meter
Stor explosion	25 000 kg	74 meter	221 meter

F.2.2 RID-S-klass 2 – Gaser

Gaser indelas i brännbara, inerta och giftiga. Det är endast de brännbara (RID-S-klass 2.1) och giftiga gaserna (RID-S-klass 2.3) som antas kunna innebära dödliga konsekvenser för omgivningen vid olycka.

Brännbar gas, RID-S-klass 2.1

Konservativt antas att det är tryckkondenserad gasol i samtliga vagnar, eftersom gasol har en låg brännbarhetsgräns, vilket antas medföra att antändning kommer att kunna inträffa på ett längre avstånd från olycksplatsen. Mängden gas i en järnvägsvagn antas till cirka 40 ton [68].

Utsläppsstorlekarna (för jetflamma och gasmoln) antas till: punktering (hålstorlek 20 mm) och stort hål (hålstorlek 100 mm) [69]. För respektive utsläppsstorlek beräknas, med simuleringsprogrammet *Gasol* [70], dels eventuell jetflammas längd vid omedelbar antändning, dels det brännbara gasmolnets volym samt området som påverkas vid en BLEVE. För jetflamma och brinnande gasmoln varierar skadeområdet med läckagestorlek, direkt alternativt fördröjd antändning samt vindhastighet. Beroende på om läckage inträffar i tanken i gasfas, i gasfas nära vätskefas eller i vätskefas kan utsläppets storlek och konsekvensområde variera. De värsta konsekvenserna bedöms uppstå om utsläppet sker nära vätskeytan och därför antas det konservativt att detta är fallet.

För värmestrålning antas en rimlig kritisk nivå där människor förväntas omkomma vara 15 kW/m^2 (vilket orsakar outhärdlig smärta efter kort exponering).

De indata som använts i *Gasol* för att simulera konsekvensområden för jetflamma och gasmoln presenteras nedan:

- Lagringstemperatur: 15°C
- Lagringstryck: 7 bar övertryck
- Utströmmingskoefficient (Cd): 0,83 (Rektangulärt hål med kanterna fläktat utåt)
- Tankdiameter: 2,5 m (jvg)
- Tanklängd: 19 m (jvg)
- Tankfyllnadsgrad: 80 %
- Tankens vikt tom: 50 000 kg
- Designtryck: 15 bar övertryck
- Bristningstryck: $4 \cdot \text{designtrycket}$
- Lufttryck: 760 mmHg
- Omgivningstemperatur: 15°C
- Relativ fuktighet: 50 %
- Molnighet: Dag och klart
- Omgivning: Många träd, häckar och enstaka hus (tätortsförhållanden)

I Tabell 23 visas de avstånd inom vilka personer antas omkomma för respektive scenario vid olika typer av utsläpp. För jetflamma och brinnande gasmoln blir inte skadeområdet cirkulärt runt olycksplatsen utan mer plymformat. För brinnande gasmoln antas det att gasmolnet antänds då det fortfarande befinner sig vid tanken och inte har hunnit spädas ut ytterligare. Det brännbara molnets volym bedöms där vara som störst. Det skadedrabbade området, med avseende på brinnande

gasmoln, uppskattas vara molnets storlek plus avståndet där tredje gradens brännskada kan uppnås från gasmolnsfronten.

Tabell 23. Konsekvensavstånd där personer förväntas omkomma, för olika scenarier med brännbara gaser.

Scenario	Källstyrka	Antändning	Konsekvensavstånd
BLEVE	-	-	Cirkulärt 200 m radie
Punktering	2,4 kg/s	Jetflamma	18 m
		Gasmoln	18 m
Stort hål	60 kg/s	Jetflamma	91 m
		Gasmoln	21 m

Giftig gas, RID-S-klass 2.3

Den icke brännbara men giftiga gasen antas vara klor som är en av de giftigaste gaserna som transporteras på järnväg i Sverige. Att använda klor som representativt ämne bedöms vara konservativt, jämfört med exempelvis ammoniak eller svaveldioxid. Med simuleringsprogrammet *Spridning luft* [71] beräknas storleken på det område där koncentrationen klor antas vara dödlig (utomhus). Använt gränsvärde för dödliga skador (LC_{50}^2) för klor är 250 ppm.

Mängden i en järnvägsvagn antas till 65 ton [71]. Utsläppsstorlekarna uppskattas till litet läckage (punktering 0,45 kg/s) och stort läckage (stort hål 112 kg/s) [71].

Gasens spridning beror bland annat på vindstyrka, bebyggelse och tid på dygnet. *Spridning luft* visar spridningskurvor och uppskattningar av hur stor andel av befolkningen inom området som förväntas omkomma. Denna andel avtar med avståndet både i längd med och vinkelrätt mot gasmolnets riktning, se Tabell 24.

De indata som använts i *Spridning luft* för att simulera konsekvensområden för utsläpp av giftig gas presenteras nedan. Vindstyrkan kommer att varieras från 3-8 m/s och simuleringar kommer att göras med olika stora utsläppsmängder, men i övrigt hålls faktorerna konstanta:

- Kemikalie: Klor
- Emballage: Järnvägsvagn (65 000 kg)
- Bebyggelse: Bebyggt
- Lagringstemperatur: 15°C
- Omgivningstemperatur: 15°C
- Molnighet: vår, dag och klart

Tabell 24. Konsekvensavstånd där personer förväntas omkomma vid farligt godsolycka med giftig gas i lasten.

Scenario	Källstyrka	Vindstyrka	Konsekvensavstånd
Punktering	0,45 kg/s	3 m/s	38 m
		8 m/s	34 m
Stort hål	112 kg/s	3 m/s	755 m
		8 m/s	880 m

F.2.3 RID-S-klass 3 – Brandfarliga vätskor

För brandfarliga vätskor gäller att skadliga konsekvenser kan uppstå först när vätskan läcker ut och antänds. Det avstånd, inom vilket personer förväntas omkomma direkt alternativt som följd av brandspridning till byggnader, antas vara där värmestrålningsnivån överstiger 15 kW/m², vilket är en

² Värden för människa exponerad via inhalation under 30 minuter.

strålningsnivå som orsakar outhärdlig smärta efter kort exponering (cirka 2-3 sekunder) samt den strålningsnivå som bör understigas i minst 30 minuter utan att särskilda åtgärder vidtas i form av brandklassad fasad [69].

Vid beräkning av konsekvensen av en farligt gods-olycka med brandfarlig vätska antas tanken rymma bensen. Uppskattningsvis rymmer en järnvägsstank cirka 45 ton bensen. Vanligtvis är tankar dock uppdelade i mindre fack, och därför är sannolikheten för att all bensen läcker ut mycket liten. Beroende på utsläppsstorleken antas olika stora pölar med brandfarlig vätska bildas, vilket leder till olika mängder värmestrålning. Ett stort läckage antas bilda en 400 m² pöl medan en punktering grovt antas bilda en 100 m² pöl.

Strålningsberäkningarna har genomförts med hjälp av handberäkningar. Använda formler och samband är etablerade och har använts under många år vid bedömning av olika typer av brandförlopp [72].

I Tabell 25 redovisas skadeområden inom vilka personer kan omkomma vid olika stora pölbränder. Eftersom strålningsberäkningarna utgår från pölens kant är det viktigt att även räkna med pölradien för att få det aktuella avståndet med utgångspunkt från olycksplatsen, eftersom den brandfarliga vätskan kan spridas över ett relativt stort område beroende på topografi med eventuella diken osv. I detta fall antas konservativt att pölen breddas ut cirkulärt med centrum vid olycksplatsen på spåret.

Tabell 25. Skadedrabbat område, inom vilket personer förväntas omkomma, för olika scenarier vid farligt godsolycka med brandfarlig vätska i lasten.

Scenario	Pölradie	Avstånd från pölkant till kritisk strålningsnivå	Konsekvensområde
Liten pölbrand bensen (100 m ²)	5,6 m	17 m	22 m
Stor pölbrand bensen (400 m ²)	11 m	29 m	40 m

F.2.4 RID-S-klass 5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider

Vid olycka med oxiderande ämne antas personer i omgivningen kunna omkomma om det oxiderande ämnet kommer i kontakt med organiskt material och ger upphov till förbränning. Förbränning antas leda till explosionsartade förlopp alternativt till kraftiga bränder i vegetation eller liknande i banvallens närhet.

Vid transport kan en vagn med 25 ton gods av RID-S-klass 5 vid urspårning kollidera med en vagn innehållande någon form av brännbart ämne som t.ex. bensen. Den blandning som då bildas kan motsvara 25 ton massexplosiv vara och leda till samma typ av konsekvenser som vid olycka med massexplosiva varor [20], se vidare avsnitt E.3.1.

Om det utläckande godset inte exploderar utan istället fungerar brandunderstödjande och bidrar till vegetationsbrand eller liknande antas att konsekvensområdet blir liknande det för stor pölbrand enligt avsnitt E.3.3.

Tabell 26. Konsekvensuppskattningar oxiderande ämnen och organiska peroxider.

Scenario	Avstånd till dödliga förhållanden
Explosion 25 ton	250 m
Gräsbrand etc.	40 m

F.3. UPPSKATTNING AV ANTAL OMKOMNA I RESPEKTIVE SCENARIO

För att uppskatta antalet omkomna i respektive olycksscenario, enligt avsnitt E.3, multipliceras aktuellt konsekvensområde, enligt avsnitt F.2, med den persontäthet som antagits i området, enligt avsnitt 4.1.2. Samtliga personer inom den area som utsätts för dödliga konsekvenser antas omkomma i grundberäkningen.

BILAGA G. SKYDDSFAKTORER

Vid beräkningar av samhällsrisk för det aktuella planområdet och omnejd har skyddsfaktorer vid inomhusvistelse använts. Skyddsgraderna bygger på erfarenhetsmässiga bedömningar och internationella vägledningar så som CPR 18E [21]. I nedanstående stycken ges mer ingående motiveringar av ansatta skyddsgrader vid inomhusvistelse.

Explosioner:

Tryckvågor från större explosionslaster kan medföra omfattande skador på byggnader belägna långt ifrån olyckans centrum. Människor som befinner sig inomhus bedöms vara relativt skyddade från direkt tryckpåverkan men kan förolyckas om delar av byggnaden rasar. Kollaps av moderna byggnader till följd av jordbävningar bedöms kunna medföra ett skadeutfall på 20–50 % omkomna och 50–80 % skadade [73]. Inom Zon 1 antas ingen skyddsfaktor vid inomhusvistelse. Byggnader inom Zon 2 och Zon 3 kommer delvis vara skyddade från tryckpåverkan av framförvarande byggnader inom Zon 1. Skyddsgraden vid inomhusvistelse inom Zon 2 och Zon 3 till följd av betydande explosioner på transportleder antas uppgå till 50 %.

Olycksscenarier med brännbara gaser:

Personer som vistas inomhus bedöms inledningsvis vara helt skyddade med avseende på infallande strålning från jetflammar. Om branden sprids och får fäste i byggnaden innan utrymningen har skett är antagandet mer osäkert. Gasmolnsexplosioner kan utöver strålningspåverkan även medföra tryckskador på omgivningen. Skyddsgraden vid inomhusvistelse inom Zon 1 med avseende på olycksscenarier med brännbara gaser antas i beräkningarna uppgå till 50 %.

BLEVE:

En BLEVE förväntas inte uppstå förrän efter cirka en halv till en timmes extern brandpåverkan på tanken. Fullskaliga tester har visat att oisolerade tankar med säkerhetsventiler kan klara 25 min av kraftig yttre upphettning innan en BLEVE inträffar [74]. Om tanken är värmeisolerad ökar den tiden till kring 90 minuter [74]. Vid BLEVE av en lagringstank med brandfarlig gas uppstår både tryck- och strålningspåverkan mot omgivningen. Strålningspåverkan bedöms dock utgöra den dimensionerande skadeeffekten med avseende på potentiellt konsekvensavstånd. Människor som befinner sig inomhus antas vara skyddade från den utfallande strålningen men skulle kunna förolyckas om delar av byggnadskroppen rasar. Möjligheten att hinna utrymma riskområdet bedöms även vara relativt god då olycksscenarioet inte inträffar momentant. Skyddsfaktorn vid en BLEVE vid inomhusvistelse inom ansätts till 90 %.

Utsläpp av giftig gas:

I CPR 18E bedöms individer som befinner sig inomhus i princip vara helt skyddade (avseende risken att omkomma) vid ett utsläpp av giftig gas [75]. För byggnader som ligger nära anslutning till transportleden och olycksplatsen bedöms dock föregående antagande underskatta konsekvensen baserat på erfarenhet av liknande fall. Skyddsfaktorn vid inomhusvistelse inom Zon 1 avseende utsläpp av giftig gas antas konservativt i beräkningarna endast uppgå till 50 %. Inom Zon 2 och Zon 3 antas skyddsgraden vid inomhusvistelse med avseende på utsläpp av giftig gas öka till 95 %.

Pölbränder:

Personer som vistas inomhus bedöms inledningsvis vara helt skyddade med avseende på infallande strålning från pölbränder. Om branden sprids och får fäste i byggnaden innan utrymningen har skett är antagandet mer osäkert. I beräkningarna ansätts en 75 %-ig skyddsgrad vid inomhusvistelse inom Zon 1 med avseende på olycksscenarioer som medför pölbrand.

BILAGA H. REFERENSER

- [1] Länsstyrelsen Hallands län, "Riskanalys av farligt gods i Hallands län, Meddelande 2011:19," 2011.
- [2] Jönköpings kommun, *Vårdaren 8 - Rosenlund Jönköpings kommun - Underlag för planbesked (Dnr: 2018:117)*, 2018.
- [3] Trafikverket, *Trafikuppgifter järnväg T18 och bullerprognos 2040.xlsx: Hämtad via <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/Samhallsekonomisk-analys-och-trafikanalys/Kort-om-trafikprognoser/>*, Trafikverket, 2018.
- [4] Trafikverket, *Nationella vägdatabasen (NVDB)*, Kontrollerad 2022-02-10.
- [5] Trafikverket, "Trafikuppräkningsstal - Väganalyser EVA och manuella beräkningar," 2020.
- [6] Trafikverket, *Kartor med trafikflöden - Avsnitt: 7410205 Län: L Vägnummer: 4*, Trafikverket, 2019.
- [7] Jönköpings Energi, *Tillståndsbevis för hantering av brandfarliga varor inom Vårdaren 6*, 2016-01-08.
- [8] Jönköpings kommun, *Kommun statistik: <https://jonkoping.maps.arcgis.com/home/index.html>*, Hämtad 2021-02-17.
- [9] OKQ8, *Säkerhetsdatablad Eldningsolja 1*, 2017.
- [10] Jönköpings Energi, *Uppgiften erhållen via telefonsamtal med David Svanström (anläggningsansvarig)*, 2022-01-17.
- [11] HMSO, London: Advisory Committee on Dangerous Substances Health & Safety Commission, 1991.
- [12] MSB, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2009.
- [13] MSB, *MSBFS (2016:9) föreskrifter om transport av farligt gods på järnväg (RID-S)*, 2016.
- [14] Anders Nilsson, "Statistik över RID-S-transporter på Jönköpingsbanan mellan åren 2015-2020.," Trafikverket, 20201.
- [15] TRAFKA, "Lastbilstrafik 2009-2015 Swedish national and international road goods transport," Trafikanalys, 2015.
- [16] Länsstyrelsens i Stockholms län, "Riskhänsyn vid ny bebyggelse intill vägar och järnvägar med transporter av farligt gods samt bensinstationer," 2000.
- [17] G. Davidsson, M. Lindgren och L. Mett, *Värdering av risk*, Statens Räddningsverk, 1997.
- [18] Räddningsverket, Statens räddningsverk, 1996.
- [19] S. Fredén, "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen," Banverket, Borlänge, 2001.

- [20] Stadsbyggnadskontoret Göteborgs Stad, "Översiktplan för Göteborg, fördjupad för sektorn TRANSPORTER AV FARLIGT GODS.," 1997.
- [21] CPR 18E, Guidelines for quantitative risk analysis 'Purple Book', 1999.
- [22] Länsstyrelsen i Skåne Län, *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen (RIKTSAM)*, 2007.
- [23] Väg- och transportforskningsinstitutet, *VTI rapport 387:1*, 1994.
- [24] IEC, *International Standard 60300-3-9*, Geneve: International Electrotechnical Commission, 1995.
- [25] ISO, *Risk management - Vocabulary*, Geneva: International Organization for Standardization, 2002.
- [26] B. Mattsson, *Riskhantering vid skydd mot olyckor*, Karlstad: Räddningsverket, 2000.
- [27] F. Nystedt, *Risikanalysmetoder*, Lund: Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2000.
- [28] VTI, *Konsekvensanalys av olika olyckscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg*, Väg- och transportforskningsinstitutet, 1994.
- [29] Räddningsverket, *Förvaring av explosiva varor*, Karlstad, 2006.
- [30] M. Gustavsson, *Muntligen 2008-01-10*, Räddningsverket, 2008.
- [31] H. Ingasson, A. Bergqvist, A. Lönnermark, H. Frantzich och K. Hasselrot, Statens Räddningsverk, 2005.
- [32] SIKA, Statens institut för kommunikationsanalys, 2001.
- [33] VTI, *Vägverkets informationssystem för trafiksäkerhet (VITS)*, Statens Väg- och trafikforskningsinstitut, 2003.
- [34] PIARC, PIARC - World Road Association, 1999.
- [35] Stadsbyggnadskontoret Göteborg, Stadsbyggnadskontoret Göteborg, 1997.
- [36] S. Lamnevik, *Explosivämneskunskap*, Institutionen för energetiska material Försvarets forskningsanstalt (FOA), 2000.
- [37] T. Daggård, *Muntligen 2010-01-11*, Orica Services Nora, 2008.
- [38] T. Pålsson, *Muntligen 2008-01-09*, Scanexplo EPC-Sverige. Torshälla, 2008.
- [39] MSB, *Trafikflöde på väg [Elektronisk]. Hämtad 2010-08-11*, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2010.
- [40] Dyno Nobel, BAE & Smålandslogistik, *Dyno Nobel Sweden AB, BAE Systems AB, Smålandslogistik AB*, 2007.
- [41] P. Jansson, *Muntligen 2008-01-16*, 2008.
- [42] S. Halmemies, Räddningsverket, 2000.
- [43] J. Wahlqvist, *Muntligen 2010-07-08*, Statoil, 2010.
- [44] G. Purdy , "Risk analysis of the transport of dangerous goods by road and rail," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 3 (1993), pp. 229-259, 1993.

- [45] R. Lindström, *Muntligen: 2010-07-08*, Statoil, 2010.
- [46] T. Gammelgåård, *Muntligen: 2010-07-09*, OKQ8, 2010.
- [47] SPI, *Leveranser bränslen per månad. [Elektronisk] Hämtad 2010-07-08*, Svenska Petroleum Institutet, 2010.
- [48] G. Marlair och Kordek, M-A, "Safety and security issues relating to low capacity storage of AN-based fertilizers," *Journal of Hazardous Materials*, pp. A123. pp 13-28, 2005.
- [49] L.-H. Karlsson, *Muntligen: 2008-03-18*, Yara International ASA, Köping, 2008.
- [50] J. Magnusson, *Muntligen 2008-03-18*, FOI, Tumba, 2008.
- [51] R. Forsén, FOI, 2009.
- [52] VROM, Ministerier van VROM, 2005.
- [53] J. Havai, *Muntligen 2008-04-18*, Yara AB, Köping, 2008.
- [54] V. Babrauskas och D. Leggett, "Thermal decomposition of ammonium nitrate," *Fire and Materials* 2019;1-19, 2019.
- [55] R. Forsén och S. Lamnevik, *Verkan av explosioner i det fria*, Stefan Lamnevik AB, 2010.
- [56] FOA, Försvarets forskningsanstalt, 1997.
- [57] S. Lamnevik, Stefan Lamnevik AB, 2006.
- [58] MSB, Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, 2010.
- [59] CCPS, Center for Chemical Process Safety, 1999.
- [60] BBR, Boverket, 2006.
- [61] S. Fredén, "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen," Banverket, Borlänge, 2001.
- [62] Banverket och Räddningsverket, "Säkra järnvägstransporter av farligt gods," 2004.
- [63] Väg- och transportforskningsinstitutet, "Om sannolikhet för järnvägsolyckor med farligt gods, VTI-rapport 387:2," 1994.
- [64] Trafik analys - TRAFKA, "Bantrafik 2010, Statistik 2011:24," 2011.
- [65] J. Pettersson, Interviewee, *Säkerhetsansvarig Green Cargo*. [Intervju]. 2012.
- [66] MSB, "Trafikflödet på järnväg – 2006.," 2013-08-09.
- [67] G. Purdy, "Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail," *Journal of Hazardous materials*, 33, 1993.
- [68] Svenska gasföreningen, "Åtgärder vid olyckor under gasoltransporter," 2004.
- [69] Väg- och transportforskningsinstitutet, "Konsekvensanalys av olika olycksscenarior vid transport av farligt gods på väg och järnväg, VTI-rapport 387:4," 1994.

- [70] Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, "Datorprogrammet Gasol".
- [71] RIB, Statens räddningsverk, *Spridning luft, Simulering av kemikalieutsläpp, version 1.1.0.19887, en del av Räddningsverkets informationsbank*.
- [72] Brandteknik, Lunds tekniska högskola, "Brandskyddshandboken, Rapport 3161," Lund, 2012.
- [73] Ministry of Transport and Water Management, CPR 14E: Methods for the calculation of physical effects, Haag: Ministry of Transport and Water Management (Nederländerna), 1996.
- [74] W. Townsend, "Comparison of thermally coated and uninsulated rail tank cars filled with LPG subjected to a fire environment.," U.S. Department of Transportation, federal railroad administration, Washington, 1974.
- [75] Advisory Council on Dangerous Substances , "Guidelines for quantitative risk assessment, "Purple book", CPR18E," Ministry of Transport (NL), 2005.



VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 50 000 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Så tar vi ansvar för framtiden.

wsp.com

WSP Sverige AB

121 88 Stockholm-Globen

Besök: Arenavägen 7

T: +46 10-722 50 00

wsp.com

