Riskutredning för kv. Svetsaren 1
Österling Bygg AB
Malung

Riskutredning avseende transporter av farligt gods

Status	**Slutlig**
Utgåva	**1**
Datum	**2026-03-16**
Uppdragsbeteckning	1515-00
Handlingsbeteckning	FT8-01
Skapad	2026-03-16
Sidor	50
Uppdragsansvarig	Martina Ardenmark
E-post uppdragsansvarig	martina@firetech.se
Handläggare	Oscar Mårtensson
E-post handläggare	oscar@firetech.se

Sammanfattning

Malung-Sälen önskar möjliggöra om- och tillbyggnad och ändrad verksamhet till utökad skolverksamhet (befintligt gymnasie), idrottshall med omklädningsrum och cafeteria i en byggnad med kontor, industri- samt gymnasieverksamhet i nära anslutning till E16 samt järnväg där transporter av farligt gods kan förväntas.

Malung-Sälen via Österling Bygg AB har givit FireTech Optimalt Brandskydd AB i uppdrag att genomföra en riskutredning för detaljplaneområdet för att utreda risknivåer och vilka eventuella åtgärder som krävs för att önskad bebyggelse ska vara möjlig.

Arbetet inleddes med en kvalitativ analys där förutsättningar för transporter av farligt gods förbi byggnaden kartlades och förutsättningar för planområdet identifierades. Därefter genomfördes en inledande riskvärdering och på grund av den stora mängden farligt gods som kan förväntas transporteras på E16 samt järnvägen, och det korta avståndet till transportlederna som råder, bedömdes risken initialt som hög. Med anledning av detta har en fördjupad kvantitativ riskanalys genomförts.

Resultaten av riskanalysen visar att beräknad individ- och samhällsrisknivå ligger inom ALARP-område där risker kan tolereras om alla tekniskt och ekonomiskt rimliga åtgärder är vidtagna. Med hänsyn till förekommande risknivå och byggnadens nära placering till E16 och järnvägen rekommenderas följande planbestämmelser:

- Fasader mot E16 och järnvägen ska utföras i obrännbart material (klass A2-s1,d0 eller bättre)
- Området mellan byggnaden och E16 och järnvägen ska fortsatt utformas så att det inte uppmanar till mer än tillfällig vistelse likt befintligt, t.ex. parkering
- Ventilation i byggnaden som betjänar utrymmen för stora personantal (t.ex. idrottshall) ska kunna nödstoppas. Nödstopp ska vara lättillgänglig och centralt placerad

Med ovanstående åtgärder bedömer FireTech Optimalt Brandskydd AB att personsäkerheten är acceptabel för personer som befinner sig i aktuell byggnad utifrån genomförd riskvärdering och förekommande transporter av farligt gods.

1 ALLMÄNT 4
1.1 Bakgrund 4
1.2 Syfte och mål 4
1.3 Avgränsningar 4
1.4 Uppdragsgivare 4
1.5 Utgåva 4
1.6 Metod 4
1.7 Styrande dokument 5
1.8 Kvalitetssäkring 5

2 RISKHÄNSYN I DEN FYSISKA PLANERINGEN 6
2.1 Planläggning vid transportleder för farligt gods i Dalarnas län 6
2.2 Kriterier för riskvärdering 6

3 ÄMNESKLASSER OCH DESS KONSEKVENSER 8

4 BESKRIVNING AV PLANOMRÅDET 9

5 INLEDANDE KVALITATIV ANALYS 11
5.1 Riskidentifiering 11
5.2 Transporter av farligt gods på Västerdalsbanan 11
5.3 Transporter av farligt gods på E16 12

6 ÖVERSIKTLIG RISKBEDÖMNING OCH RISKVÄRDERING 13

7 KVANTITATIV RISKANALYS 14
7.1 Resultat individrisk 14
7.2 Resultat samhällsrisk 15
7.3 Beräknad risknivå med åtgärder 16
7.4 Osäkerheter och känslighetsanalys 17

8 RISKVÄRDERING 19

9 REKOMMENDATIONER OCH ÅTGÄRDER 20

10 SLUTSATS 20

REFERENSER 21

BILAGA A FREKVENS OCH SANNOLIKHETSBERÄKNING 22
A.1 Frekvensberäkning, utsläpp av farligt gods på väg 22
A.2 Frekvensberäkning, utsläpp av farligt gods på järnväg 29
A.3 Scenarier för konsekvensberäkningar 36

BILAGA B KONSEKVENSBERÄKNINGAR 37
B.1 Allmänt 37
B.2 Parametrar som påverkar beräkningar i ALOHA 39
B.3 Klass 1.1 – Olycka med massexplosivt ämne 40
B.4 ADR Klass 2.1 – Olycka med brandfarlig gas 41
B.5 ADR klass 2.3 – Olycka med giftig gas 43
B.6 ADR klass 3 - Olycka med brandfarlig vätska 45
B.7 ADR klass 5 - Olycka med oxiderande ämnen 46
B.8 Mekanisk skada vid urspårning 47

BILAGA C – BERÄKNINGAR AV INDIVID- OCH SAMHÄLLSRISK 48
C.1 Individrisk 48
C.2 Samhällsrisk 49

1 Allmänt

1.1 Bakgrund

På begäran av Malung-Sälens kommun ska en riskanalys genomföras som utvärderar riskerna vid ändring av ett planområde inom Malung-Sälens kommun. Detaljplanen vill möjliggöra om- och tillbyggnad samt ändrad verksamhet till utökad gymnasieskola och idrottshall och cafeteria i en byggnad med gymnasieverksamhet och flertalet kontors- och industrilokaler på fastigheten Svetsaren 1. I anslutning till detaljplaneområdet går E16 vilken är rekommenderad väg för farligt gods samt järnvägslinjen Västerdalsbanan där transporter av farligt gods kan förväntas ske.

Malung-Sälens kommun via Österling Bygg AB har givit FireTech Optimalt Brandskydd AB i uppdrag att genomföra en riskanalys för planområdet för att utreda risknivåer och vilka eventuella åtgärder som måste genomföras för att önskad bebyggelse ska vara möjlig.

1.2 Syfte och mål

Syftet med riskanalysen är att undersöka riskerna för aktuellt område med avseende på transport av farligt gods i anslutning till planområdet.

Riskanalysen ska fungera som underlag för bedömning av lämpligheten av föreslagen bebyggelse som planförslaget medför. Riskanalysen ska även uppskatta risknivån för området i dagsläget. Vid behov ska även riskreducerande åtgärder föreslås.

1.3 Avgränsningar

Denna riskanalys behandlar enbart personsäkerheten för människor som vistas i området.

Långvariga effekter på människors hälsa och miljöeffekter beaktas inte (exempelvis buller och markföroreningar).

1.4 Uppdragsgivare

Uppdragsgivare är Malung-Sälens kommun via Österling Bygg AB.

1.5 Utgåva

Detta dokument utgör en första utgåva.

1.6 Metod

Genomförande av riskanalysen inleds med en kartläggning och beskrivning av området. Därefter genomförs en riskidentifiering. Dessa delar finns presenterade i kapitel 4 respektive kapitel 5.

Med utgångspunkt i detta görs en översiktlig riskbedömning och riskvärdering där förutsättningar för området och förväntade transportmönster beaktas. Detta redovisas i kapitel 6.

En kvantitativ riskanalys genomförs därefter för områdets förutsättningar för att uppskatta risknivåernas storlek och möjliggöra en riskvärdering. Resultat från den kvantitativa riskanalysen redovisas i kapitel 7, medan huvuddelen av antaganden, beräkningar och genomförande finns presenterat i Bilaga A (frekvensberäkningar), Bilaga B (konsekvensberäkningar) samt Bilaga C (individ- och samhällsriskberäkningar).

1.7 Styrande dokument

På nationell nivå anger Plan- och bygglagen (2010:900) (PBL), Miljöbalken (1998:808) och Lagen om skydd mot olyckor (2003:778) (LSO) att riskanalyser ska genomföras.

PBL anger att bebyggelse och byggnadsverk ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet *med hänsyn till människors hälsa och säkerhet samt risken för olyckor*. Vidare ska bebyggelse och byggnadsverk utformas och placeras på ett sätt som är lämpligt *med hänsyn till skydd mot uppkomst och spridning av brand mot trafikolyckor och andra olyckshändelser*. Exempel på när sådana olyckor kan uppstå kan vara vid transporter av farligt gods på väg eller järnväg, eller i samband med anläggningar med verksamhet som hanterar eller lagrar farliga ämnen.

Således behöver risker för att olyckor inträffar som påverkar människor eller bebyggelse och byggnadsverk analyseras. Däremot anger inte lagarna ovan hur riskerna ska identifieras, analyseras eller värderas. Av den anledningen har det därför givits ut vägledningar och rekommendationer av myndigheter och länsstyrelser i stora delar av Sverige. Denna analys utgår ifrån vägledning för planläggningen intill transportleder av farligt gods [1] som tagits fram av Länsstyrelsen Dalarna.

1.8 Kvalitetssäkring

Denna handling omfattas av internkontroll i enlighet med FireTech Optimalt Brandskydd Abs kvalitetssystem, certifierat enligt ISO 9001 och ISO 14001, vilket innefattar interngranskning av de brandskyddstekniska förutsättningarna samt föreslagna lösningar. Interngranskningen genomförs av en, från projektet, fristående brandsakkunnig.

Civilingenjör i riskhantering och brandingenjör Martina Ardenmark har granskat.

2 Riskhänsyn i den fysiska planeringen

Enligt plan- och bygglagen ska planläggning ske så att bebyggelse och byggnadsverk lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till människors hälsa och säkerhet och risken för olyckor.

2.1 Planläggning vid transportleder för farligt gods i Dalarnas län

I *vägledning för planläggningen intill transportleder av farligt gods* [1] *som tagits fram av Länsstyrelsen Dalarna* anges avstånd från sådana leder där olika typer av bebyggelse och verksamheter kan accepteras utan att en fördjupad riskanalys genomförs. I Figur 1 nedan återges avstånd från vägledningen. Kontor i flera plan, skolor samt idrottshall med två spelplaner och omklädningsrum betraktas som större samlingslokal och ska därför, enligt vägledningen, placeras över 150 meter från transportled om inte en fördjupad riskanalys genomförs.

NÄRMRE ÄN 30 METER	30-70 METER	70-150 METER	ÖVER 150 METER
Odlingar	Bilservice	Bostäder i högst 2 plan	Bostäder i mer än 2 plan
Trafikytor	Industrier	Mindre samlingslokaler	Vård
Ytparkeringar	Mindre handel	Handel	Kontor i flera plan
Friluftsområden	Tekniska anläggningar	Mindre kontor (inte hotell)	Hotell
	Övrig parkering	Kultur- och idrottsanläggningar utan betydande åskådarplats	Skolor
	Lager		Större samlingslokaler
			Kultur- och idrotts-anläggningar med betydande åskådarplats

Figur 1. Skyddsavstånd från transportleder för farligt gods som normalt kan godtas för olika typer av verksamheter. Från Länsstyrelsen Dalarnas utgivelse: ”FARLIGT GODS riskhantering i fysisk planering - Vägledning för planläggning intill transportleder för farligt gods” [1]

2.2 Kriterier för riskvärdering

Risk betraktas i denna riskanalys som produkten av sannolikhet (händelsefrekvens) och konsekvens. Med konsekvens avses konsekvenserna av en oönskad händelse eller olägenhet. Med händelsefrekvens avses ett mått på hur ofta denna händelse förväntas inträffa.

I denna handling beaktas individ- och samhällsrisker.

Med individrisk menas den risk som en enskild individ utsätts för när den vistas på en viss plats. Konsekvensen bedöms utifrån hur en enskild individ kan antas drabbas (avlida) av en händelse. Vid beräkning av individrisk antas i enlighet med Det Norske Veritas (DNV) rekommendationer om att individen har en genomsnittlig känslighet för risken, är kontinuerligt närvarande och befinner sig utomhus.

Med samhällsrisk menas den risk som alla personer i ett område utsätts för och konsekvenserna bedöms utifrån hur många personer som kan antas drabbas (avlida) av en händelse. Samhällsrisken ökar alltså om personantalet i området ökar.

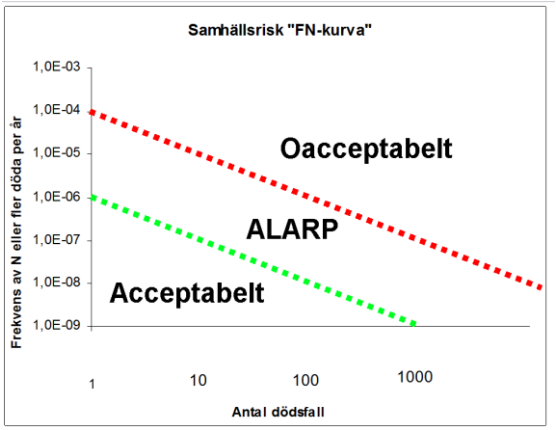
I denna riskanalys värderas risknivåer (i enlighet med Länsstyrelsen Dalarnas vägledning) mot de kriterier som Det Norske Veritas (DNV) har föreslagit.

2.2.1 Individrisk

Acceptanskriterier för individrisk är 10^{-7} som undre gräns och 10^{-5} som övre gräns [2]. Mellan dessa finns ALARP-området (As Low As Reasonably Practicable) där risker kan förebyggas om det anses rimligt. Då individrisk utgör den risk som en person i en viss punkt kontinuerligt utsätts för påverkas denna parameter ej av typ av verksamhet.

2.2.2 *Samhällsrisk*

Samhällsrisk presenteras ofta i en s.k. ”FN-kurva”. I ”FN-kurvan” redovisas sambandet mellan sannolikheten för att en olycka skall inträffa och antalet omkomna som en konsekvens av denna olycka. Eftersom denna handling endast syftar till att beskriva förhållanden för aktuellt planområde är det formellt sett en typ av ”grupprisk” som studeras – i rapporten används endast det generella begreppet samhällsrisk. I Figur 2 nedan presenteras kriterier för riskvärdering enligt DNV.



Figur 2. Acceptanskriterier för samhällsrisk. Det område som är beläget mellan de båda begränsningslinjerna för oacceptabel risk och för låg (acceptabel) risk benämns ”ALARP” (As Low As Reasonably Practicable). Området anger ett intervall inom vilket kostnad/nyttovärdering eller annan optimering bör användas för att sträva efter att ytterligare sänka risknivån. Då samhällsrisken beror på antalet personer inom området som påverkas av en risk så finns en direkt koppling mellan samhällsrisken och typ av verksamhet.

3 Ämnesklasser och dess konsekvenser

Farligt gods delas in i 9 klasser vilka beskriver på vilket sätt godset är farligt. Klassernas farlighet avgörs med hänsyn till deras uppskattade konsekvensavstånd, vilket medför att det är endast ett fåtal av klasserna som är huvudsakligen intressanta att undersöka.

I Tabell 1 redovisas generella faror med olika kemikalier uppdelat efter dess ADR-S/RID-S klass. I tabellen anges även möjliga konsekvenser och de konsekvensavståndavstånd som kan vara aktuella för en grov bedömning av allvarliga skadepåverkan på oskyddade människor ur 3:e persons synvinkel [3].

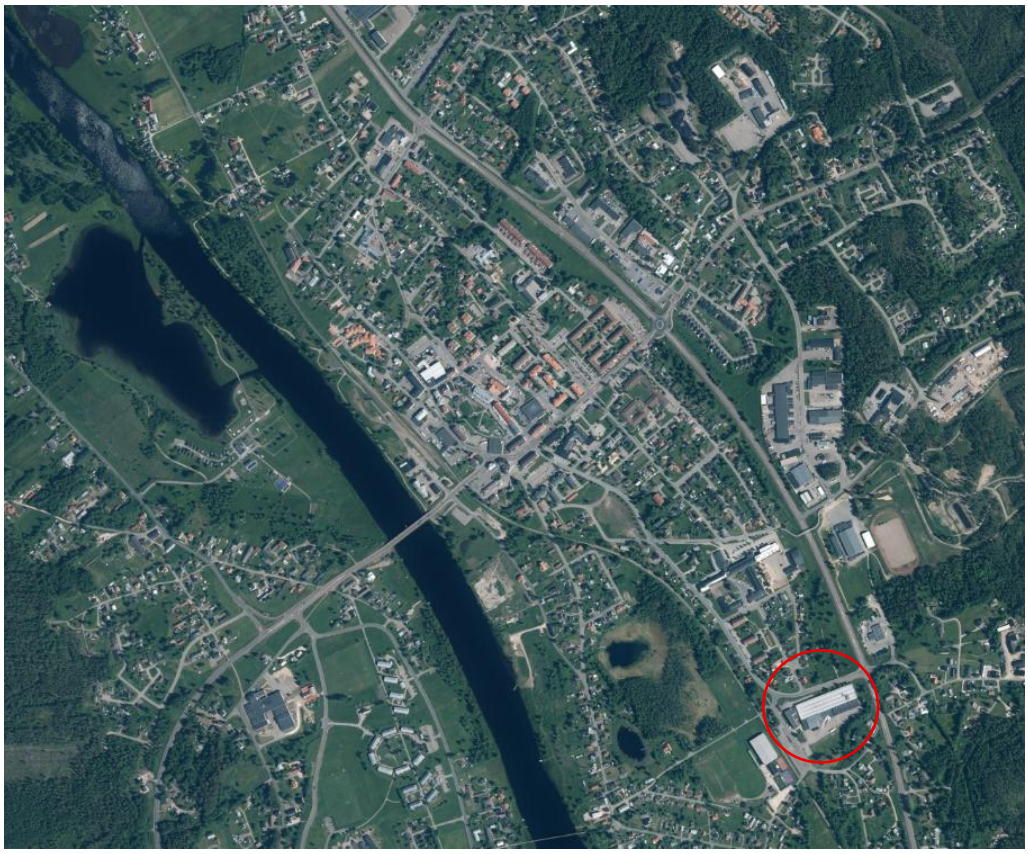
Transportklass (ADR/RID-klass)	**Exempel**	**Dominerande fara**				**Möjliga konsekvenser i händelse av olycka**	**Konsekvens-avstånd (meter)**
		Explosion	**Brand**	**Förgiftning**	**Övrig risk**		
1. Explosiva ämnen och föremål	Krut, patroner, nitroglycerin, fyrverkeri	X				Övertryck som kan skada/rasera byggnader, ge upphov till splitter	100 - 1000
			X			och skada på människor	< 100
2.1. Kondenserad brännbar gas	Propan, gasol		X			Jetflamma - värmestrålning	< 100
		X				Brännbart gasmoln - gasmolnsexplosion	0 - 200
		X				Gasmolnsexplosion	0 - 200
		X				BLEVE	100 - 1000
2.3. Kondenserad giftig gas	Svaveldioxid, ammoniak			X		Gasmoln kan ge toxiska effekter. Ämne, tillgänglig mängd, utflöde, atmosfäriska förhållanden och topografi påverkar effektområdet.	> 1 000
3. Brandfarliga vätskor	Bensin, diesel, eldningsoljor, metanol		X			Pölbrand - värmestrålning	< 100
4. Brandfarliga fasta ämnen	Svavel, fosfor, metallpulver		X		X	Brand – värmestrålning. Konsekvenser begränsas till närområdet.	< 100
5. Oxiderande ämne och organiska peroxider	Väteperoxid		X			Brand - värmestrålning	<100
		X				Explosion i händelse av blandning med andra brännbara ämnen	100 - 1000
6. Giftiga och smittoförande ämnen	Arsenik-, bly och kvicksilversalter, bekämpningsmedel			X		Toxiska effekter. Konsekvenser begränsas till närområdet.	< 100
7. Radioaktiva ämnen	Radioaktiva ämnen				X	Strålskada. Konsekvenser begränsas till närområdet.	< 100
8. Frätande ämnen	Svavelsyra, Natriumhydroxid			X	X	Dödliga konsekvenser begränsas till närområdet. Personskador kan uppkomma på längre avstånd.	< 100
9. Övriga farliga ämnen	Magnetiska material, asbest, miljöfarligt avfall				X	Hälsorisker. Konsekvenser begränsas till närområdet.	< 100

Tabell 1. Generella faror och möjliga konsekvenser med olika klasser av farligt gods [4].

I riskbedömningen kommer endast olyckor i samband med klass 1, 2, 3 och 5 beaktas då dessa är vanligast eller har stora konsekvensområden med hänsyn till personsäkerhet. Övriga klasser bedöms endast ha begränsade konsekvensområden i mycket nära anslutning till riskkällan.

4 Beskrivning av planområdet

Området som omfattas av denna analys är kvarter Svetsaren 1, beläget i den sydöstra delen av Malung, se Figur 3 nedan.



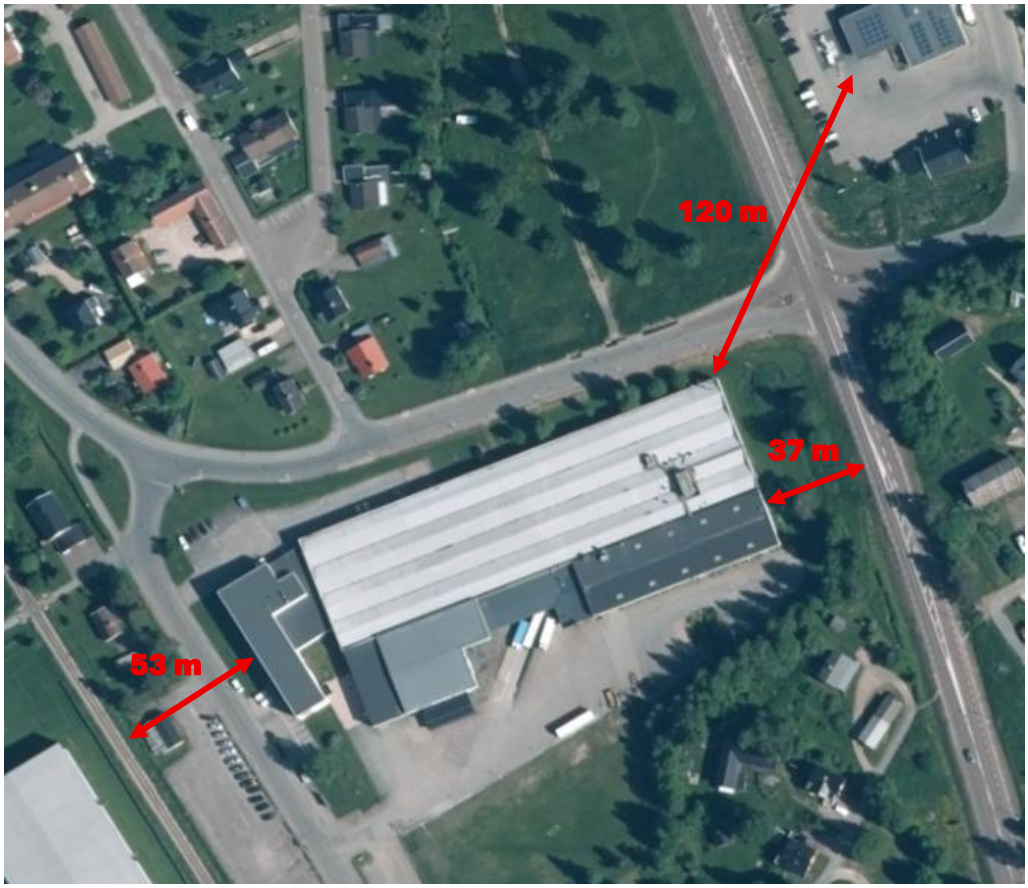
Figur 3. Detaljplaneområdets placering inom Malung.

I Figur 4 nedan visas placering av byggnaden och uppmätta avstånd till intilliggande riskkällor. Placeringen medför ett avstånd på 37 meter mellan byggnadens fasad och E16s vägkant respektive 53 meter till järnvägen. Den befintliga drivmedelstationen är belägen cirka 120 meter åt nordost.

Mellan E16 och byggnaden finns vegetation och diken för vattenuppsamling. Byggnaden är belägen på en lägre höjd än vägen.

Detaljplanen ska möjliggöra en om- och tillbyggnad av byggnaden till skola, en större idrottshall med tillhörande omklädning och café i mitten av byggnaden. Befintlig verksamhet utgörs av gymnasieverksamhet, kontor samt flera mindre lokaler och verksamheter. I byggnaden förväntas samtliga personer vara vakna men ej nödvändigtvis ha god lokalkännedom.

I anslutning till detaljplanområdet går E16 vilken är en primär rekommenderad led för farligt gods. Vägen löper längs med byggnadens kortsida åt öst, se Figur 4 nedan.



Figur 4. Berörd byggnad med uppmätta avstånd till identifierade riskkällor.

Enligt statistik från SCB uppgår befolkningstätheten i Malung till i medeltal 500 invånare per km^2 (5000 invånare år 2020 på 10,45 km^2). I beräkningarna antas den beräknade befolkningstätheten gälla. Hur resultatet påverkas av en ökad befolkningstäthet undersöks närmre i känslighetsanalysen i avsnitt 7.4.1. Personantalet i hela byggnaden efter utökning av gymnasieskolan, idrottshall med cafeteria mm förutsätts till maximalt 2000 personer samtidigt vid enstaka tillfällen, och i normalfallet till maximalt 500 personer.

5 Inledande kvalitativ analys

5.1 Riskidentifiering

Den kvalitativa analysen inleds genom att identifiera eventuella riskkällor i närområdet.

Transportleder för farligt gods löper förbi berört planområde, se Figur 4 ovan. På transportlederna kan det varje dag förväntas gå flertalet lastbilar som transporterar farligt gods respektive godståg som transporterar farligt gods, men även vanliga godståg och persontåg. Olyckor med fordon lastade med farligt gods bedöms utgöra den största risken för området.

På cirka 120 meters avstånd finns en drivmedelstation. Ett begränsat antal transporter med drivmedel kan förväntas transporteras till drivmedelstationen via E16. Då olyckor i samband med drivmedel har relativt korta konsekvensavstånd så beaktas därför inte riskerna i samband med olyckor vid lastning och lossning. Hantering av risker förknippade med transporter av farligt gods till och från drivmedelstationen omfattas i analysen av E16. Vidare uppfylls skyddsavstånden i MSB:s handbok [5] och drivmedelsstationen analyseras således inte vidare i denna rapport.

Följande riskkällor som kan påverka området har identifierats i den inledande kvalitativa analysen:

- Transporter av farligt gods på Västerdalsbanan
- Transporter av farligt gods på E16

I följande avsnitt nedan görs en redogörelse för respektive riskkälla som identifierats där sannolikheter och möjliga konsekvenser utvärderas och beskrivs översiktligt.

5.2 Transporter av farligt gods på Västerdalsbanan

Järnvägen trafikeras av både gods- och persontåg.

Trafikflödet förbi planområdet uppskattas år 2045 uppgå till 1,4 godståg varje dygn enligt en prognos gjord av Trafikverket. I denna analys antas detta vara det förväntade antalet tåg per dygn förbi planområdet. Andelen farligt gods som transporterades på järnväg av all godstrafik uppgick i Sverige 2024 till cirka 7,8 %. Därmed uppskattas antalet transporter av farligt gods på järnvägen till 0,1 godståg med farligt gods per dag.

Exakt fördelning av RID-S klasser på Västerdalsbanan är inte kartlagd. I rapporten antas det att fördelningen följer riksgenomsnittet av transporterad mängd i ton år 2024 som Trafa har sammanställt. Totala antalet transporter och fördelningen av farligt gods är i dagsläget inte känd, och kan även förväntas förändras till följd av exempelvis företagsbeslut och politiska beslut.

Klass	Nationellt (2024) [%]
1	0
2	32,9
3	16,6
4	3,5
5	28,3
6	2,4
7	0
8	15,3
9	1,0

Tabell 2. Respektive ämnes andel i nationell statistik 2024 (transportarbete).

5.3 Transporter av farligt gods på E16

Hastighetsbegränsningen är 80 km/h vid planområdet. Avståndet mellan E16 och byggnaden uppskattas till 37 meter som närmast. Ett befintligt dike finns mellan vägen och planområdet.

Årsmedeldygntrafiken för vägavsnittet i anslutning till detaljplaneområdet uppgick 2022 till 3180 (+/-14%). Av dessa utgjordes 170 fordon per dygn (+/-18%) av lastbilar. Ifall det högsta värdet för person- respektive lastbil inom intervallet ansätts samt en uppräkning till prognosen 2065 genomförs i enlighet med Trafikverkets senaste prognos [6] i Dalarnas län med en kvot om 1,42 respektive 1,57 fås ett ÅDT år 2065 på 5140 st, varav 315 lastbilar.

Andelen lastbilar som transporterar farligt gods uppgick 2024 till 3,2 % (+/-17%, andel av fordonskm) [7]. Därmed beräknas antalet farligt godstransporter på E16 år 2065 till 11,8 per dag.

Exakt fördelning av ADR klasser på vägen är inte kartlagd. Därmed antas det att fördelningen följer riksgenomsnittet som Trafa har sammanställt [7]. Totala antalet transporter och fördelningen av farligt gods är i dagsläget inte känd, och kan även förväntas förändras till följd av exempelvis företagsbeslut och politiska beslut.

Klass	Nationellt (2024) [7][%]
1	0,5
2	22,8
3	52
4	-
5	5,3
6	0,5
7	-
8	12
9	6,8

Tabell 3. Respektive ämnes andel av nationell statistik 2024 (fordonskm).

6 Översiktlig riskbedömning och riskvärdering

Länsstyrelsen Dalarna har utgivit rekommenderade skyddsavstånd från transportleder för farligt gods och olika typer av markanvändning. Om dessa avstånd följs vid planering av mark anser Länsstyrelsen Dalarna att en god samhällsplanering uppnås. Se även avsnitt 2.

Placering av detaljplaneområdet medför att de rekommenderade avstånden till transportlederna på över 150 meter underskrids. Detta då avståndet från planområdet till E16s vägkant respektive järnvägen är som kortast 37 meter respektive 53 meter.

Det uppskattas att 11,8 lastbilstransporter med farligt gods kommer passera planområdet varje dag på E16 respektive 0,1 godståg med farligt gods på Västerdalsbanan enligt 5.2.

De dominerande klasserna som transporteras enligt den nationella fördelningen är brännbara vätskor samt brännbara och giftiga gaser. På järnväg utgör en stor del av transporterna även av oxiderande ämnen nationellt sett.

En riskanalys av Malung-Sälens kommun [8] menar att det generellt finns få tunga industrier i Malung vilka kräver lokala transporter av farligt gods. Enligt MSBs kartläggning av farligt godstransporter september 2006 [9] gick genomfartstrafik av farligt gods primärt via E45. Givet att detta är fallet verkar det mest sannolikt att det är främst brännbara vätskor och gaser som transporteras till exempel till drivmedelstationer via E16.

Eftersom information om transporterade ämnen samt antalet transporter är begränsad finns osäkerheter kopplade till denna analys. Utöver osäkerheter om vilka mängder, antal transporter samt fördelning av farliga ämnen som råder i dagsläget kan dessa förändras i framtiden baserat på bland annat utveckling av verksamheter som industrier, nya riktlinjer, övriga bestämmelser och samhällsplaneringsbeslut. Oavsett de osäkerheter som finns kan ändå tillräckligt med data hämtas för att kunna göra en kvantitativ riskanalys, där osäkerheterna kan hanteras och dess påverkan på resultatet analyseras.

De korta skyddsavstånden som råder i detta fall mot Västerdalsbanan samt det stora antalet transporter med farligt gods på E16 medför att en fördjupad kvantitativ riskanalys genomförs. Det är alltså inte på förhand, innan risken har kvantifierats vidare, lämpligt att värdera risken och ange rekommendationer utifrån detta.

Den fördjupade kvantitativa riskanalysen behöver uppskatta både individ- och samhällsrisknivåer för att skapa underlag och möjliggöra en riktig värdering av riskerna.

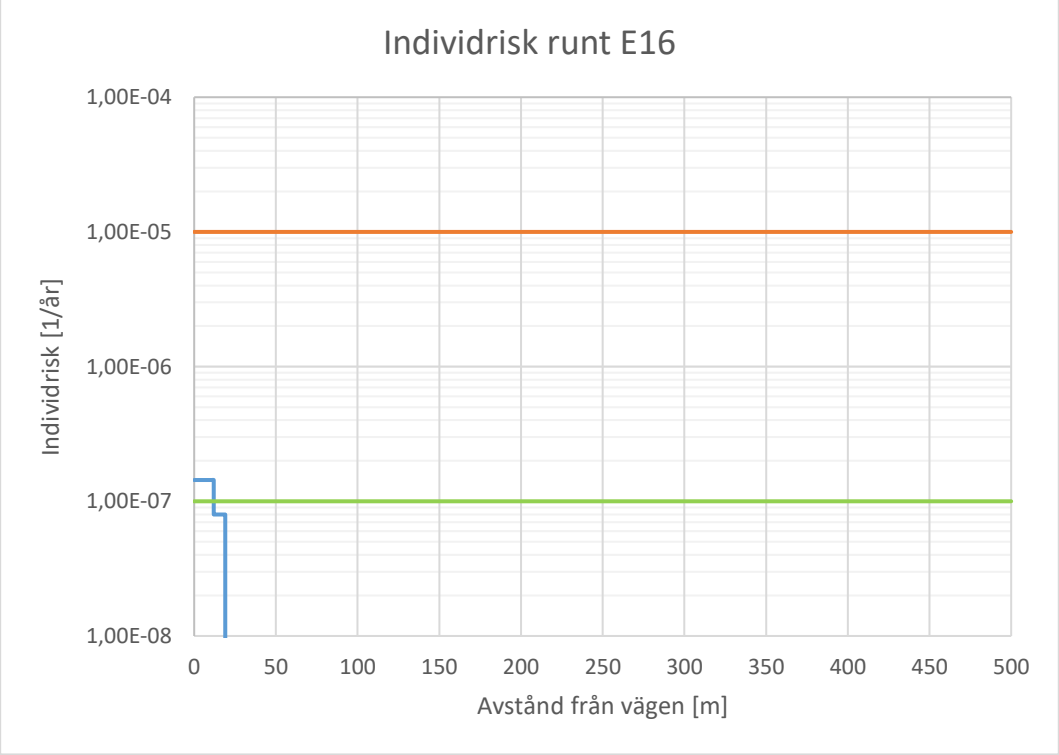
Den fördjupade kvantitativa riskanalysen redovisas i nästföljande kapitel.

7 Kvantitativ riskanalys

I detta kapitel redovisas den fördjupade kvantitativa analysen för detaljplaneområdet. I detta kapitel presenteras i huvudsak resultat. Antaganden och beräkningar för frekvenser och konsekvenser som resultaten bygger på redovisas i sin helhet i Bilaga A och Bilaga B. Beräkningsmetodik för individ- och samhällsrisk redovisas i Bilaga C.

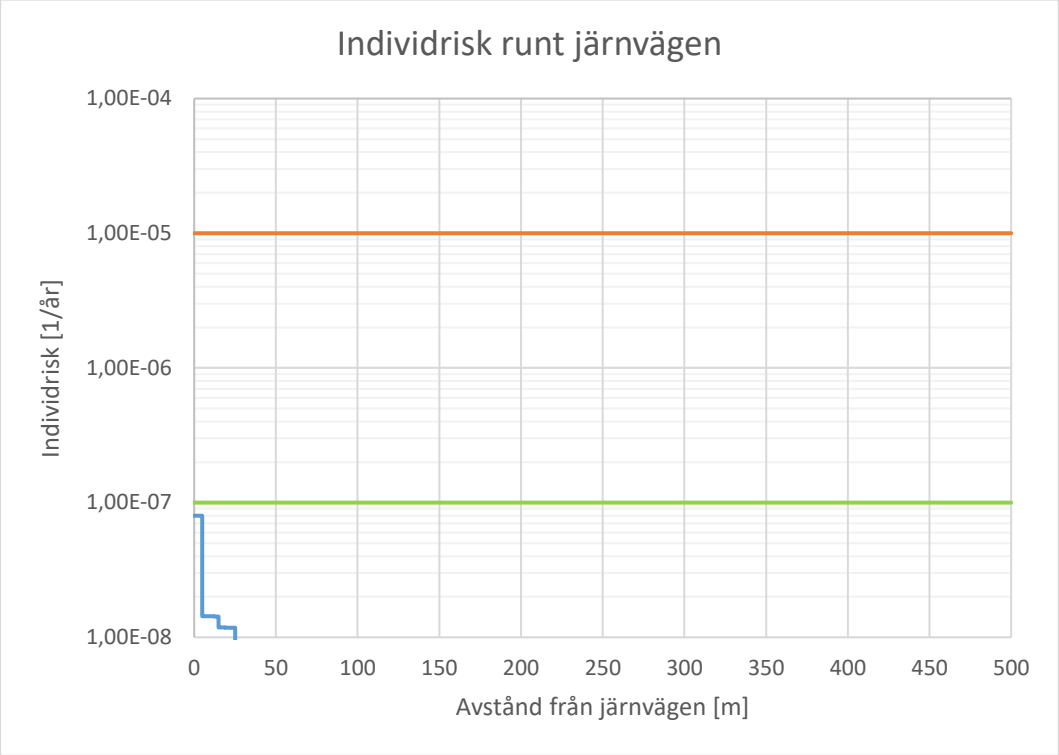
7.1 Resultat individrisk

Individrisk som avstånd från väg E16 presenteras i Figur 5 nedan. I beräkningarna som ligger till grund för Figur 5 har enbart påverkan från vägtransporter med farligt gods beaktats enligt den kvalitativa analysen utförd i kap 5.



Figur 5. Individrisknivå till följd av vägtransporter av farlig gods på E16. Röd linje (10^{-5}) motsvarar övre gräns där risker under vissa förutsättningar kan accepteras och grön linje (10^{-7}) motsvarar övre gräns för då riskerna kan anses vara små.

Individrisk som avstånd från järnvägen presenteras i Figur 6 nedan. I beräkningarna som ligger till grund för Figur 6 har enbart påverkan från järnvägstransporter med farligt gods beaktats enligt den kvalitativa analysen utförd i kap 5.



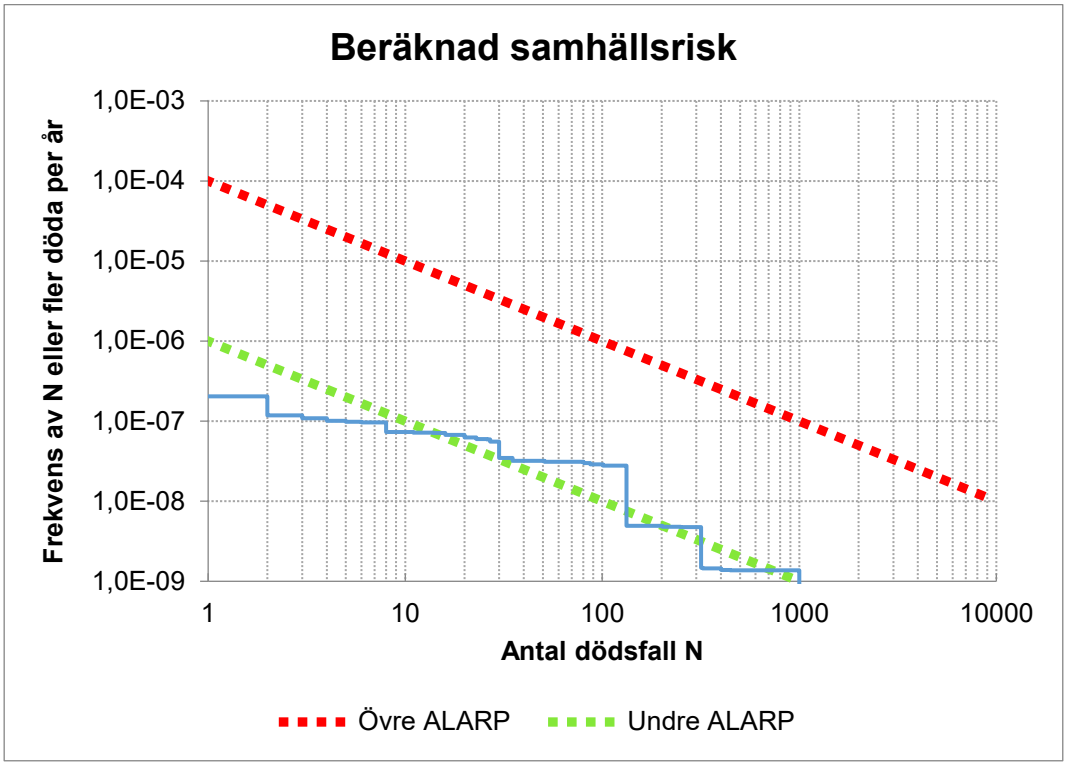
Figur 6. Individrisknivå till följd av järnvägstransporter av farlig gods på Västerdalsbanan. Röd linje (10^{-5}) motsvarar övre gräns där risker under vissa förutsättningar kan accepteras och grön linje (10^{-7}) motsvarar övre gräns för då riskerna kan anses vara små.

7.2 Resultat samhällsrisk

I Figur 7 nedan redovisas beräknad samhällsrisk utifrån transporter på både väg och järnväg. Beräkning har genomförts för 11,8 transporter av farligt gods per dygn på E16 respektive 0,1 godståg med farligt gods per dygn på Västerdalsbanan.

Beräkningarna bygger på en enkel modell med en genomsnittlig befolkningstäthet, något skyddsavstånd eller andra riskreducerande åtgärder har inte inkluderats då kurvan tagits fram. På grund av detta kan kurvan tolkas som en uppskattning av hur stor samhällsrisken kan förväntas vara utan några skyddsavstånd eller andra åtgärder. I avsnitt 7.3 nedan undersöks istället hur samhällsrisken ser ut med riskreducerande åtgärder.

I beräkningarna antas den beräknade befolkningstätheten om 500 pers/km^2 gälla generellt. Hur resultatet påverkas av en ökad befolkningstäthet undersöks närmre i känslighetsanalysen i avsnitt 7.4.1. Personantalet i byggnaden efter utökning av gymnasieskolan, ändring med idrottshall, cafeteria mm förutsätts till maximalt 2000 personer samtidigt vid enstaka tillfällen, och i normalfallet till maximalt 500 personer.



Figur 7. Beräknad samhällsrisk. Notera att skala på båda axlar är logaritmiska.

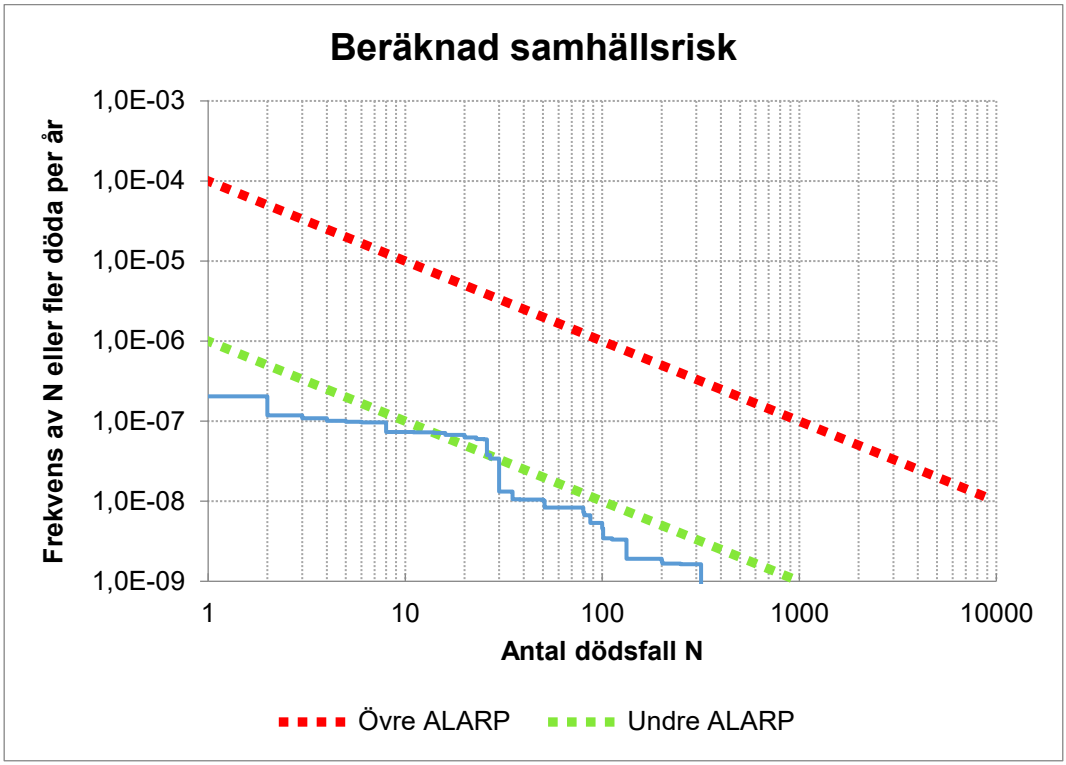
7.3 Beräknad risknivå med åtgärder

Eftersom individrisk per definition utgör sannolikheten att omkomma för genomsnittlig person som vistas utomhus i en given punkt under ett års tid påverkas inte beräknad individrisk av riskreducerande åtgärder. Däremot motiverar en hög individrisk att åtgärder vidtas för att bebyggelse ska accepteras.

De scenarier som ligger ovanför ALARP-området är huvudsakligen olyckor vilka leder till 16–133 omkomna. Dessa olycksscenarier är främst kopplade till olyckor med brännbara gaser. För scenarier där brännbara gaser kan förväntas ha långa konsekvensavstånd bör fasad mot närliggande riskkälla vara obrännbar. I beräkningarna har detta beaktats genom att reducera antalet omkomna i dessa fall med 80 %. De scenarier där detta är aktuellt är huvudsakligen gasmolnsbränder.

En generell åtgärd är att utforma utemiljön så att det ej uppmuntrar till mer än tillfällig vistelse utomhus, vilket bedöms vara en mycket effektiv passiv åtgärd mot nästan samtliga olycksscenarier. I beräkningarna har detta beaktats genom att utgå från att avståndet mellan riskkällan och byggnaden sänker frekvensen samt konsekvensen för olyckor med korta konsekvensavstånd till en tiondel av den ursprungliga.

I Figur 8 nedan redovisas uppskattning av samhällsrisknivåer med åtgärder.



Figur 8. Grov uppskattning av samhällsrisknivå med åtgärder i form av utformning av område mellan led och bebyggelse så att detta inte uppmanar till stadigvarande vistelse samt obrännbar fasad mot järnväg respektive väg för transporter av farligt gods.

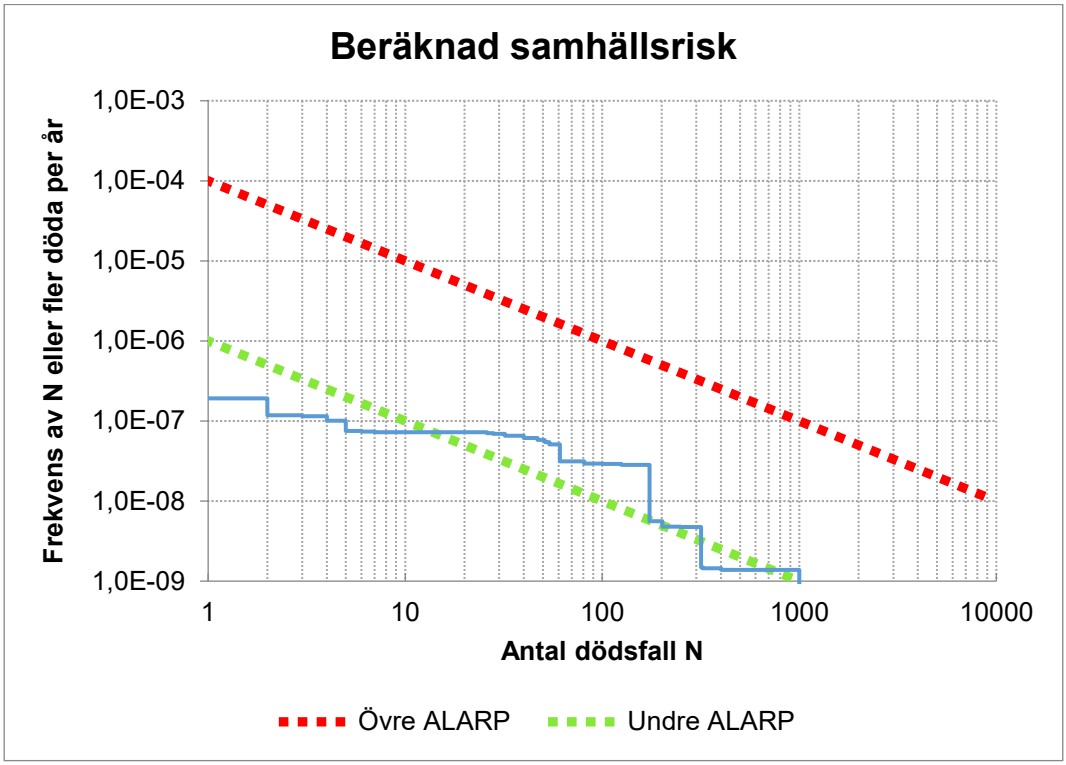
7.4 Osäkerheter och känslighetsanalys

Riskanalyser är alltid förknippade med osäkerheter. Osäkerheter kan bland annat härledas till modellosäkerheter och parameterosäkerheter. Frekvens- och konsekvensberäkningarna i denna analys är baserade på en rad förenklingar, antaganden och underlag som medför osäkerheter. Resultaten och beräknade risknivåer ska därför ses som uppskattningar och inte exakta resultat. För att minska osäkerheter som leder till underskattningar av beräknade risknivåer har konservativa antaganden gjorts då begränsat med information funnits.

Känslighetsanalys görs för att utvärdera hur risknivåerna påverkas av en större befolkningstäthet respektive om antalet transporter av farligt gods ökar.

7.4.1 *Ökad befolkningstäthet*

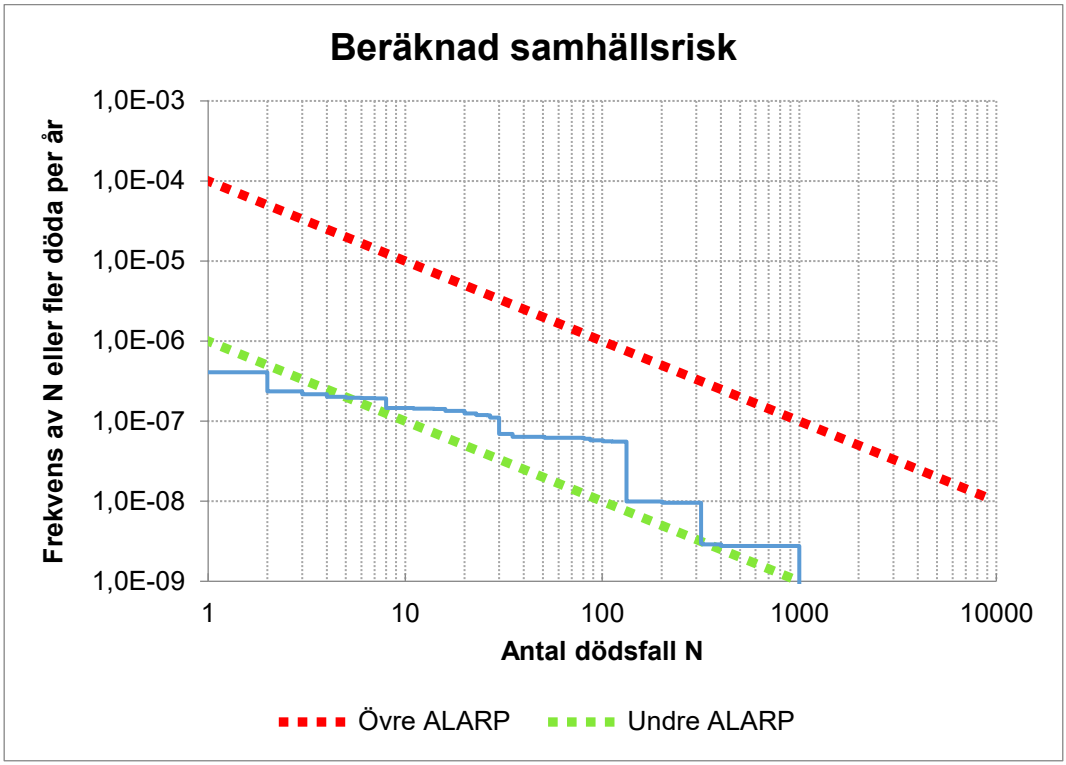
En förtätning av området medför att persontätheten ökar intill E16 samt Västerdalsbanan. För att undersöka hur samhällsrisken påverkas av en ökad befolkningstäthet utförs beräkningarna även för en ökning av befolkningstätheten på 100 % (1000 personer/km^2 har använts). Precis som i avsnitt 7.2 (Figur 7) ska kurvorna tolkas som en uppskattning av hur stor samhällsrisken kan förväntas vara med en ökad befolkningstäthet intill vägen, utan några skyddsavstånd eller andra åtgärder. Resultat för beräknad samhällsrisk med åtgärder presenterades i avsnitt 7.3 (Figur 8).



Figur 9. Påverkan på beräknad samhällsrisknivå då antagande om befolkningstäthet ökas med 100 % (1000 inv/km^2 har använts).

7.4.2 *Ökad antal transporter med farligt gods*

En av osäkerheterna i rapporten är antalet transporter som förväntas ske på E16 respektive Västerdalsbanan. För att undersöka hur antalet transporter påverkar riskbilden på området görs nya beräkningar där antalet transporter av farligt gods har ökats med 100 %:



Figur 10. Beräknad samhällsrisk med 100 % fler transporter per dag på både väg och järnväg.

Figur 9 och Figur 10 visar på att samhällsrisken ökar om befolkningstätheten eller antalet transporter av farligt gods ökar, men risknivån befinner sig fortfarande inom den nedre delen av ALARP-området. Således ändras inte analysens resultat.

8 Riskvärdering

På sådana avstånd där individrisknivån uppskattas ligga inom ALARP-området (dvs. mellan 10^{-7} och 10^{-5}) ska åtgärder som bedöms vara rimliga och skäliga vidtas för att reducera risknivån så mycket som möjligt.

Till följd av förekommande transporter av farligt gods på närliggande transportleder beräknas individrisknivån för byggnaden ligga under ALARP-området och därmed acceptabelt utan vidare åtgärder. Däremot visar samhällsriskberäkningarna, vilka tar höjd för hur många som vistas inom byggnaden och som därmed riskerar omkomma samtidigt, att samhällsrisken ligger inom den nedre delen av ALARP-området. Således bör rimliga riskreducerande åtgärder vidtas. Enligt kapitel 5 förväntas främst brännbara vätskor och gaser transporteras på vägarna, men även giftiga gaser. Särskilt åtgärder som reducerar konsekvenser vid utsläpp och antändning av brännbara gaser bedöms vara nödvändiga.

Utifrån beräkningarna ovan bör område mellan led och bebyggelse vara utformade så att detta inte uppmanar till stadigvarande vistelse, samt byggnaden ha obrännbar fasad mot järnväg respektive väg. Det bör noteras att detta är fallet i dagsläget.

I detaljplaneområdet finns även i dagsläget dike mellan E16 och byggnaden. En eventuell olycka och läckage och antändning av brännbar vätska som sker på E16 kan därför förväntas begränsas.

9 Rekommendationer och åtgärder

Med hänsyn till förekommande risknivå och byggnadens nära placering till E16 och Västerdalsbanan rekommenderar FireTech Optimalt Brandskydd AB att byggnaden ska uppfylla följande krav:

- Fasader mot E16 och järnvägen ska utföras i obrännbart material (klass A2-s1,d0 eller bättre)
- Området mellan byggnaden och E16 och järnvägen ska fortsatt utformas så att det inte uppmanar till mer än tillfällig vistelse likt befintligt, t.ex. parkering
- Ventilation i byggnaden som betjänar utrymmen för stora personantal (t.ex. idrottshall) ska kunna nödstoppas. Nödstopp ska vara lättillgänglig och centralt placerad

Med ovanstående åtgärder bedömer FireTech Optimalt Brandskydd AB att personsäkerheten är acceptabel för personer som befinner sig i aktuell byggnad utifrån genomförd riskvärdering och förekommande transporter av farligt gods.

10 Slutsats

FireTech Optimalt Brandskydd AB anser att om de rekommendationer som redovisats i kapitel 9 beaktas har skäliga åtgärder vidtagits för att begränsa riskerna till följd av transporter av farligt gods på E16 och Västerdalsbanan.

Malmö 2026-03-16
FireTech Optimalt Brandskydd AB

Oscar Mårtensson
Civilingenjör i Riskhantering
Brandingenjör

Granskad av:

Martina Ardenmark
Civilingenjör i Riskhantering
Brandingenjör

Referenser

[1] Länsstyrelsen Dalarnas län, ”Farligt gods i riskhantering i fysisk planering - Vägledning för planläggning intill transporter för farligt gods,” 2012.

[2] Statens Räddningsverk, ”Värdering av risk,” Karlstad, 1997.

[3] Försvarets Forskningsanstalt, Våda utsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor för bedömning av risker, 1998.

[4] Försvarets Forskningsanstalt, ”Risker i Västernorrlands län, metodstudie med exempel för samhällsplaneringen,” Försvarets Forskningsanstalt, 1995.

[5] Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, ”Hantering av brandfarliga gaser och vätskor på bensinstationer,” Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap, Karlstad, 2015.

[6] Trafikverket, *Trafikuppräkningstal för EVA 2017-2040-2065,* 2020.

[7] Trafikanalys, ”Lastbilstrafik 2020 Swedish national and international road goods transport,” 2020.

[8] Malung-Sälens kommun, ”Riskanalys över händelser som kan föranleda räddningsinsatser i Malung-Sälens kommun,” 2015.

[9] Räddningsverket, ”Kartläggning av farligt godstransporter,” 2006.

[10] P. Olsson, ”Vägtransport av farligt gods - beräkningsmodell för olycksfrekvens,” Avdelningen för riskhantering och samhällssäkerhet, Lund, 2020.

[11] Trafikverket, ”Bygg om eller bygg nytt - Kapitel 6 Trafiksäkerhet,” Trafikverket, 2021.

[12] Räddningsverket, ”Farligt gods - Riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg,” Statens räddningsverk, 1996, 1996.

[13] ØSA, ”Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen,” Øresund Safety Advisers AB, 2004.

[14] F. Rådne, ”Transport av explosivt gods - Känner vi till riskerna?,” Lunds universitet, Lunds tekniska högskola, Avdelningen för riskhantering och samhällssäkerhet, Lund, 2020.

[15] RIVM, ”Reference Manual Bevi Risk Assessments version 3.2 - Introduction,” National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, 2009.

[16] Stadsbyggnadskontoret i Göteborg, ”Översiktsplan för göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods (Bilaga 2),” 1997.

[17] Karlsson, H. T., Processriskanalys, Lund: Lunds tekniska högskola, 2012.

[18] EPA, ”ALOHA User's Manual,” U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 2007.

[19] NOAA, ”ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4 - Technical Documentation,” National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Seattle, Washington, 2013.

[20] N. Sohrab och J. Hannah, ”Utsläpp och spridning av giftiga gaser,” Intressentföreningen för processäkerhet, 2009.

[21] B. Andersson, ”Introduktion till konsekvensberäkningar,” Lund University, Lund, 1992.

[22] C. Alfredsson och C.-H. Carlsson, ”Räddningstjänst och miljö,” Räddningsverket, 2006.

[23] RIVM, ”PGS 3 - Guidelines for quantitative risk assessment - 'Purple book',” 2005.

[24] Wuz risk consultancy AB, ”Skyddsavstånd till transportleder för farligt gods - Översiktlig riskanalys av transporter med farligt gods på väg och järnväg i Borås stad,” 2016.

Bilaga A Frekvens och sannolikhetsberäkning

I denna bilaga redovisas sannolikhets- och frekvensberäkningar för de händelser som definierats och identifierats. Frekvens och sannolikhetsberäkningarna kommer att delas upp i utsläpp av farligt gods på väg samt utsläpp av farligt gods på järnväg och som kan ge upphov till personskador. Långsiktiga hälsoskador och miljörisker beaktas ej.

A.1 Frekvensberäkning, utsläpp av farligt gods på väg

Sannolikhet för att ett utsläpp av farligt gods är till stor del beroende av risken att en trafikolycka uppstår – antingen som singelolycka vid transport eller i samband med korsningar. Antalet förväntade trafikolyckor per år uppskattas med Olssons modell [10], vilken är en version av Trafikverkets trafikolycksmodell men vilken är anpassad för just transporter av farligt gods med lastbil.

Modellen för att uppskatta antalet trafikolyckor för farligt gods transporter med lastbil per år av Olsson [10] presenteras nedan:

$$\lambda = L \cdot O_{anpassad} \cdot P \cdot \text{ÅDT}_{tung\ lastbil} \cdot 10^{-6} \cdot 365$$

där

$\lambda =$ uppskattat antal olyckor (år-1)

$L =$ vägsträckans längd (km)

$O_{anpassad} =$ olyckskvot från föreslagen modell (miljonfordonskm^{-1}*år^{-1})

$P =$ andel tunga transporter med farligt gods av tunga lastbilar

$\text{ÅDT}_{tung\ lastbil} =$ årsmedeldygnstrafik för tunga lastbilar

Det är i den anpassade olyckskvoten som modellen har tagit hänsyn till specifikt transporter av farligt gods. Detta görs till exempel genom att beakta att trafikolyckor med farligt gods inte behöver leda till personskador för att risk för utsläpp av godset ska föreligga, utan att olyckor bör även inkludera sådana som endast leder till egendomsskador. Den anpassade olyckskvoten beräknas enligt nedanstående ekvation:

$$O_{anpassad} = PO_k \cdot \left(EG_p \cdot BF_{EG} + \frac{DF \cdot SF}{DO} + \left(1 - \frac{DF \cdot SF}{DO}\right) BF_{SS/LS} \right) \cdot U_{LB} \cdot K_{TA}$$

där

$O_{anpassad} =$ anpassad olyckskvot för olyckor med personskada eller egendomsskada (miljonfordonskm-1år-1)

$PO_k =$ personskadeolyckskvot (miljonaxelparkm-1år-1)

$EG_p =$ egendomsskadepåslag

$BF_{EG} =$ uppräkningsfaktor för statistiskt bortfall av egendomsskador (1 [10])

$DF =$ dödsföljd, andel döda av skadade personer

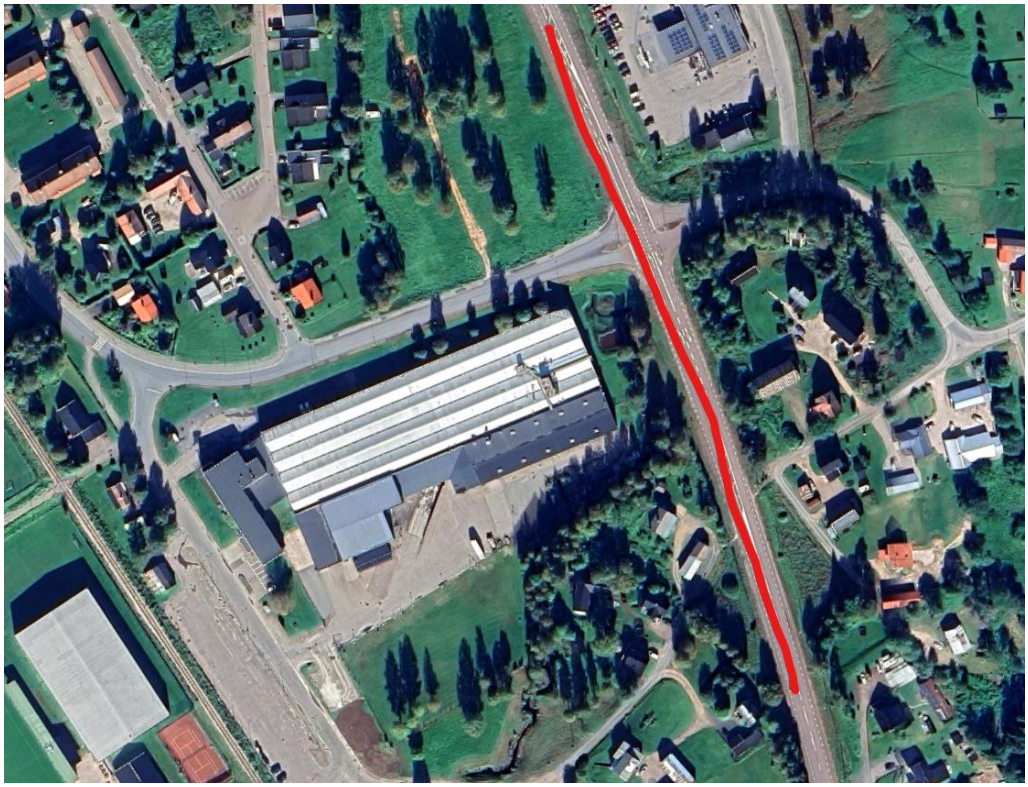
$SF =$ skadeföljd, antal skadade personer per olycka

$DO =$ uppskattat antal döda personer per dödsolycka (enligt Tabell H8 [10])

$BF_{SS/LS} =$ uppräkningsfaktor för statistiskt bortfall av svårt skadade och lindrigt skadade (1,5 inom tätort, 1,7 i övriga vägmiljöer [10])

U_{LB} = uppräkningsfaktor för högre olycksbenägenhet hos tunga transporter med farligt gods (1,5 [10])

K_{TA} = faktor för konvertering av trafikarbete från axelparkilometer till fordonskilometer (enligt Tabell H7 [10])



Figur 11. Bild över undersökt område samt sträcka av transportled.

I beräkningarna förutsätts trafikmiljön runt vägsträckan karakteriseras enligt nedan:

- Väghållare: Statlig
- Vägmiljötyp: Landsbygd
- Vägtyp: Vanlig väg
- Antal körfält: 2
- Bredd: 10,1-11,5 meter
- Hastighetsgräns: 80 km/h

Med data från Tabell 6-12 till Tabell 6-17 i Trafikverkets rapport ”Bygg om eller bygg nytt” [11] en anpassad olyckskvot mellan motorfordon (samt inkluderat singelolyckor) med hänsyn till vägkorsningar (upp till tre statliga vägben) enligt [10]:

$$O_{anpassad} = 0{,}085 \cdot \left(1{,}86 \cdot 1 + \frac{2{,}7 \cdot 1{,}64}{1{,}12} + \left(1 - \frac{2{,}7 \cdot 1{,}64}{1{,}12}\right) 1{,}7\right) \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}11 = 0{,}112$$

Med antagandet att totalt 315 antal lastbilar nyttjar vägsträckan per dygn enligt avsnitt 5.3, att medelvärdet av andelen tunga farligt gods transporter uppgår till 3,2 % enligt nationell statistik från 2024 fås följande olycksfrekvens för farligt gods enligt modellen:

$$\lambda = 1{,}0 \cdot O_{anpassad} \cdot 3{,}2\ \% \cdot \text{ÅDT}_{tung\ lastbil} \cdot 10^{-6} \cdot 365 = 4{,}13E-4$$

För att uppskatta hur många av dessa olyckor som leder till att godset läcker ut och därmed att risker för följdkonsekvenser uppstår används VTI-modellen [12]. I VTI-modellen beskrivs denna sannolikhet med ett index. Detta index tar hänsyn till att sannolikheten för utsläpp ökar exponentiellt med en ökad fordonshastighet. Vägen karaktäriseras enligt VTI-modellen till följande:

- Bebyggelsemiljö: Landsbygd
- Hastighetsgräns: 80 km/h
- Gatu/vägtyp: Trafikled

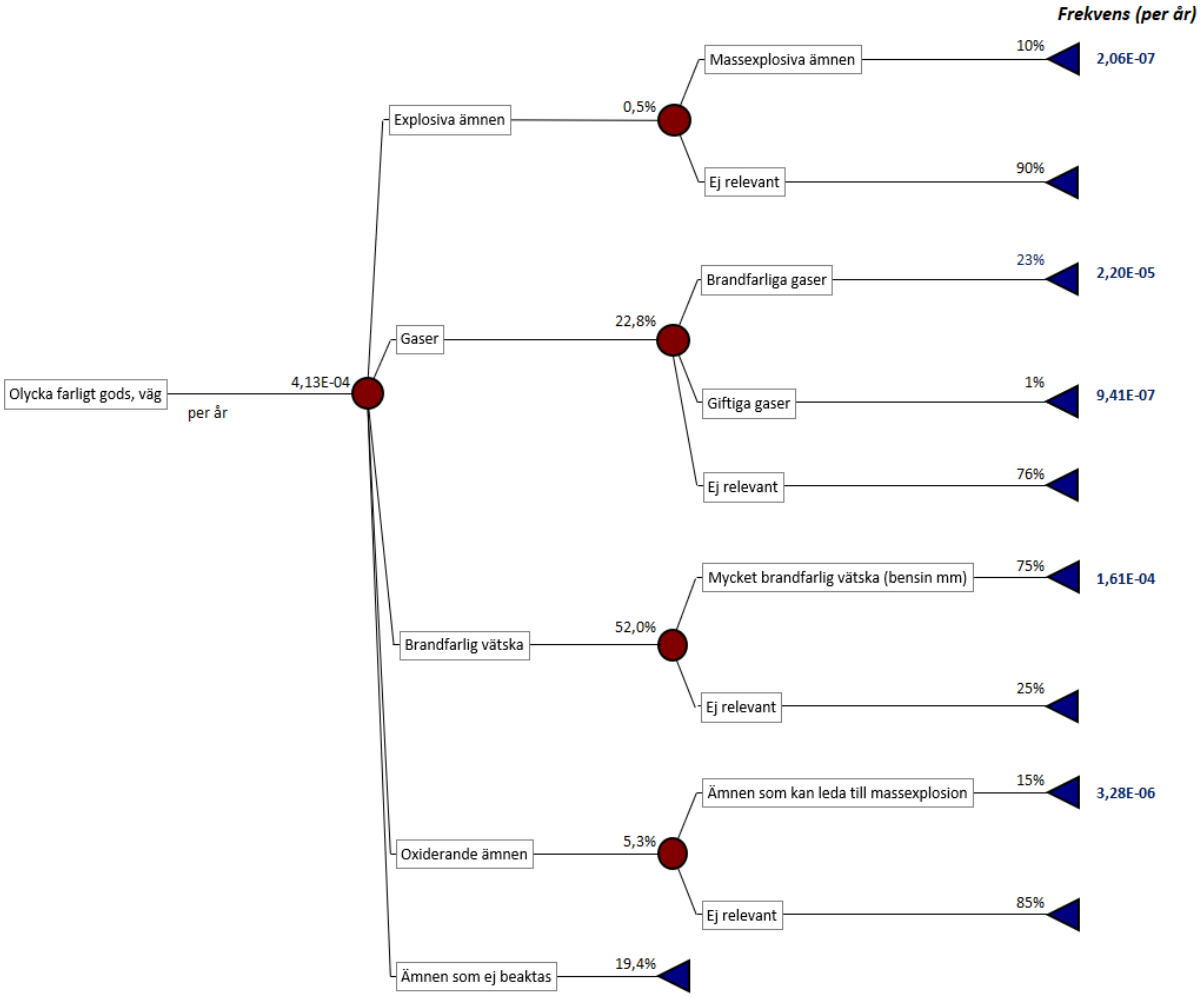
För vägsträckan med ovanstående trafikmiljö fås ett index på 0,213 enligt interpolering av Tabell 2.2 [12]. Således bedöms sannolikheten för utsläpp av farligt gods till följd av en trafikolycka vara 21,3 %.

Sammanlagt ger detta en sannolikhet för utsläpp av farligt gods till följd av trafikolycka på vägsträckan på 8,77E-05 per år.

Vid beräkningarna antas en fördelning av klasser av farligt gods enligt Tabell 3. Enligt resonemang under kapitel 3 är det endast olyckor i samband med klass 1, 2, 3 och 5 som kommer beaktas i beräkningarna. Inom respektive av dessa ADR klasser finns ämnen som har särskild risk för stora konsekvenser i samband med olycka och utsläpp enligt nedan:

- ADR klass 1: massexplosiva ämnen
- ADR klass 2: brännbara eller giftiga gaser
- ADR klass 3: mycket brandfarliga vätskor
- ADR klass 5: oxiderande ämnen där risk för kraftiga brand- och explosionsförlopp föreligger

Andelen sådana ämnen som transporteras i klass 1, 3 och 5 [13]. Andelen brännbara eller giftiga gaser som transporteras inom klass 2 uppskattas enligt [9], där transporterad godsmängd antas vara proportionell mot andelen transporter av gaser. Detta förutsätter att det är ungefär lika stora mängder gas som transporteras i respektive underklass. Övriga ämnen inom ovanstående klasser bedöms ej vara relevanta i analysen. Med förutsättningarna ovan fås en fördelning avseende trafikolycka som leder till utsläpp av respektive klass och deras underklasser enligt Figur 12 nedan.



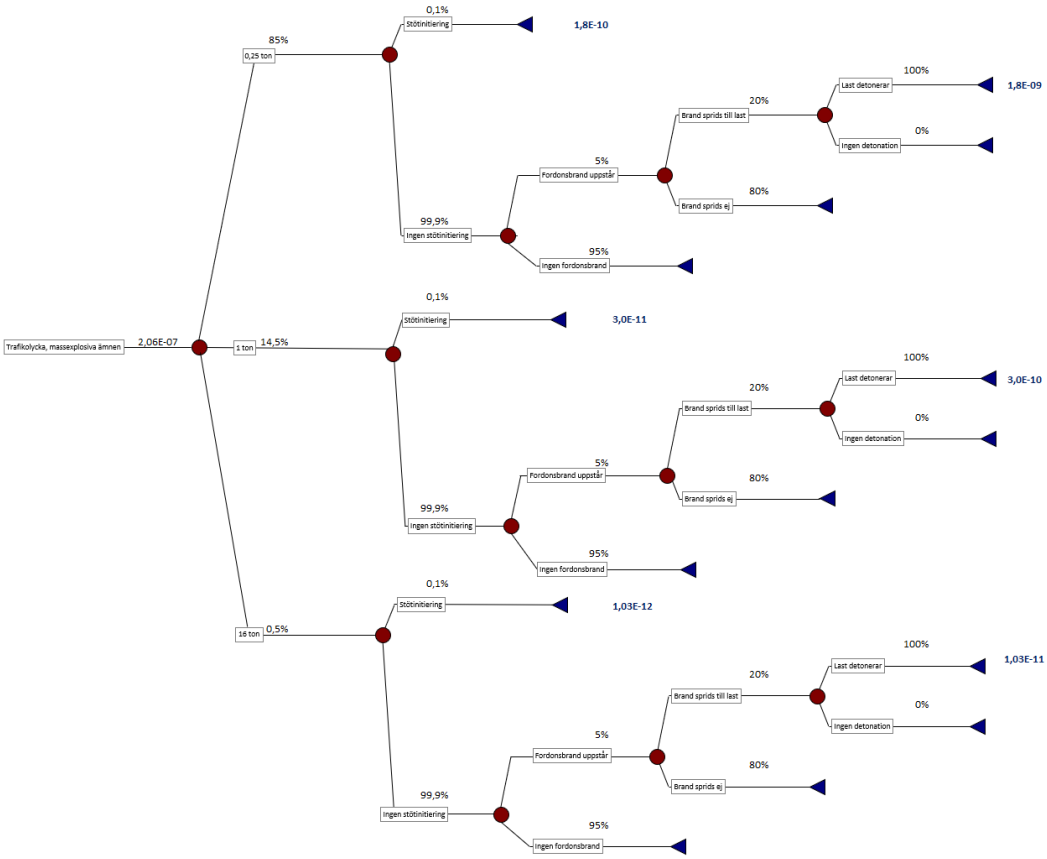
Figur 12. Antagen fördelning av ämnen som transporteras på väg samt frekvenser för olycka med respektive ämne.

A.1.1 ADR klass 1 – Explosiva ämnen

Två typer av konsekvenser vid olycka med explosiva ämnen undersöks: stötinitiering och detonation på grund av fordonsbrand – beroende på hur olyckan sker.

Tester som utförts har visat att massexplosiva ämnen är mycket okänsliga för stötar [14]. Således har sannolikheten för att en stöt ska initiera en explosion ansatts till 0,1 % [14]. Sannolikhet för fordonsbrand i samband med en trafikolycka ansätts till cirka 5 % [14]. Vidare antas att en fordonsbrand sprider sig till lasten i 40 % av fallen [14]. Om branden sprids till lasten antas detta alltid leda till en explosion.

I figuren nedan redovisas scenarier för vidare beräkning enligt ansatta sannolikheter.



Figur 13. Händelseträd för explosiva ämnen. Frekvenser för olika händelser redovisas i slutet av händelseträdet (per år).

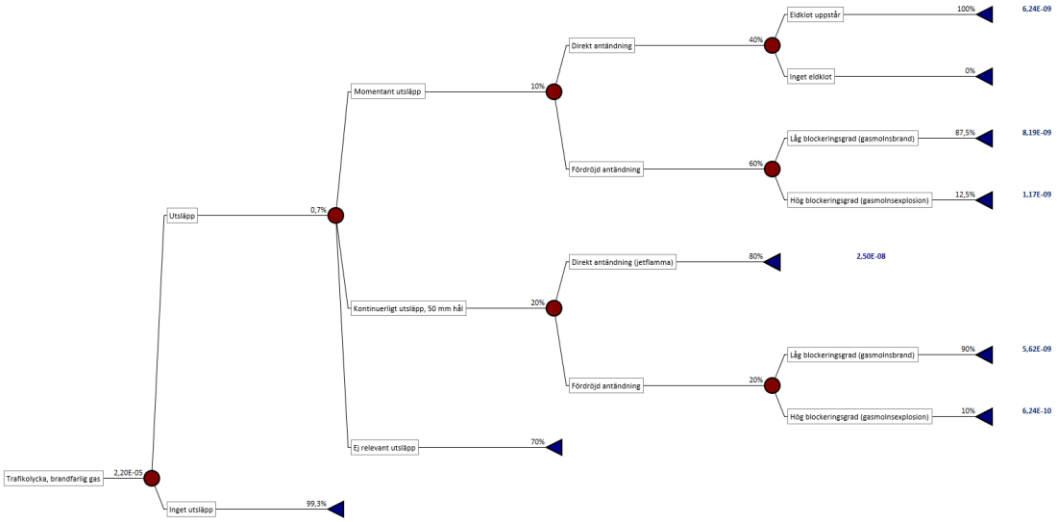
A.1.2 ADR klass 2.1 - Brandfarlig gas

Fyra typer av konsekvenser vid utsläpp av brandfarlig gas undersöks: eldklot, gasmolnsbrand, gasmolnsexplosion och jetflamma – beroende på hur utsläppet sker.

Brännbara gaser transporteras vanligtvis tryck- eller kylkondenserade i tjockväggiga kärl och tankar med hög hållfasthet. En trafikolycka kan därför medföra ett utsläpp av hela tankens innehåll. Utsläpp antas antingen ske momentant (där hela tankinnehållet släpps ut och bildar ett gasmoln) eller kontinuerligt via ett hål med 50 mm diameter, i enlighet med nationella riktlinjer för kvantitativa riskanalyser i Nederländerna [15]. I VTI-handboken anges att tjockväggiga tankar kan antas ha en sannolikhet för utsläpp som är 30 gånger lägre än index, vilket gäller för tunnväggiga tankar.

Beroende på omgivningens utformning där ett utsläpp av brandfarlig gas sprids över finns risk att en gasmolnsexplosion uppstår vid antändning. Detta är primärt en risk vid antändning i områden med hög blockeringsgrad, vilka kännetecknas av till exempel processindustrier med stora mängder rör och installationer eller mycket täta skogar.

I figuren nedan redovisas scenarier för vidare beräkning enligt ansatta sannolikheter.



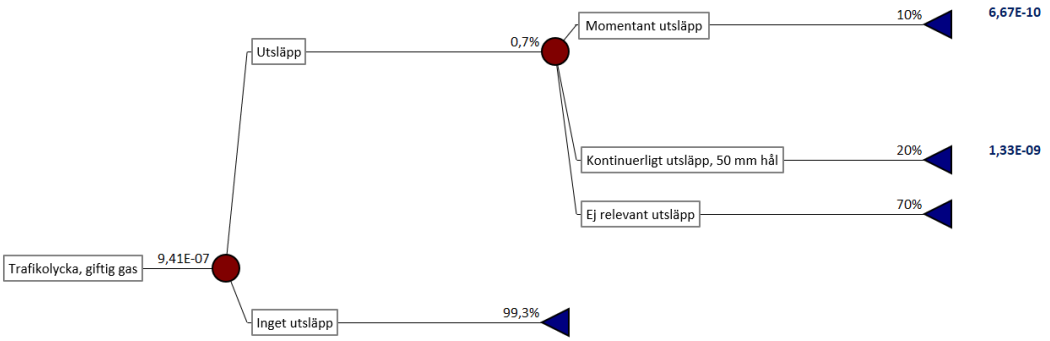
Figur 14. Händelseträd för brandfarlig gas. Frekvenser för olika händelser redovisas i slutet av händelseträdet (per år).

A.1.3 *ADR klass 2.3 - Giftig gas*

Två typer av konsekvenser vid utsläpp av giftig gas undersöks: ett stort gasmoln eller en kontinuerlig plym av giftig gas, som båda transporteras med vinden och sprids över närområdet.

Giftiga gaser transporteras normalt tryckkondenserade, vanligtvis i tjockväggiga tryckkärl och tankar med hög hållfasthet. En trafikolycka kan medföra ett utsläpp av tankens innehåll. Utsläpp antas antingen ske momentant (där hela tankinnehållet släpps ut och bildar ett gasmoln) eller kontinuerligt via ett hål med 50 mm diameter, i enlighet med nationella riktlinjer för kvantitativa riskanalyser i Nederländerna [15]. I VTI-handboken anges att tjockväggiga tankar kan antas ha en sannolikhet för utsläpp som är 30 gånger lägre än index, vilket gäller för tunnväggiga tankar.

I figuren nedan redovisas scenarier för vidare beräkning enligt ansatta sannolikheter.



Figur 15. Händelseträd för giftig gas. Frekvenser för olika händelser redovisas i slutet av händelseträdet (per år).

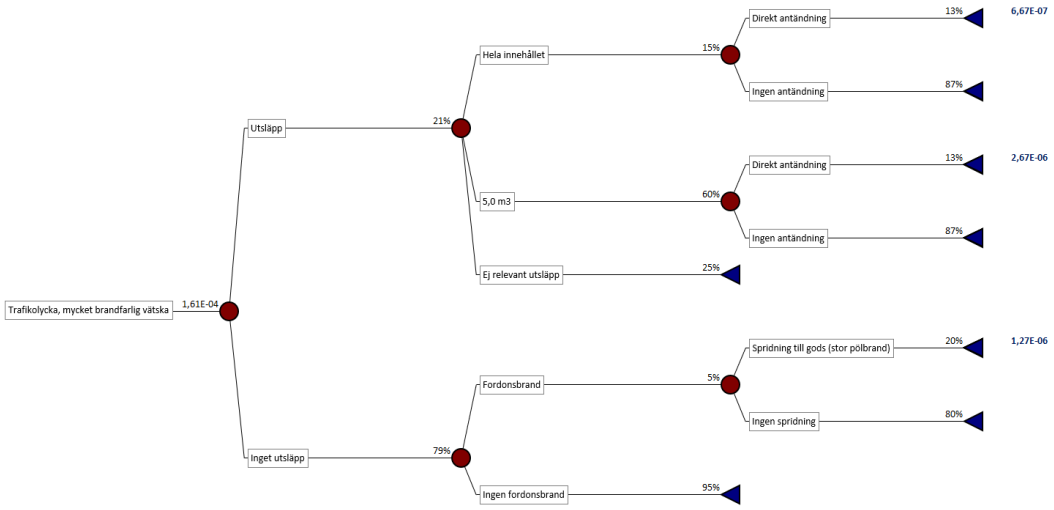
A.1.4 ADR klass 3 - Brandfarliga vätskor

För brandfarliga vätskor är det endast pölbränder till följd av utsläpp av vätska som undersöks. Om tankbilen utsätts för en extern brand finns en risk att en så kallad BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), men i enlighet med [15] inkluderas detta ej i analysen på grund av dess låga sannolikhet.

Brandfarliga vätskor transporteras normalt i tunnväggiga kärl. En trafikolycka kan medföra ett utsläpp av tankens innehåll. Utsläpp antas antingen ske momentant (där hela tankinnehållet släpps ut) eller kontinuerligt via ett hål med 50 mm diameter, i enlighet med nationella riktlinjer för kvantitativa riskanalyser i Nederländerna [15]. Sannolikhet för utsläpp förutsätts motsvara index enligt [12]. Sannolikhet för direkt antändning ansätts enligt [15].

Sannolikheten för att en trafikolycka leder till fordonsbrand ansätts till 5 % enligt tidigare resonemang. Vidare antas att en fordonsbrand sprider sig till lasten i 20 % av fallen.

I figuren nedan redovisas scenarier för vidare beräkning enligt ansatta sannolikheter.



Figur 16. Händelseträd för brandfarlig vätska. Frekvenser för olika händelser redovisas i slutet av händelseträdet (per år).

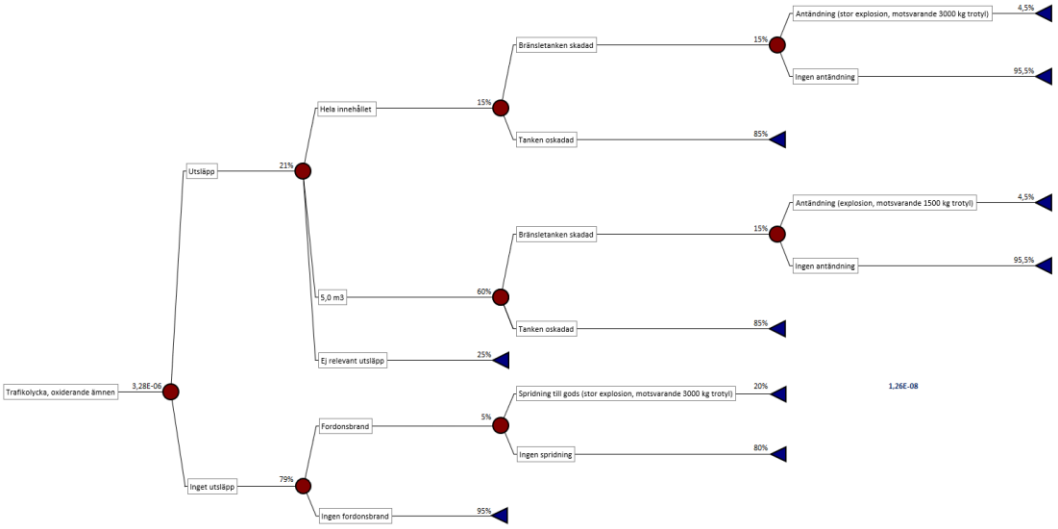
A.1.5 ADR klass 5 - Oxiderande ämnen

För vissa oxiderande ämnen finns det risk att ett explosionsartat förlopp uppstår om det oxiderande ämnet kommer i kontakt med organiskt material (som till exempel lastbilens egna drivmedel som läckt ut i samband med trafikolyckan).

Oxiderande ämnen transporteras normalt i tunnväggiga kärl. En trafikolycka kan medföra ett utsläpp av tankens innehåll. Utsläpp antas antingen ske momentant (där hela tankinnehållet släpps ut) eller kontinuerligt via ett hål med 50 mm diameter i enlighet med nationella riktlinjer i Nederländerna [15]. Sannolikhet för utsläpp förutsätts motsvara index enligt [12]. Sannolikhet för att fordonets bränsletank skadas i samband med trafikolyckan uppskattas till 15 % enligt [16]. Sannolikhet för antändning ansätts enligt [15].

Sannolikheten för att en trafikolycka leder till fordonsbrand ansätts till 5 % enligt tidigare resonemang. Vidare antas att en fordonsbrand sprider sig till lasten i 20 % av fallen.

I figuren nedan redovisas scenarier för vidare beräkning enligt ansatta sannolikheter.



Figur 17. Händelseträd för oxiderande ämnen. Frekvenser för olika händelser redovisas i slutet av händelseträdet (per år).

A.2 Frekvensberäkning, utsläpp av farligt gods på järnväg

Sannolikhet för ett utsläpp av farligt gods på järnväg är till stor del beroende av risken att en olycka uppstår – antingen som en urspårning, en kollision mellan järnvägsfordon eller på grund av en kollision mellan tåg och tungt vägfordon i samband med plankorsningar.

För beräkning av frekvenser för olyckor enligt ovan med vagnar med farligt gods på järnväg används VTI:s rapport som underlag [12].

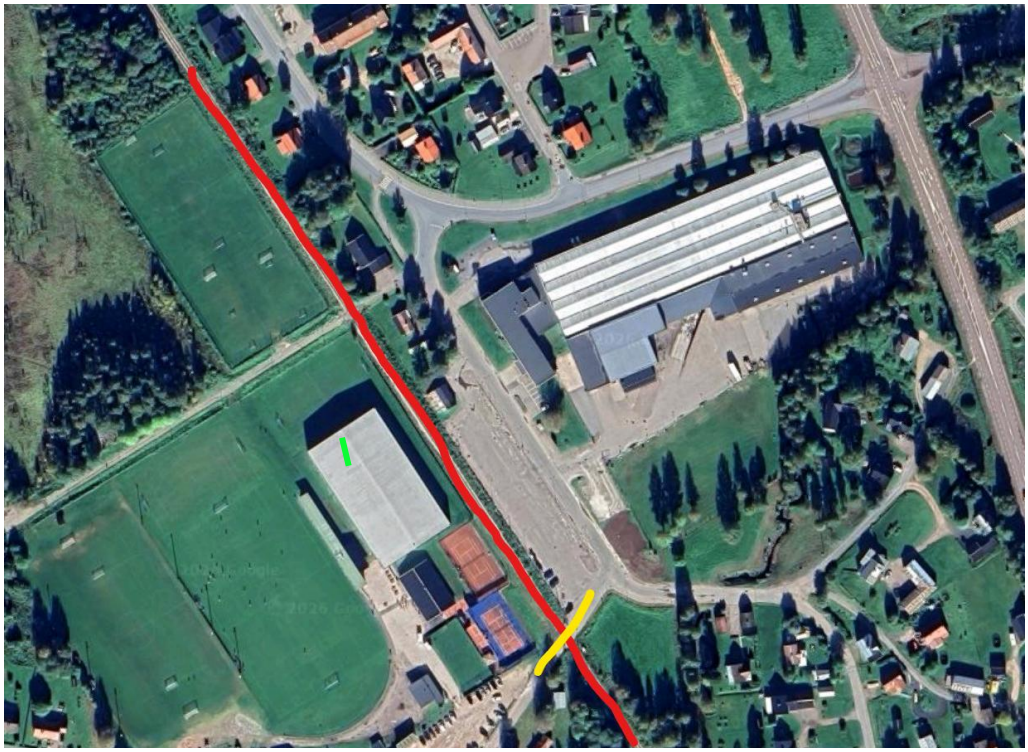
För tåg med övervägande antal vagnar utan farligt gods används följande formler:

$$F1 = AT * S * (TAF * 2{,}5 * (UTif + UTof) + (UTig + UTOg) * 2/TAV)$$

$$F2 = AT * S * FKT * 3/TAV$$

$$F3 = AT * 2 * (\sum_{i=1}^{3} PKi * FKVi)/TAV$$

Antalet, typen och placeringen av plankorsningar redovisas i Figur 18 nedan. Plankorsning med bommar som skydd (Typ 1) markeras i gult.



Figur 18. Bild över undersökt område samt sträcka av transportled samt plankorsningar.

Indata som användes redovisas i Tabell 4, statistik redovisad i avsnitt 5.2 används som underlag för beräkningar.

Tabell 4. Parametrar och indata för beräkningar av antal vagnar med farligt gods i trafikolyckor/år på den undersökta järnvägsträckan.

Parameter	Indata	Kommentar
Antal tåg med farligt gods per år (AT)	39,9	Uppskattas med hjälp av antal vagntransporter som förväntas ske per dag, samt hur många av dessa som förväntas vara farligt gods.
Avsnittets längd i km (S)	1,0	
Tågens medelstorlek uttryckt i antal vagnaxlar, fagovagnar (TAF)	12	Med antagandet om att varje godsvagn är fyraxlade samt då 7,8 % av vagnarna bedöms utgöra farligt gods enligt avsnitt 5.2.
Tågens medelstorlek uttryckt i antal vagnaxlar (alla vagnar) (TAV)	154,6	För gasolomlastningen och KVV antas transporterna endast utgöras av vagnar med farligt gods
Urspåringstal, boggievagnar (UTif)	7,3E-9	Tabell 1.2 [12], ospecificerad spårkvalité
Urspåringstal, ”normalgodstågsvagnar” (UTig)	16,7E-9	Tabell 1.2 [12], ospecificerad spårkvalité
Urspåringstal, ej spårkvalitetsberoende, boggievagnar (UTOf)	4,0E-9	Tabell 1.3 [12]
Urspåringstal, ej spårkvalitetsberoende, ”normalgodstågsvagnar” (UTOg)	8,7E-9	Tabell 1.3 [12]

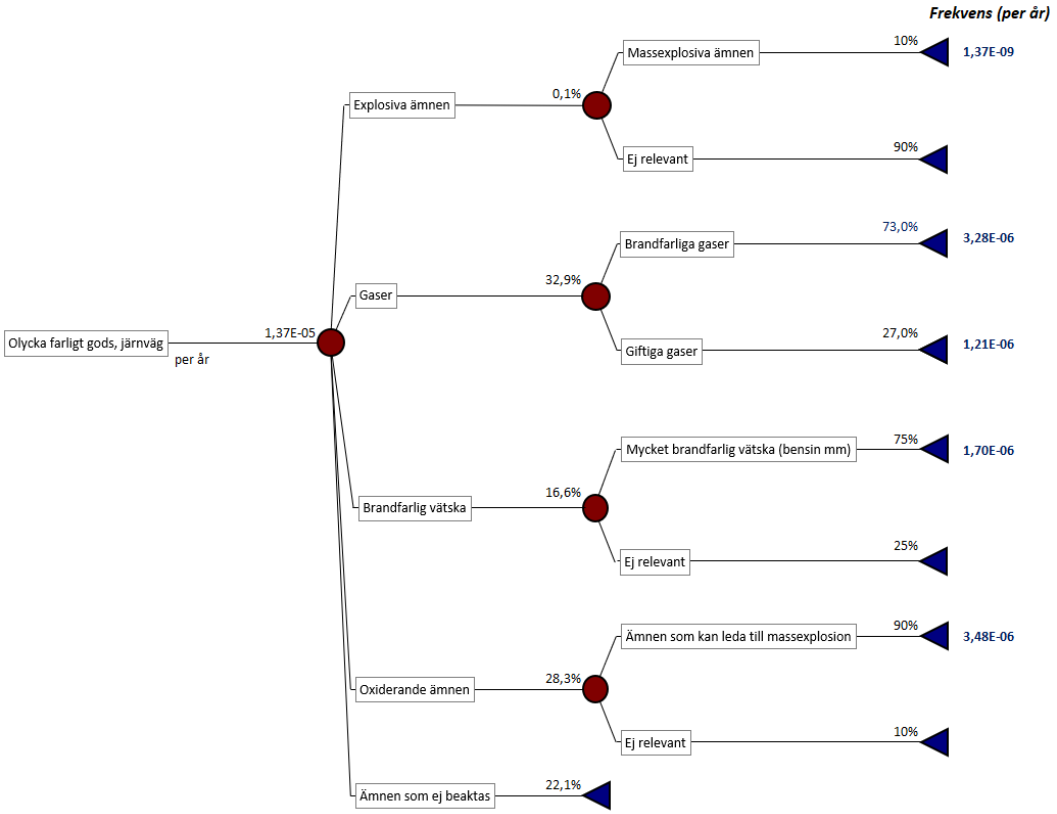
Förväntat antal kollisioner tåg-tåg/vut, per tågkm (FKT)	6,0E-8	[12]
PKi	1 st av Typ 1 0 st av Typ 2 0 st av Typ 3	Summan av antalet plankorsningar beroende av deras skydd. Bommar (Typ 1), Ljud och ljus (Typ 2) samt Kryssmärke, grind eller inget (Typ 3).
FKVi	Typ 1: 5,0E-8 Typ 2: 15,0E-8 Typ 3: 2,0E-8	Förväntat antal sammanstötningar med tungt fordon per övergång och tåg enligt Tabell 1.4 [12].
F1	1,4E-05	På grund av urspårning, beräkning enligt ekvation ovan [12].
F2	4,6E-08	På grund av kollisioner tåg-tåg, beräkning enligt ekvation ovan [12].
F3	2,6E-08	På grund av kollisioner tåg-tung vägfordon, beräkning enligt ekvation ovan [12].
F	1,4E-05	F1+F2+F3

Sammanlagt ger detta en sannolikhet för en olycka med farligt gods på järnvägsträckan på 1,4E-05 per år.

Vid beräkningarna antas en fördelning av klasser av farligt gods enligt Tabell 2. Enligt resonemang under kapitel 3 är det endast olyckor i samband med klass 1, 2, 3 och 5 som kommer beaktas i beräkningarna. Inom respektive av dessa RID klasser finns ämnen som har särskild risk för stora konsekvenser i samband med olycka och utsläpp enligt nedan:

- RID klass 1: massexplosiva ämnen
- RID klass 2: brännbara eller giftiga gaser
- RID klass 3: mycket brandfarliga vätskor
- RID klass 5: oxiderande ämnen där risk för kraftiga brand- och explosionsförlopp föreligger

Andelen sådana ämnen som transporteras i klass 1, 3 och 5 [13]. Andelen brännbara eller giftiga gaser som transporteras inom klass 2 uppskattas enligt [9], där transporterad godsmängd antas vara proportionell mot andelen transporter av gaser. Detta förutsätter att det är ungefär lika stora mängder gas som transporteras i respektive underklass. Övriga ämnen inom ovanstående klasser bedöms ej vara relevanta i analysen. Med förutsättningarna ovan fås en fördelning avseende trafikolycka som leder till utsläpp av respektive klass och deras underklasser enligt Figur 12 nedan.

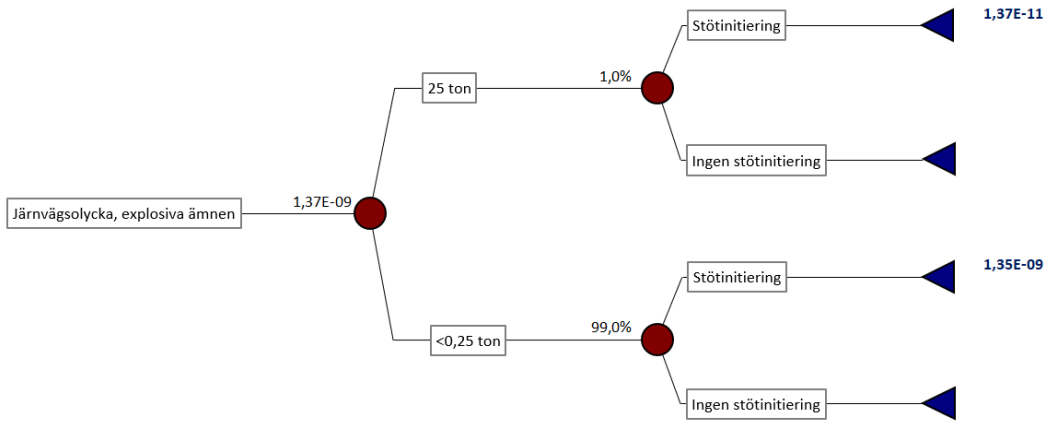


Figur 19. Antagen fördelning av ämnen som transporteras på järnväg samt frekvenser för olycka med respektive ämne.

A.1.1 RID klass 1 – Explosiva ämnen

Tester som utförts har visat att massexplosiva ämnen är mycket okänsliga för stötar [14]. Således har sannolikheten för att en stöt ska initiera en explosion ansatts till 0,1 %.

I figuren nedan redovisas scenarier för vidare beräkning enligt ansatta sannolikheter.



Figur 20. Händelseträd för explosiva ämnen. Frekvenser för olika händelser redovisas i slutet av händelseträdet (per år).

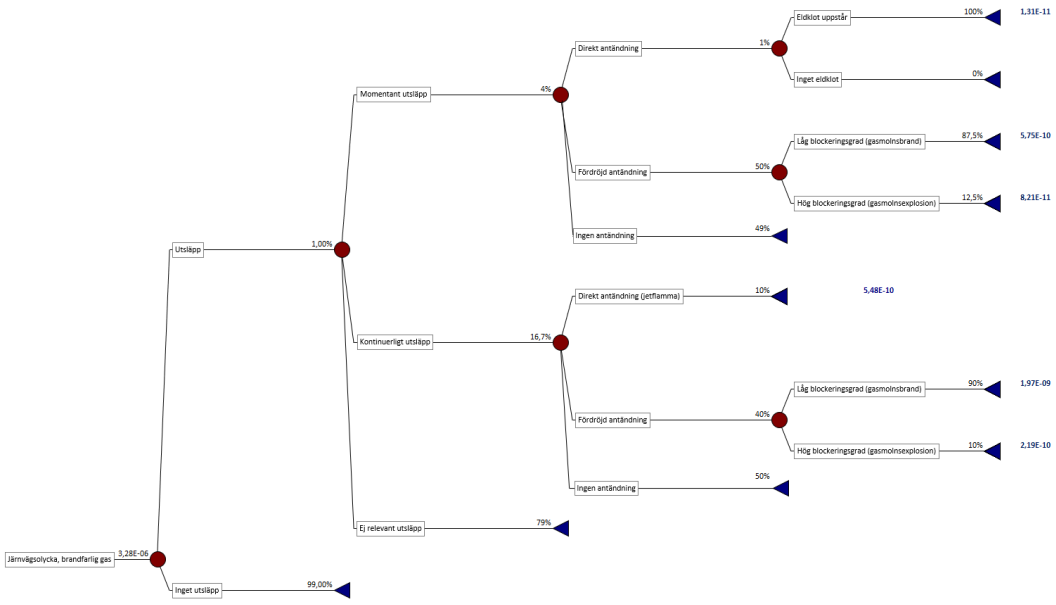
A.1.2 RID klass 2.1 - Brandfarlig gaser

Fyra typer av konsekvenser vid utsläpp av brandfarlig gas undersöks: eldklot, gasmolnsbrand, gasmolnsexplosion och jetflamma – beroende på hur utsläppet sker.

Brännbara gaser transporteras vanligtvis tryck- eller kylkondenserade i tjockväggiga kärl och tankar med hög hållfasthet. En järnvägsolycka kan därför medföra ett utsläpp av hela tankens innehåll. Utsläpp antas antingen ske momentant (där hela tankinnehållet släpps ut och bildar ett gasmoln) eller kontinuerligt. Utifrån VTI-handbokens konsekvensberäkningar ansätts endast större kontinuerliga utsläpp vara relevanta och sannolikhet för övriga typer av utsläpp bedöms ej vara relevanta i beräkningarna. Sannolikheter för utsläpp, typ av utsläpp (kontinuerligt eller momentant) samt antändning hämtas från samma källa.

Beroende på omgivningens utformning där ett utsläpp av brandfarlig gas sprids över finns risk att en gasmolnsexplosion uppstår vid antändning. Detta är primärt en risk vid antändning i områden med hög blockeringsgrad, vilka kännetecknas av till exempel processindustrier med stora mängder rör och installationer eller mycket täta skogar.

I figuren nedan redovisas scenarier för vidare beräkning enligt ansatta sannolikheter.



Figur 21. Händelseträd för brandfarlig gas. Frekvenser för olika händelser redovisas i slutet av händelseträdet (per år).

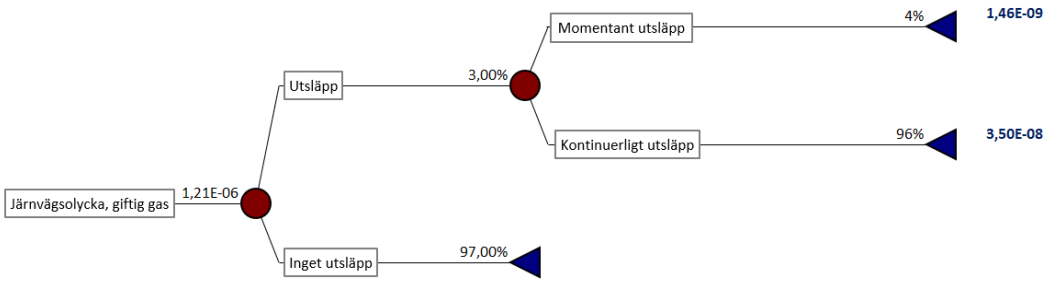
A.1.3 RID klass 2.3 - Giftig gaser

Två typer av konsekvenser vid utsläpp av giftig gas undersöks: ett stort gasmoln eller en kontinuerlig plym av giftig gas, som båda transporteras med vinden och sprids över närområdet.

Giftiga gaser transporteras normalt tryckkondenserade, vanligtvis i tjockväggiga tryckkärl och tankar med hög hållfasthet. En järnvägsolycka kan medföra ett utsläpp av tankens innehåll. Utsläpp antas antingen ske momentant (där hela tankinnehållet släpps ut och bildar ett gasmoln) eller kontinuerligt. Utifrån VTI-handbokens konsekvensberäkningar ansätts

samtliga kontinuerliga utsläpp vara relevanta att studera vidare. Sannolikheter för utsläpp samt typ av utsläpp (kontinuerligt eller momentant) hämtas från samma källa.

I figuren nedan redovisas scenarier för vidare beräkning enligt ansatta sannolikheter.



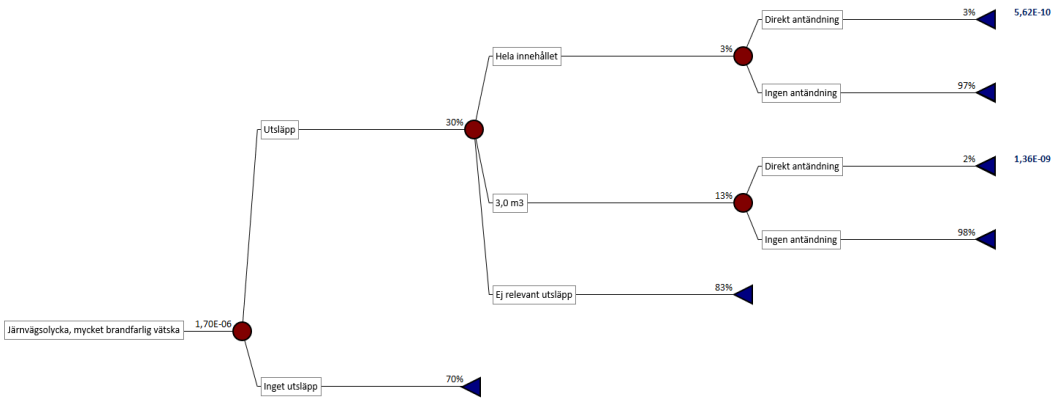
Figur 22. Händelseträd för giftig gas. Frekvenser för olika händelser redovisas i slutet av händelseträdet (per år).

A.1.4 *RID klass 3 - Brandfarliga vätskor*

För brandfarliga vätskor är det endast pölbränder till följd av utsläpp av vätska som undersöks. Om tankbilen utsätts för en extern brand finns en risk att en så kallad BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), men i enlighet med [15] inkluderas detta ej i analysen på grund av dess låga sannolikhet.

Brandfarliga vätskor transporteras normalt i tunnväggiga kärl. En trafikolycka kan medföra ett utsläpp av tankens innehåll. Utsläpp antas antingen ske momentant (där hela tankinnehållet släpps ut) eller att stora delar släpps ut. Utifrån VTI-handbokens konsekvensberäkningar ansätts ej små utsläpp vara relevanta att studera vidare. Sannolikheter för utsläpp samt typ av utsläpp (hela eller delar av tankinnehållet) hämtas från samma källa.

I figuren nedan redovisas scenarier för vidare beräkning enligt ansatta sannolikheter.



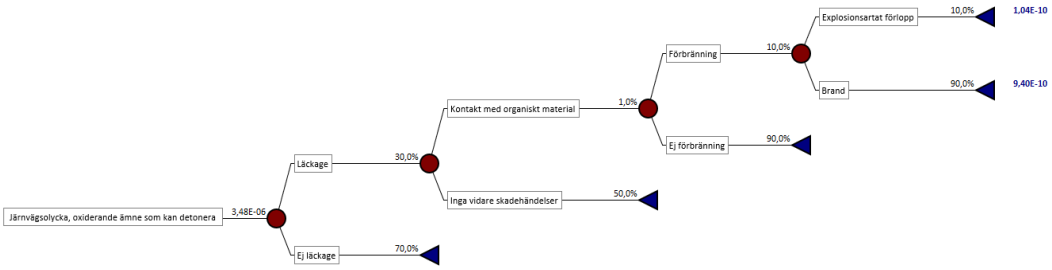
Figur 23. Händelseträd för brandfarlig vätska. Frekvenser för olika händelser redovisas i slutet av händelseträdet (per år).

A.1.5 RID klass 5 - Oxiderande ämnen

För vissa oxiderande ämnen finns det risk att ett explosionsartat förlopp uppstår om det oxiderande ämnet kommer i kontakt med organiskt material.

Oxiderande ämnen transporteras normalt i tunnväggiga kärl. En järnvägsolycka kan medföra ett utsläpp av tankens innehåll. Sannolikhet för att läckage av tankens innehåll bedöms vara 30 %. Sannolikheten att utsläppet ska komma i kontakt med organiskt material och blandas väl ansätts till 1 %. Sannolikhet för förbränning respektive ett explosionsartat förlopp ansätts till 10 %, med 90 % sannolikhet att förbränningen leder till en brand.

I figuren nedan redovisas scenarier för vidare beräkning enligt ansatta sannolikheter.



Figur 24. Händelseträd för oxiderande ämnen. Frekvenser för olika händelser redovisas i slutet av händelseträdet (per år).

A.3 Scenarier för konsekvensberäkningar

Nedan redovisas de scenarier med tillhörande frekvenser som används för konsekvensberäkningar.

Tabell 5. Olycksscenarier som undersöks i riskberäkningarna

Benämning	Klass	Scenario	Frekvens (per år)
A1	1.1	Liten explosion stötinitiering	2,3E-11
A2	1.1	Liten explosion detonation	2,3E-10
A3	1.1	Mellan explosion stötinitiering	3,9E-12
A4	1.1	Mellan explosion detonation	3,9E-11
A5	1.1	Stor explosion stötinitiering	1,3E-13
A6	1.1	Stor explosion detonation	1,3E-12
B1	2.1	Momentant utsläpp, eldklot	2,7E-10
B2	2.1	Momentant utsläpp, gasmolnsbrand	4,0E-10
B3	2.1	Momentant utsläpp, gasmolnsexplosion	4,0E-10
B4	2.1	Kontinuerligt utsläpp jetflamma	1,1E-09
B5	2.1	Kontinuerligt utsläpp gasmolnsbrand	2,7E-10
B6	2.1	Kontinuerligt utsläpp, gasmolnsexplosion	4,0E-10
C1	2.3	Momentant utsläpp	2,9E-11
C2	2.3	Kontinuerligt utsläpp	5,7E-11
D1	3	Hela innehållet	2,9E-08
D2	3	5,0 m^3	1,1E-07
D3	3	Fordonsbrand	1,9E-07
E1	5.1	Stor explosion	3,0E-11
E2	5.1	Liten explosion	1,2E-10
E3	5.1	Fordonsbrand	5,4E-10
A1a	1.1	Stor explosion stötinitiering	1,4E-11
A2a	1.1	Liten explosion stötinitiering	1,4E-09
B1a	2.1	Momentant utsläpp, eldklot	1,3E-11
B2a	2.1	Momentant utsläpp, gasmolnsbrand	6,6E-10
B3a	2.1	Momentant utsläpp, gasmolnsexplosion	6,6E-10
B4a	2.1	Kontinuerligt utsläpp jetflamma	5,5E-10
B5a	2.1	Kontinuerligt utsläpp gasmolnsbrand	2,2E-09
B6a	2.1	Kontinuerligt utsläpp gasmolnsexplosion	2,2E-09
C1a	2.3	Momentant utsläpp	3,5E-08
C2a	2.3	Kontinuerligt utsläpp	5,6E-10
D1a	3	Hela innehållet	1,4E-09
D2a	3	5,0 m^3	1,0E-10
E1a	5.1	Antändning hela innehållet	9,4E-10
E2a	5.1	Stor brand (motsvarande stor pölbrand)	1,4E-11
F1	-	Mekanisk skada	1,3E-05
F2	-	Mekanisk skada	1,6E-07
F3	-	Mekanisk skada	2,7E-07
F4	-	Mekanisk skada	4,1E-08

Bilaga B Konsekvensberäkningar

I denna bilaga redovisas beräkningar av konsekvenserna för de scenarier med olyckor med farligt gods för vilka frekvenserna har uppskattats i Bilaga A.

B.1 Allmänt

För att kunna fastställa och värdera individ- och samhällsrisk behöver det uppskattas konsekvenser för identifierade skadehändelser.

Uppskattningar av konsekvensavstånd görs med beräkningsprogramvara, handberäkningsmodeller och förenklade antaganden.

Med konsekvensavstånd menas det avstånd där 50 % dödlighet nås. I beräkningarna görs en diskret indelning där 100 % inom detta avstånd antas omkomma och att 100 % utanför detta område överlever. I verkligheten kommer vissa individer att överleva inom detta avstånd, medan andra omkommer bortom detta avstånd.

Således behövs det bestämmas skadekriterier där 50 % dödlighet förväntas uppnås beroende på skadeutfall.

B.1.1 Skadekriterier

De skadeutfall som kan inträffa till följd av de identifierade skadehändelserna i Bilaga A är:

- Brännskador
- Tryckskador
- Förgiftning

Sannolikheten för dödsfall till följd av brännskador uppskattas bland annat med hjälp av ALOHA samt probitberäkningar. I beräkningar görs en förenkling att samtliga personer direkt inom flamfronten förväntas dö i samband med brännskador, medan personer utanför förväntas överleva. I de fall där infallande strålningar kan beräknas med hjälp av ALOHA tillämpas skadekriterier vilka tar hänsyn till den förväntade maximala exponeringstiden.

Sannolikheten för dödsfall till följd av tryckskador uppskattas med hjälp av Tabell 6 nedan [3]. Ett infallande tryck på 260 kPa anges vara dödligt i 50 % av fallen. Eftersom personer också kan omkomma till följd av indirekta skador så som skallfrakturer då personer kastas utav tryckvågen eller på grund av splitter och fallande byggnadsdelar används dock gränsen 210 kPa (motsvarar 10 % döda) för att bestämma konsekvensområde.

Tabell 6. Infallande tryck i kPa som följd av explosion och skadegrad på människor

Skada	Infallande tryck (kPa)
Gräns för lungskador (alla skadade)	70
Gräns för dödliga skador (1 % döda)	180
10 % döda	210
50 % döda	260
90 % döda	300
99 % döda	350

Det anges i [17] att ett övertryck motsvarande 0,2 atmosfärer innebär risk för allvarliga skador på byggnader. Med anledning av detta görs antagandet att 1/3 av byggnader som påverkas av ett övertryck motsvarade 20 kPa skadas betydande och att 1/3 av personerna som befinner sig i byggnader omkommer.

Uppskattning av dödlighet i samband med förgiftning vid utsläpp av giftiga gaser görs med hjälp av så kallade AEGL-3 värden samt en exponeringstid beroende av scenariot som inträffar. AEGL-systemet är framtaget av den amerikanska miljövårdmyndigheten Environmental Protection Agency (EPA).

B.1.2 Programvara för konsekvensberäkningar

För att utföra konsekvensuppskattningar till följd av ett utsläpp av farligt gods används version 5.4.7 av beräkningsprogramvaran ALOHA (Areal Locations Of Hazardous Atmospheres) där så är möjligt. Denna version är utgiven i september 2016. ALOHA är avsett för att modellera utsläpp, spridning och konsekvenser av farliga ämnen och är utvecklat tillsammans av de amerikanska myndigheterna NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) och EPA.

ALOHA utvecklades från början främst för syftet att användas av räddningstjänst men har med tiden utvecklats till att bli ett verktyg som också används för samhällsplanerings- och akademiska ändamål [18].

Ett antal begränsningar finns i ALOHA. [18] [19]

- Ingen vind eller mycket låg vindhastighet innebär att beräkningsresultatet blir otillförlitligt.
- Vindhastighetens variation med höjden beaktas, men i övrigt görs antaganden att inmatad vindhastighet gäller för hela området som påverkas av utsläppet.
- Mycket stabila atmosfäriska villkor kan leda till att utsläppet knappast alls späds ut i luften vilket kan ge mycket höga koncentrationer långt från utsläppskällan. Detta kan inte modelleras i ALOHA.
- Virvlar (eng. ”eddies”) i atmosfären vilka är större än utsläppsplymen kommer orsaka ett slingrande utseende i tid och rum hos plymen, i ALOHA beaktas inte detta utan koncentrationer beräknas som tidsmedelvärden under flera minuter.
- Byggnader och topologi i omgivningen påverkar hur utsläppet rör sig, detta förenklas genom att en ytråhet för omgivningen ansätts.

Begränsningarna redogjorda för ovan är typiska för sådana här sortens av beräkningsprogram. Fördelarna med dem är att det går snabbt att utföra beräkningar vilket medger möjlighet att utvärdera ett stort antal scenarier och variationer hos påverkande parametrar. [20]

Två modeller för spridning i luft är inkluderade i ALOHA: en gaussisk modell och en tunggasmodell. För en mer detaljerad redogörelse för spridningsmodeller och spridning i luft hänvisas till [3], [21] och [18] - [22].

B.2 Parametrar som påverkar beräkningar i ALOHA

ALOHA beaktar en rad parametrar som påverkar spridningen av ett utsläpp. Nedan redogörs kortfattat för dessa parametrar och hur dessa beaktas i beräkningarna i denna riskanalys. Redogörelsen bygger på [18] och [19] där inget annat anges.

- ***Vindhastighet och vindriktning***
  Vindhastigheten påverkar hur snabbt ett utsläpp transporteras i vindriktningen och hur mycket det sprids ut vertikalt och späds ut. I beräkningarna används 10 meter som referenshöjd för vindhastigheten eftersom det är denna höjd mätningarna är gjorda för.

- ***Ytråhet***
  Hur landskapet där utsläppet sker ser ut påverkar turbulens och inblandning av luft och därmed utspädning av utsläppet. Till exempel om landskapet förväntas vara helt öppet kan höga koncentrationer av utsläppet förväntas på längre avstånd från källan, än om spridning sker över en tätort.

- ***Molnighet***
  ALOHA använder molnigheten (anges i tiotal procent) för att uppskatta infallande solstrålning. En hög molnighet medför en lägre infallande solstrålning vilket gör atmosfären mer stabil varvid kemikalieutsläpp får längre konsekvensavstånd. I beräkningarna antas konservativt att 100 % molnighet råder.

- ***Lufttemperatur***
  Temperaturen i luften i atmosfären påverkar flertalet olika fysikaliska processer vid kemiska utsläpp till atmosfären. Bland annat påverkar det hur snabbt en pöl förångas, där en högre temperatur medför en snabbare förångning. I beräkningarna antas en medeltemperatur på 10 grader.

- ***Stabilitetsklass***
  Atmosfärisk stabilitetsklass utgör ett mått på turbulensen i atmosfären. Stabiliteten är främst beroende av solstrålning och vindhastighet och påverkar både luftinblandning och spridningsförlopp. Klasserna delas in med beteckningarna A-F, där A innebär extremt instabil och F innebär extremt stabil. En högre stabilitetsklass medför generellt längre konsekvensavstånd. Se Tabell 7 för en översikt över stabilitetsklasser. ALOHA uppskattar lämplig stabilitetsklass beroende på vindhastighet och molnighet. Är flera stabilitetsklasser möjliga väljer programmet konservativt den stabilaste.

Tabell 7. Kategorisering av stabilitetsklass efter vindhastighet, dag/natt, solinstrålning och molntäcke. Tabellen är översatt och återgiven från [22].

Vindhastighet	***Dag***			***Natt***	
10 m ovan mark (m/s)	*Solinstrålning*			*Molntäcke*	
	Stark	*Måttlig*	*Svag*	*> 50 %*	*< 50 %*
<2	*A*	*A-B*	*B*	*E*	*F*
2-3	*A – B*	*B*	*C*	*E*	*F*
3-5	*B*	*B-C*	*C*	*D*	*E*
5-6	*C*	*C - D*	*D*	*D*	*D*
>6	*C*	*D*	*D*	*D*	*D*
För helt mulet väder är stabilitetsklassen D för både dag och natt.					

- ***Inversion***
  Inversion är ett fenomen där högre belägen luft i atmosfären är varmare än vid marken. I praktiken innebär detta att ett ”lock” bildas och marknära utsläpp hindras från att stiga uppåt. Fenomenet uppträder typiskt vinterdagar där vindhastigheten är låg och skiktningen stabil och är vanligt under vintern i Sverige. För en mer detaljerad redogörelse hänvisas till [3]. Fenomenet är ovanligt och sker på sådan höjd att det vanligtvis inte påverkar ett utsläpp vid marknivå – varvid inversion inte beaktas i beräkningarna.

- ***Luftfuktighet***
  För spridningsberäkningar i ALOHA används luftfuktigheten för modellering av utsläpp med tunggasmodell. Värdet 80 % används i beräkningarna, vilket är ett genomsnittsvärde för Sverige [20].

- ***Utsläppets höjd ovan mark***
  Utsläppets höjd ovan mark påverkar spridningsbilden. Nära utsläppskällan blir koncentrationerna lägre eftersom det tar en viss tid innan utsläppet blandas ner till marknivå. Ammoniak har något lägre densitet än luft vilket kommer skapa ett ”plymlyft” tills tillräckligt mycket luft har blandats in för att neutralisera effekten. Se [3] för en mer detaljerad redogörelse. Utsläppskällans höjd ovan mark har antagits vara 0 meter (marknivån) då detta medför längst konsekvensavstånd.

Följande indata har använts vid alla beräkningar:

- Utsläppspunkten antas vara vid marknivån i öppet landskap.
- Datum och klockslag: 2026-02-05, 12:00
- Vind: 3 meter per sekund på 10 meters höjd.
- Lufttemperatur: 10 ºC
- Molnighet: 100 %
- Stabilitetsklass: D (neutral stabilitet)

B.3 Klass 1.1 – Olycka med massexplosivt ämne

Farligt gods som utgörs av explosiva ämnen kan medföra explosion om godset utsätts för stötar (till exempel till följd av kollision) eller påverkan från brand. En explosion ger upphov till en tryckvåg som kan medföra både direkta och indirekta skador. Indirekta skador följer exempelvis av splitter och fallande byggnadsdelar eller att människor kastas omkull av tryckvågen. Tryckvågen kan dessutom ge upphov till skador på byggnader som riskerar att helt eller delvis kollapsa.

Följande modell används för att uppskatta övertryck orsakad av explosion av last med farligt gods vid olycka. [17]

$$\ln(z) = 4{,}13 - 0.862 * \gamma + 0.0371 * \gamma^2$$

med

$$z = \frac{r}{{m_{tnt}}^{1/3}}$$

och

$$\gamma = \ln(P)$$

där

r = avståndet från explosionscentrum (m)

m_{tnt} = är massa i TNT-ekvivalenter (kg)

P = är övertryck (kPa)

Det antas att explosiva ämnen som transporteras utgörs av TNT och med anledning av detta används mängder i kilo utan korrigering.

Med sambanden presenterade ovan fås följande konsekvensavstånd för identifierade scenarier:

Tabell 8. Konsekvensavstånd för 210 kPa, värde inom parentes avser 20 kPa.

Skadehändelse	Konsekvensavstånd [m]	Benämning
0,25 ton	11 (41)	A1, A2, A2a
1 ton	18 (66)	A3, A4
16 ton	45 (165)	A5, A6
25 ton	52 (192)	A1a

B.4 ADR Klass 2.1 – Olycka med brandfarlig gas

I beräkningarna har det antagits att den brännbara gasen utgörs av gasol (propan).

Beräkningarna delas upp momentant utsläpp och kontinuerligt utsläpp. Vid momentant utsläpp (BLEVE) undersöks konsekvensavstånden för eldklot och gasmolnsbrand. Vid kontinuerligt utsläpp undersöks jetflamma och gasmolnsbrand.

B.4.1 Brännbar gas - Momentant utsläpp

Om tanken till en tryckkondenserad gas brister kommer innehållet att förångas och bilda ett gasmoln. Om gasmolnet antänds direkt eller efter en viss tid kan olika skadehändelser inträffa. Konsekvenserna beror på huruvida tanken brister på grund av krockvåld eller en yttre brand.

Eldklot

Om tanken utsätts för en extern brand finns en risk att tanken brister våldsamt vid ett högt övertryck, varvid innehållet antänds direkt. Konsekvensavstånd för en sådan BLEVE och eldklot har beräknats med ALOHA och redovisas nedan. Enligt [23] förväntas 50 % av befolkningen omkomma vid en exponeringstid på 20 sekunder om den infallande strålningen uppgår till cirka 30 kW/m^2.

Gasmolnsbrand

Om tanken brister av krockvåld och gasmolnet antänds efter en viss tidsfördröjning i ett område med låg blockeringsgrad uppstår en gasmolnsbrand.

Avstånd till 60 % av nedre brännbarhetsgränsen har antagits utgöra gasmolnets utbredning (utgör standardvärde i ALOHA). I beräkningarna har det antagits att gasen beter sig som en tunggas.

Gasmolnsexplosion

Om tanken brister av krockvåld och gasmolnet antänds efter en viss tidsfördröjning i ett område med hög blockeringsgrad uppstår en gasmolnsexplosion inom det blockerade området.

Konsekvensavstånd för gasmolnsexplosion har beräknats med ALOHA och redovisas nedan. Avstånd till 60 % av nedre brännbarhetsgränsen har antagits utgöra gasmolnets utbredning (utgör standardvärde i ALOHA).

B.4.1.1 Konsekvensavstånd runt E16

På E16 förväntar vi oss transporter av brännbar gas. Mängderna som transporteras i lastbilarna varierar beroende på bilens utformning, men i många fall kan vi förvänta oss bilar lastade med 30 ton brännbar gas, och detta används i beräkningarna. All brännbar gas som transporteras förväntas vara tryckkondenserad propan. Propan har en densitet på 493 kg/m^3 och med en massa på 30 ton fås en tankvolym på ca 60 m^3. I beräkningarna antas behållaren utgöras av en horisontell cylindrisk tank på 3 x 8,5 meter (diameter x längd). Resultatet av ALOHA-beräkningarna presenteras i tabellen nedan.

Tabell 9. Konsekvensavstånd runt E16 vid ett momentant utsläpp. Konsekvensavstånd för gasmolnsexplosion anges för 210 kPa, värde inom parentes avser 20 kPa.

Skadehändelse	Konsekvensavstånd [m]	Benämning
Eldklot	232	B1
Gasmolnsbrand	741	B2
Gasmolnsexplosion	0 (623)	B3

B.4.1.2 Konsekvensavstånd runt järnväg

På järnvägen kan transporter av brännbar gas ske. Mängderna som transporteras varierar, men i många fall kan vi förvänta oss järnvägsvagnar lastade med 50 ton brännbar gas, och detta används i beräkningarna. Tanken antas vara 100 m^3 med en diameter på 3,6 m och en längd på 10 m. Resultatet av ALOHA-beräkningarna redovisas i tabellen nedan.

Tabell 10. Konsekvensavstånd runt järnvägen vid ett momentant utsläpp. Konsekvensavstånd för gasmolnsexplosion anges för 210 kPa, värde inom parentes avser 20 kPa.

Skadehändelse	Konsekvensavstånd [m]	Benämning
Eldklot	273	B1a
Gasmolnsbrand	893	B2a
Gasmolnsexplosion	0 (751)	B3a

B.4.2 Brännbar gas – Kontinuerligt utsläpp

Om tanken till en tryckkondenserad gas punkteras kommer innehållet att kontinuerligt släppas ut, förångas och bilda en gasplym. Om utsläppet antänder direkt eller efter en viss tid kan olika skadehändelser inträffa.

Jetflamma

Om ett kontinuerligt utsläpp av brännbar gas antänder direkt kan en jetflamma uppstå. En jetflamma orsakar i första hand värmestrålning, men kan också medföra brandspridning till byggnader med mera. Konsekvensavstånd beräknas med ALOHA. Enligt [23] förväntas 50 % av befolkningen omkomma vid en exponeringstid på 20 sekunder om den infallande strålningen uppgår till cirka 30 kW/m^2. För bestämning av konsekvensavstånd adderas jetflammans längd med avståndet till en infallande strålningsnivå enligt ovan.

Gasmolnsbrand

Om ett kontinuerligt utsläpp av brännbar gas inträffar och antändning fördröjs medför detta att ett gasmoln bildas. Beroende på om det finns

antändningskällor i området där gasmolnet rör sig längs vinden finns risk att en gasmolnsbrand uppstår.

Konsekvensavstånd för gasmolnsbrand beräknas med ALOHA. Avstånd till 60 % av nedre brännbarhetsgränsen har antagits utgöra gasmolnets utbredning (utgör standardvärde i ALOHA).

Gasmolnsexplosion

Om ett kontinuerligt utsläpp av brännbar gas inträffar och antändning fördröjs medför detta att ett gasmoln bildas. Beroende på om det finns områden med hög blockeringsgrad (till exempel under fordon, inom byggnader etcetera) där gasmolnet rör sig längs vinden kan en antändning av gasmolnet leda till en gasmolnsexplosion.

Konsekvensavstånd för gasmolnsexplosion har beräknats med ALOHA och redovisas nedan. Avstånd till 60 % av nedre brännbarhetsgränsen har antagits utgöra gasmolnets utbredning (utgör standardvärde i ALOHA).

B.4.2.1 Konsekvensavstånd runt E16

Tankbilar med propan som kör på E16 antas ha samma egenskaper som i tidigare beräkning, det vill säga 30 ton, 60 m^3 tryckkondenserad gas. I detta scenario ansätts tanken läcka genom ett hål med en diameter på 5 cm i botten av tanken, då det anses vara konservativt. Resultatet av ALOHA-beräkningarna presenteras i tabellen nedan.

Tabell 11. Konsekvensavstånd kontinuerligt utsläpp E16. Konsekvensavstånd för gasmolnsexplosion anges för 210 kPa, värde inom parentes avser 20 kPa.

Skadehändelse	Konsekvensavstånd [m]	Benämning
Jetflamma	47	B4
Gasmolnsbrand	206	B5
Gasmolnsexplosion	0 (157)	B6

B.4.2.2 Konsekvensavstånd runt järnvägen

På järnvägen kan transporter av brännbar gas ske. Mängderna som transporteras varierar, men i många fall kan vi förvänta oss järnvägsvagnar lastade med 50 ton brännbar gas, och detta används i beräkningarna. Tanken antas vara 100 m^3 med en diameter på 3,6 m och en längd på 10 m. Ett kontinuerligt utsläpp beräknas utifrån ett hål om 7,5 cm i diameter. Resultatet av ALOHA-beräkningarna redovisas i tabellen nedan.

Tabell 12. Konsekvensavstånd kontinuerligt utsläpp järnvägen. Konsekvensavstånd för gasmolnsexplosion anges för 210 kPa, värde inom parentes avser 20 kPa.

Skadehändelse	Konsekvensavstånd [m]	Benämning
Jetflamma	70	B4a
Gasmolnsbrand	329	B5a
Gasmolnsexplosion	0 (251)	B6a

B.5 ADR klass 2.3 – Olycka med giftig gas

Gas transporteras generellt under tryck i vätskeform och vid utströmning till luft förångas vätskan fort och övergår i gasform. Gaserna är generellt tyngre än luft då de kyls ned vid ett utsläpp och sprids därmed inledningsvis längs marken. Gaserna är giftiga vid inandning och kan innebära livsfara vid höga

koncentrationer. Konsekvenserna av ett utsläpp beror framförallt av hålstorlek och väderförhållanden.

Nedan anges vid vilka koncentrationer samt exponeringstider av tryckkondenserad ammoniak som medför risk för dödsfall. Koncentrationerna är beräknade enligt probitsamband angivna i [23].

Tabell 13. Koncentrationer och exponeringstider av ammoniak som medför 50 % risk för dödsfall enligt probitberäkningar angivna i [3].

	10 min	30 min	1 timme	4 timmar
Ammoniak	12 700 ppm	7 300 ppm	5 200 ppm	2 600 ppm

I beräkningarna förutsätts för momentana utsläpp en exponeringstid på 10 minuter vara konservativt, med 12 700 ppm som skadekriterie. För scenarier med kontinuerliga utsläpp ansätts en exponeringstid på 30 minuter, med 7 300 ppm som skadekriteriet. I beräkningarna förutsätts ammoniaken vara i utomhustemperatur på 10 grader, vilket ger ett ångtryck på 609 kPa (cirka 6 bar). För att vara konservativ ansätts ett tryck på 10 bar gälla i tanken.

B.5.1 Giftig gas – Momentant utsläpp (BLEVE)

Om tanken till en tryckkondenserad gas brister av krockvåld kommer innehållet att snabbt bilda ett giftigt gasmoln som sprids med vinden.

Konsekvensavståndet för ett giftigt gasmoln av vattenfri ammoniak har beräknats med ALOHA. Förutsättningar för tanken ansätts enligt ovan.

B.5.1.1 Konsekvensavstånd runt E16

Den giftiga gas som förväntas köras på E16 antas vara ammoniak. Dimensionerande mängd antas vara 25 ton. Tryckkondenserad ammoniak har en densitet på 680 kg/m^3 vid – 33 grader Celsius vilket ger en tankstorlek på ca 36 m^3. Tanken antas vara 8 meter lång och ha en diameter på 2,5 meter. Konsekvensavstånd beräknas med ALOHA och resultaten redovisas nedan.

Tabell 14. Konsekvensavstånd momentant utsläpp av giftig gas runt E16.

Skadehändelse	**Konsekvensavstånd [m]**	**Benämning**
Momentant utsläpp	1000	C1

B.5.1.2 Konsekvensavstånd runt järnvägen

På järnvägen förväntas giftig gas transporteras. Transporter på upp till 50 ton tryckkondenserad ammoniak förväntas via tankvagn på järnvägen. Konsekvensavstånd beräknas med ALOHA och resultaten redovisas nedan.

Tabell 15. Konsekvensavstånd runt järnvägen.

Skadehändelse	**Konsekvensavstånd [m]**	**Benämning**
Momentant utsläpp	1300	C1a

B.5.2 Giftig gas – Kontinuerligt utsläpp

Om tanken till en tryckkondenserad gas punkteras kommer innehållet att kontinuerligt släppas ut, förångas och bilda en gasplym. Utsläppet förutsätts ske genom ett 50 mm stort hål i botten av tanken

Konsekvensavståndet för ett kontinuerligt utsläpp av vattenfri ammoniak har beräknats med ALOHA.

B.5.2.1 Konsekvensavstånd runt E16

Tankstorlek och dimensioner förutsätts vara samma som vid momentant utsläpp. Hålstorlek förutsätts vara 50 mm med placering längst ned i tanken. Resultat av ALOHA-beräkningar presenteras nedan.

Tabell 16. Konsekvensavstånd för kontinuerligt utsläpp av ammoniak runt E16.

Skadehändelse	Konsekvensavstånd [m]	Benämning
Kontinuerligt utsläpp	468	C2

B.5.2.2 Konsekvensavstånd runt järnvägen

Tankstorlek och dimensioner förutsätts vara samma som vid momentant utsläpp. Hålstorlek förutsätts vara 50 mm med placering längst ned i tanken. Resultat av ALOHA-beräkningar presenteras nedan.

Tabell 17. Konsekvensavstånd för kontinuerligt utsläpp av ammoniak runt järnvägen.

Skadehändelse	Konsekvensavstånd [m]	Benämning
Kontinuerligt utsläpp	725	C2a

B.6 ADR klass 3 - Olycka med brandfarlig vätska

En olycka som leder till utsläpp av brandfarlig vätska leder till en pölbrand om det utsläppta ämnet antänds. Om fordonet börjar brinna av andra skäl kan en olycka uppstå med en risk att innehållet läcker ut och bildar en pöl. Antändning av och brand i en sådan pöl förväntas ge strålningseffekter, som kan skada oskyddade människor och egendom.

Enligt [23] förväntas 50 % av befolkningen omkomma vid en exponeringstid på 20 sekunder om den infallande strålningen uppgår till cirka 30 kW/m^2. Detta bedöms vara den maximala exponeringstiden innan personer hinner söka skydd. Konsekvensavståndet för pölbränder har beräknats med ALOHA.

I beräkningarna antas pölbranden bestå av heptan (som representerar bensin).

B.6.1 Konsekvensavstånd runt E16

Scenarierna delas upp i ett utsläpp av hela tankinnehållet (ansätts till 26 m^3) och ett mindre utsläpp av 5 m^3 av den brandfarliga vätskan. Ett utsläpp av hela tanken resulterar i en pöl på 200 m^2 samt ett mindre utsläpp 50 m^2. Fordonsbrand stort utsläpp förväntas ha samma konsekvensavstånd som stor pölbrand. ALOHA-beräkningarna redovisas nedan.

Tabell 18. Konsekvensavstånd för pölbrand runt E16.

Skadehändelse	Konsekvensavstånd [m]	Benämning
Stor pölbrand	19	D1, D3
Medel pölbrand	12	D2

B.6.2 Konsekvensavstånd runt järnvägen

Scenarierna delas upp i ett utsläpp av hela tankinnehållet (ansätts till 35 m^3) och ett mindre utsläpp av 3 m^3 av den brandfarliga vätskan. Ett utsläpp av hela tanken resulterar i en pöl på 200 m^2 samt ett mindre utsläpp 50 m^2. Fordonsbrand stort utsläpp förväntas ha samma konsekvensavstånd som stor pölbrand. ALOHA-beräkningarna redovisas nedan.

Tabell 19. Konsekvensavstånd för pölbrand runt E16.

Skadehändelse	Konsekvensavstånd [m]	Benämning
Stor pölbrand	19	D1a
Medel pölbrand	12	D2a

B.7 ADR klass 5 - Olycka med oxiderande ämnen

Oxiderande ämnen kan reagera explosionsartat eller bilda explosiva produkter om det kommer i kontakt med vissa organiska ämnen (t ex aceton och etanol). Kommer det oxiderande ämnet inte i kontakt med organiskt material antas inget explosionsartat förlopp uppstå.

Enligt [16] innehåller en explosiv oxidator-bränsleblandning idealt cirka 13 % bränsle, vilket för till exempel 400 kg drivmedel ger 3000 kg explosiv blandning. I konsekvensberäkningarna representeras denna explosiva blandning av 100 % trotyl.

Om fordonet börjar brinna i samband med en olycka finns en risk att tanken brister och bildar en pöl. Detta antas ha samma konsekvenser som beräknades ovan då hela tankens innehåll släpps ut och blandades med fordonets drivmedel.

B.7.1 Konsekvensavstånd runt E16

Scenarierna delas upp i ett utsläpp av hela bränsletanken vilken ansätts till 400 kg, vilket motsvarar 3000 kg explosiv blandning. Ett utsläpp av hela tanken resulterar i en explosiv blandning om 3000 kg samt halva bränsletanken ger 1500 kg. Fordonsbrand förväntas ha samma konsekvensavstånd som att hela bränsletanken läcker och blandas med det oxiderande ämnet, motsvarande 3000 kg. ALOHA-beräkningarna redovisas nedan.

Tabell 20. Konsekvensavstånd för explosion runt E16 för 210 kPa, värde inom parentes avser 20 kPa.

Skadehändelse	Konsekvensavstånd [m]	Benämning
1,5 ton	20 (75)	E2
3 ton	26 (95)	E1, E3

B.7.2 Konsekvensavstånd runt järnvägen

Scenariet att ett utsläpp av oxiderande ämne ska blandas med t.ex. bränsle bedöms kunna ske om en olycka inträffar där båda ämnesklasserna transporteras samtidigt och invid varandra. Enligt ovan bedöms då hela den transporterade mängden av oxiderande ämne kunna explodera samtidigt, motsvarande 25 ton trotyl. Alternativt kan en brand uppstå vilken ansätts kunna likställas med en stor pölbrand. ALOHA-beräkningarna redovisas nedan.

Tabell 21. Konsekvensavstånd för explosion och brand runt järnvägen för 210 kPa, värde inom parentes avser 20 kPa.

Skadehändelse	Konsekvensavstånd [m]	Benämning
25 ton	52 (192)	E1a
Brand	19	E2a

B.8 Mekanisk skada vid urspårning

Det har antagits att farligt gods vagn når längsta avstånd för respektive kategori. Exempelvis har det antagits att samtliga som vistas närmare än 5 meter från järnspåret omkommer, i de scenarier där vagn hamnar mindre än 5 meter från spår. I de fall vagn kommer längre än 25 meter har det antagits att samtliga på ett avstånd av 35 meter omkommer.

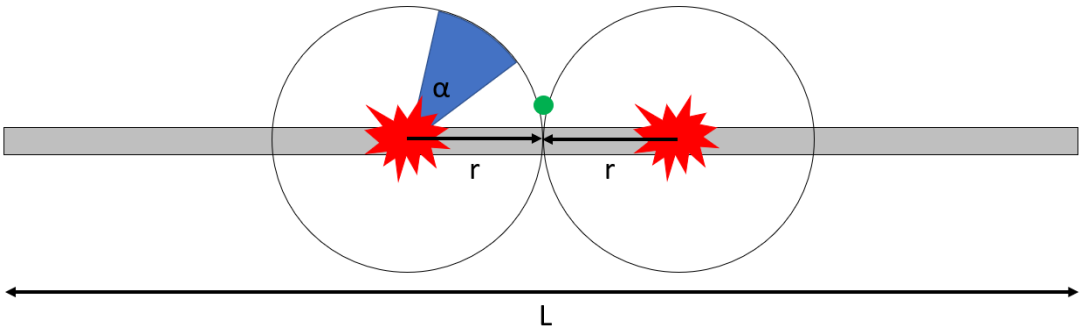
Bilaga C – Beräkningar av individ- och samhällsrisk

I denna bilaga redovisas beräkningar av individ- och samhällsrisk för de scenarier med olyckor med farligt gods för vilka frekvenserna har uppskattats i Bilaga A med tillhörande konsekvensavstånd vilka har uppskattats i Bilaga B.

C.1 Individrisk

Baserat på scenarierna identifierade ovan kan individrisken bestämmas. Enligt avsnitt 2.2.1 menas med individrisk den risk som en enskild individ utsätts för när den vistas på en viss plats. Vid beräkning av individrisk antas i enlighet med Det Norske Veritas (DNV) rekommendationer om att individen har en genomsnittlig känslighet för risken, är kontinuerligt närvarande och befinner sig utomhus.

Beroende på de identifierade scenariernas konsekvensavstånd finns en sannolikhet att en olycka som inträffar en viss sträcka på en transportled påverkar en individ på området som undersöks. Detta illustreras i Figur 25 nedan.



Figur 25. Sannolikheten att en person (markerad i grönt) precis intill en farligt gods led påverkas av en olycka med konsekvensavstånd r och spridningsvinkel α.

Individen ovan (markerat i grönt) påverkas endast om en olycka med konsekvensavstånd r inträffar på en vägsträcka på 2r. Vidare, om olyckan har en spridningsvinkel α, riskerar individen endast att påverkas om den befinner sig inom denna spridningsvinkel då en olycka inträffar på vägsträckan 2r. Sannolikheten att en individ som befinner sig utomhus på en specifik plats omkommer av respektive scenario, individrisken, fastställs således med följande ekvation:

$$Individrisk = f \cdot \frac{2 \cdot r}{L} \cdot \frac{\alpha}{360}$$

där
f = frekvensen för respektive scenario (årkm)
r = konsekvensavstånd för respektive scenario (m)
L = längden på den undersökta delen av transportleden förbi området (m)
α = spridningsvinkel för respektive scenario (°)

Frekvensen för respektive scenario bestämdes i Bilaga A, medan konsekvensavstånden bestämdes i Bilaga B. För att uppskatta individrisken behövs spridningsvinkeln för respektive scenario. I enlighet med [24] ansätts dessa enligt nedan:

- Explosioner och pölbränder: 360 grader

- Gasutsläpp som breder ut sig i vindriktningen: 22 grader
- Jetflamma: 240 grader (riktad mot området eller rakt uppåt, flammor riktade bort från individen beaktas inte)

C.2 Samhällsrisk

För att beräkna samhällsrisken uppskattas antalet omkomna genom följande ekvation:

$$Antalet\ omkomna\ (N) = r^2 \cdot \pi \cdot \frac{\alpha}{360} \cdot P$$

där
$r =$ konsekvensavstånd för respektive scenario (m)
$\alpha =$ spridningsvinkel för respektive scenario (°)
$P =$ populationstätheten (inv/km^2)

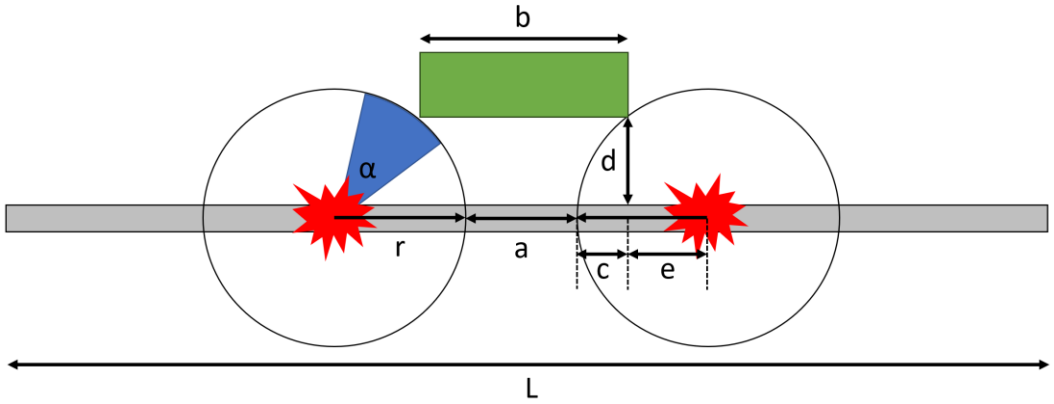
Populationstätheten beror på vilken tid det är på dygnet [15]. Därför delas dygnet upp i dag (8:00–18:30) respektive natt (18:30–8:00) med 56 % respektive 44 % sannolikhet. På dagen förväntas 7 % av populationen befinna sig utomhus och 93 % inomhus. På natten förväntas endast 1 % befinna sig utomhus och 99 % inomhus.

Vid beräkning av konsekvenser på berörd byggnad ansätts att det maximala personantalet i byggnaden gäller 5 % av tiden, och i 95 % av tiden ansätts en fjärdedel av det maximala personantalet.

Generellt antas att samtliga personer som befinner sig utomhus omkommer inom konsekvensområdet, medan det för personer som befinner sig inomhus har antagits att 25 % omkommer för de flesta olyckor. Undantag görs normalt för utsläpp av giftig gas, där det antas att 50 % av personer omkommer inomhus då gasen ventileras in. Om byggnader har möjlighet till avstängning av ventilation reduceras andelen personer som omkommer i beräkningarna till följd av utsläpp av giftig gas med 80 %. Antalet döda för varje scenario har avrundats till närmaste heltal.

Konsekvenser av explosioner beräknas utifrån att delen av byggnaden som rasar motsvarar konsekvensavståndet om 20 kPa från väg respektive järnväg. Enligt FOA ansätts därefter att en tredjedel av personerna inom denna rasarea omkommer. Förenklat ansätts vidare att personantalet i byggnaden är jämnt fördelat, vilket bedöms vara konservativt i föreliggande fall där personantalet i huvudsak är samlat kring mitten av byggnaden.

Beroende på de identifierade scenariernas konsekvensavstånd finns en sannolikhet att en olycka som inträffar på en transportled påverkar detaljplaneområdet som undersöks. Detta illustreras i Figur 25 nedan.



Figur 26. Sannolikheten att ett område eller byggnad (markerat i grönt) med längden b, på avstånd d ifrån en farligt gods led påverkas av en olycka med konsekvensavstånd r och spridningsvinkel α.

Området ovan (markerat i grönt) påverkas endast om en olycka med konsekvensavstånd r inträffar på en vägsträcka på 2r+a. Vidare, om olyckan har en spridningsvinkel α, riskerar området endast att påverkas om det befinner sig inom denna spridningsvinkel då en olycka inträffar på vägsträckan 2r+a. Sannolikheten att området eller byggnaden påverkas av olyckan fastställs således med följande ekvation:

$$Justerad\ samhällsrisk = f \cdot \frac{(2 \cdot r + a)}{L} \cdot \frac{\alpha}{360}$$

där
f = frekvensen för respektive scenario (årkm)
r = konsekvensavstånd för respektive scenario (m)
L = längden på den undersökta delen av transportleden förbi området (m)
α = spridningsvinkel för respektive scenario (°)

Utifrån Figur 26. Sannolikheten att ett område eller byggnad (markerat i grönt) med längden b, på avstånd d ifrån en farligt gods led påverkas av en olycka med konsekvensavstånd r och spridningsvinkel α. ovan bestäms a genom följande ekvation:

$$a = b - 2c$$

Där avståndet b är känt och avståndet c kan bestämmas enligt nedan:

$$c = r - e = r - \sqrt{r^2 - d^2}$$