



RISKUTREDNING

Handläggare
Niclas Grahn
Tel
+46 10 505 04 23
Mobil
+46725534829
E-post
niclas.grahn@afconsult.com

Datum
2018-10-03
Projekt-ID
749249

Kund
Huddinge Samhällsfastigheter AB

Kvantitativ riskutredning – utbyggnad av Balingsnäs förskola, Fjället 71 och Fjället 160.



ÅF-Infrastructure AB

Uppdragsansvarig/handläggare: Niclas Grahn
Intern kvalitetsgranskning: Oscar Lindén

Version	Status	Datum
1.0	Granskningshandling	2018-02-28
2.0	Slutversion	2018-03-22
3.0	Slutversion, komplettering individrisk	2018-10-03



Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
1 Inledning.....	6
1.1 Syfte och bakgrund	6
1.2 Avgränsningar	6
2 Metod	6
2.1 Metodbeskrivning	6
2.2 Styrande lagstiftning och riktlinjer.....	7
2.3 Kvantitativa riskmått för person och hälsa.....	9
2.3.1 Individrisk	10
2.3.2 Riskvärdering	10
3 Skyddsvärda objekt	11
4 Beskrivning av närområde	11
4.1 Förskolan Balingsnäs	11
4.2 Närområde	13
5 Riskobjekt	16
5.1 Lännavägen (väg 259).....	16
5.1.1 Beskrivning av klassindelning	16
5.1.2 Transporterade mängder.....	22
6 Riskanalys	29
6.1 Grovanalys - Identifiering av risker/skadehändelser.....	29
6.1.1 Klass 1: Explosiva ämnen.....	29
6.1.2 Klass 2.1: Kondenserade brandfarliga gaser	29
6.1.3 Klass 2.3: Kondenserad giftig gas	31
6.1.4 Klass 3: Brandfarlig vätska	31
6.1.5 Klass 4: Brandfarliga fasta ämnen.....	32
6.1.6 Klass 5: Oxiderande ämnen.....	32
6.1.7 Giftiga och smittbärande ämnen (Klass 6.1 och 6.2).....	32
6.1.8 Radioaktiva ämnen (Klass 7)	33
6.1.9 Frätande ämnen (Klass 8)	33
6.1.10 Övriga farliga ämnen (Klass 9).....	33
6.1.11 Sammanfattning av grovanalys avseende farligt gods.....	33
6.2 Individrisk	33
7 Känslighets- och osäkerhetsanalys	35
7.1 Känslighetsanalys.....	35
7.2 Osäkerhetsanalys.....	37
8 Riskreducerande åtgärder och slutsatser	38
9 Slutsats.....	39

RISKUTREDNING



Referenser..... 40

Bilaga A – Frekvensberäkningar

Bilaga B - Konsekvensberäkningar



Sammanfattning

ÅF-Infrastructure AB har fått i uppdrag av Huddinge Samhällsfastigheter AB att ur ett riskperspektiv utreda vilka skyddsåtgärder som krävs för att kunna genomföra en utbyggnad av Balingsnäs förskola inom fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160 i Huddinge kommun. Fjället 160 är endast planlagd för förskola och Fjället 71 är planlagd för handel.

Syftet med rapporten är att utifrån ett personsäkerhets- och barnriskperspektiv bedöma individrisknivån och ge förslag på eventuella riskreducerande åtgärder för den utbyggda förskolan.

Det huvudsakliga riskobjektet utgörs av Lännavägen (väg 259) som är en rekommenderad primärled för transport av farligt gods. Eftersom avståndet understiger 150 meter mellan förskolan och riskobjektet skall personrisker på grund av transporter av farligt gods utredas enligt Länsstyrelsens riktlinjer.

Utredningen har genomförts som en kvantitativ utredning där individrisknivån har beräknats. I individriskberäkningen har följande riskkällor beaktats:

- Olycka med explosiva ämnen (Klass 1)
- Olycka med brandfarlig gas (Klass 2.1)
- Olycka med kondenserad giftig gas (Klass 2.3)
- Olycka med brandfarlig vätska (Klass. 3)
- Olycka med oxiderande ämnen (Klass 5)

Vid framtagande av åtgärdsförslag har hänsyn tagits till riskbilden i området, både ur olycksperspektiv samt till Länsstyrelsen Stockholms riktlinjer för planläggning intill transportleder med farligt gods.

Enligt riktlinjerna från Länsstyrelsen Stockholm är det lämpligt med skolor >75 meter från en farligt gods-led. Avståndet mellan väg 259 och fastighetens yttre gräns är som närmast ca 63 meter.

Fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160 har på grund av dess placering en naturlig riskreducerande barriär i form av det bergsparti som finns mellan väg 259 och fastigheterna. Bergspartiet bedöms utgöra en hög och ogenomtränglig barriär mellan väg och förskolan som reducerar eventuella konsekvenser i form av värmestrålning, tryckvågor och spridning av gasmoln i riktning mot fastigheterna.

En annan riskreducerande åtgärd är de två cirkulationsplatser som finns längs med Lännavägen i höjd med studerade fastigheter, vilka bedöms sänka hastigheterna och därmed det teoretiska krockvåld som kan uppstå vid eventuell avåkning som kan leda till att det farliga godset frigörs eller på något sätt skadas så att en olycka uppstår. Förekomsten av de två cirkulationsplatserna på Lännavägen i höjd med de två studerade fastigheterna är dock inte något som går att beakta kvantitativt i den individriskberäkning som gjorts.

En stor osäkerhet i riskutredning är om huruvida Tvärförbindelsen Södertörn byggs eller inte. Om den byggs, vilket bedöms som det mest sannolika alternativet, är det mycket troligt att farligt godstransporterna på Lännavägen (väg 259) kommer att minska drastiskt, dvs. Tvärförbindelsen Södertörn kan då i sig själv ses som en riskreducerande åtgärd för studerade fastigheter.

För beräkning av individrisknivån har två olika modeller använts. Dessa leder fram till två olika svar om huruvida riskreducerande åtgärder behövs eller ej. Genom att



använda genomsnittet av dessa två modeller antas en medelväg. Utifrån detta genomsnitt är individrisknivån under det nedre acceptanskriteriet efter 34 meter från väggkant, dvs. inga riskreducerande åtgärder krävs för studerade fastigheter.

För att ta höjd för eventuella osäkerheter och känsligheter i antaganden och beräkningsmodeller, samt om huruvida Tvärförbindelsen Södertörn kommer att byggas eller ej, rekommenderar ÅF dock ändå att följande planbestämmelser skrivs in i detaljplanen för att säkerställa en acceptabel individrisknivå inom Fjället 71 och Fjället 160 , så att den nya byggnaden för förskolan Balingsnäs kan uppföras:

- Friskluftsintag placerade inom 100 meter från Lännavägens närmsta väggkant ska riktas bort från denna. Kravet gäller både friskluftsintag för byggnader som helhet och även för eventuella källarplan.
- Ventilationen ska kunna stängas av vid behov.
- Huvudentréer för barn och besökande ska vara riktade bort från Lännavägen.



1 Inledning

1.1 Syfte och bakgrund

Huddinge kommun vill möjliggöra för fler förskoleplatser vid förskolan Balingsnäs genom anläggning av en ny förskolebyggnad inom fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160. Fjället 160 är endast planlagd för förskola och Fjället 71 är planlagd för handel. Den befintliga förskolan har plats för ca 80 barn medan den nya ska kunna rymma 160 barn. Även förskolegården ska utökas genom att mark som ligger bredvid den befintliga gården, och som redan idag används av barnen, ska ingå i förskolans tomt. I närheten av förskolan går Lännavägen (väg 259) som är rekommenderat primär transportled för farligt gods.

ÅF-Infrastructure AB har fått i uppdrag av Huddinge Samhällsfastigheter AB att ur ett riskperspektiv utreda vilka skyddsåtgärder som krävs för att kunna genomföra en utbyggnad av Balingsnäs förskola i Huddinge kommun.

Syftet med rapporten är att utifrån ett personsäkerhets- och barnriskperspektiv bedöma individrisknivån och ge förslag på eventuella riskreducerande åtgärder för den utbyggda förskolan.

1.2 Avgränsningar

Denna riskutredning avgränsas till att omfatta risker som är förknippade med plötsligt inträffade händelser (olyckor) som har sitt ursprung i:

- Transporter av farligt gods på Lännavägen (väg 259) i anslutning till förskoleområdet.

Enbart risker som kan innebära konsekvenser i form av personskada på personer inom det studerade området beaktas kopplat till detta. Det innebär att ingen hänsyn har tagits till exempelvis skador på miljön, skador orsakade av långvarig exponering, materiella skador eller skador på personer och objekt utanför detta område. Rapporten avgränsas också av att beräkna individrisknivå och inte samhällsrisknivå.

2 Metod

2.1 Metodbeskrivning

En riskutredning delas in i flera olika steg (se Figur 1). Först sker en bestämning av **mål och avgränsningar** gällande den aktuella riskutredningen.

Efter detta steg sker en **riskinventering** vilket är en arbetsprocess för att identifiera vilka risker som finns inom det studerade området.

I **riskanalysen** genomgår de identifierade riskerna sedan en bedömning gällande sannolikhet och konsekvens för att sammantaget kunna ge en uppfattning om risknivån. Beroende på omfattningen och detaljnivån på riskutredningen kan detta göras kvalitativt och/eller kvantitativt.

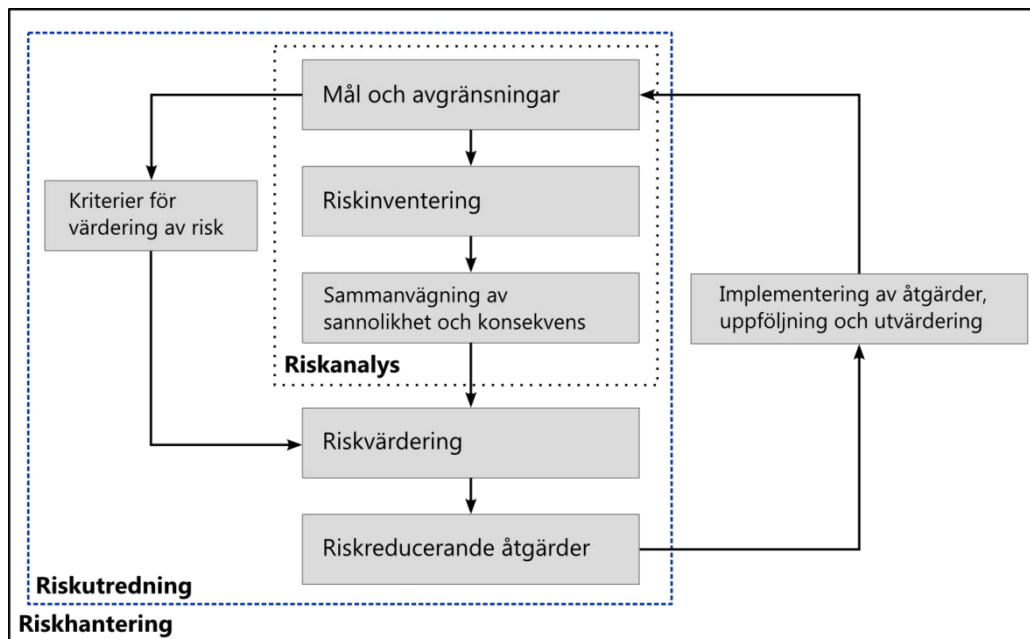
Utgående från hur risknivån skall värderas sker i **riskvärderingen** en jämförelse mellan den uppskattade risknivån och acceptabla kriterier.

Ur jämförelsen synliggörs sedan behovet av **riskreducerande åtgärder** för att kunna sänka risknivån på de risker som inte uppfyller acceptanskriteriet. Åtgärder som till en låg kostnad och utan andra avsevärda olägenheter minskar risken är oavsett resultatet motiverande.



Ett viktigt steg i en riskutredning är att den blir en regelbundet återkommande del av den totala riskhanteringsprocessen där en kontinuerlig implementering av riskreducerande åtgärder, uppföljning av processen och utvärdering av resultatet är utmärkande.

Metoden följer i stort det dokument som Länsstyrelserna i Skåne, Stockholm och Västra Götaland tagit fram [1].



Figur 1. Illustration av riskhanteringsprocessen. Denna riskutredning innefattar det som är markerat med blå streckad linje.

Föreliggande inledande riskutredning innehåller följande moment:

- Kartläggning av byggnad för förskola och närområdets utformning och topografi.
- Kartläggning av riskobjekt
 - Lännavägen (väg 259)
- Olyckskatalog/Scenariobeskrivning för olyckor vid riskobjekten.
- Beräkning av frekvenser och konsekvenser för tänkbara olycksscenarier. Riskanalysmodellen hanterar konsekvenserna för samtliga scenarier som eventuellt kan uppkomma vid transport av aktuella klasser farligt gods (exempelvis tryckskada, brännskada, förgiftning etc.).
- Bedömning/beräkning av individrisk samt värdering av risk mot de kriterier som oftast brukar användas vid individ- och samhällsriskberäkningar (Det Norske Veritas kriterier)
- Beskrivning av osäkerheter
- Riskvärdering innehållande en bedömning huruvida den nya byggnaden för förskolan är lämplig ur ett personriskperspektiv
- Förslag på riskreducerande åtgärder om detta visar sig nödvändigt för att uppnå en acceptabel individrisknivå.

2.2 Styrande lagstiftning och riktlinjer

Riskhantering i den fysiska planeringen är knuten till plan- och bygglagen [2] och miljöbalken [3]. I Plan- och bygglagen framgår det att bebyggelse och byggnadsverk skall utformas och placeras på den avsedda marken på ett lämpligt sätt med hänsyn



till skydd mot uppkomst och spridning av brand och mot trafikolyckor och andra olyckshändelser. När en kommun upprättar en detaljplan ska en miljöbedömning göras och om ett planförslag sammantaget kan antas medföra en betydande miljöpåverkan (i meningen att miljö eller människors hälsa kan komma att påverkas) skall en miljökonsekvensbeskrivning genomföras enligt miljöbalken.

Plan- och bygglagen samt miljöbalken är emellertid inte fullt detaljerade kring riskutredningens metodik och innehåll. Riktlinjer, kriterier och rekommendationer på krav och typ av riskutredning har därför tagits fram av olika parter såsom länsstyrelser och myndigheter. I denna utredning används riktlinjer från Länsstyrelsen i Stockholms läns dokument *Riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods* [4].

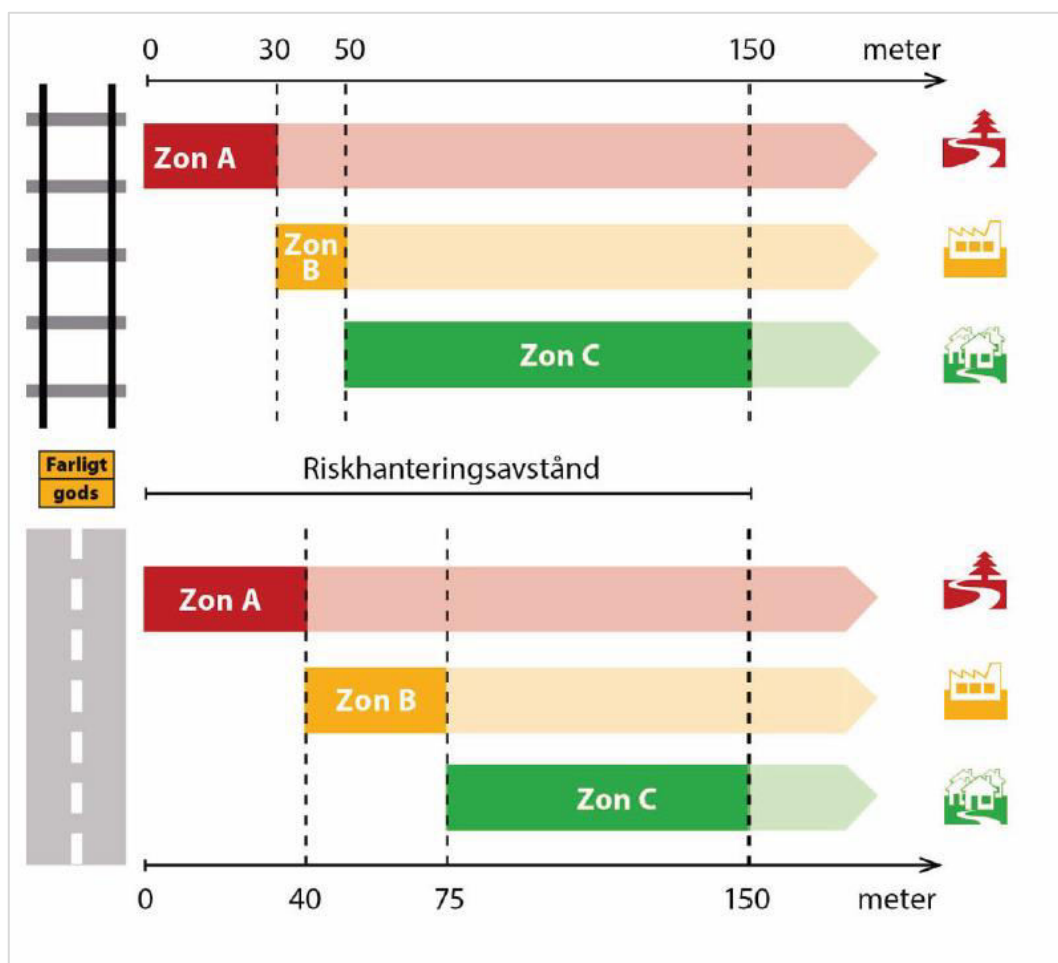
Länsstyrelsen i Stockholms län anser i dokumentet att risker förknippade med transport av farligt gods ska beaktas vid framtagande av detaljplaner inom 150 meters avstånd från en farligt gods-led. Närmare detaljeringsgrad eller på det sätt som riskerna ska beaktas anges inte utan beror på planförslagets riskbild.

Figur 2 visar en rekommenderad indelning av tre olika zoner och deras skyddsavstånd invid en farligt gods-led gällande både väg- och järnväg. Zonerna har i länsstyrelsens riktlinjer specificerats med fasta avståndsgränser.

Tabell 1 redogör för olika typer av markanvändning för de tre zonerna där zon A är närmast och zon C är längst ifrån farligt gods-leden i det aktuella plan-/programområdet. Den genomgående tanken är att verksamheter och markanvändning som är förknippad med en stor persontäthet skall finnas så långt bort från farligt godsleden som rimligen kan vara möjligt för att minska individ- och samhällsriskerna för tredje person.

Det svenska vägnätet för transport av farligt gods består av två delsystem; dels det primära vägnätet där de största mängderna och de flesta typerna av farligt gods transporteras och som används för genomfartstrafik, och dels det sekundära vägnätet som är tänkt som ett lokalt vägnät som inte bör användas för genomfartstrafik. Skyddsavstånden som visas i Figur 2 gäller för både primära och sekundära transportleder i vägnätet.

Länsstyrelsen i Stockholms län menar vidare att det för bebyggelse intill alla primära och de flesta sekundära rekommenderade transportleder för farligt gods på väg ska finnas ett bebyggelsefritt avstånd på minst 25 meter mellan väg och studerat markområde. Länsstyrelsen anger också att det är osannolikt att de tillåter bebyggelsefria avstånd på mindre än 10-15 meter avseende sekundära transportleder.



Figur 2. Zonindelning för skyddsavstånd [4]

Tabell 1. Rekommenderad markanvändning för zonerna A, B och C [4]

Zon A	Zon B	Zon C
G - Drivmedelsförsörjning (obemannad)	E - Tekniska anläggningar	B - Bostäder
L - Odling och djurhållning	G - Drivmedelsförsörjning (bemannad)	C - Centrum
P - Parkering (ytparkering)	J - Industri	D - Vård
T - Trafik	K - Kontor	H - Detaljhandel
	N - Friluftsliv och camping	O - Tillfällig vistelse
	P - Parkering (övrig parkering)	R - Besöksanläggningar
	Z - Verksamheter	S - Skola

2.3 Kvantitativa riskmått för person och hälsa

En kvantitativ riskanalys kan innebära att två olika riskmått beräknas och sedan jämförs med vedertagna kriterier. Riskmåten är individrisk och samhällsrisk. Riskmåten skiljer sig på så sätt att individriskkriterier syftar till att säkerställa att enskilda individer inte utsätts för oacceptabla risker. Samhällsrisk å andra sidan syftar till att säkerställa att ett område (allt ifrån ett bostadsområde till samhället i stort) som en helhet inte utsätts för oacceptabla risker. Denna rapport avgränsas till att endast beräkna individrisk, och inte samhällsrisk.



2.3.1 Individerisk

Med individrisk avses sannolikheten (frekvensen) att en hypotetisk och oskyddad individ som kontinuerligt befinner sig på en plats ska omkomma på ett visst avstånd från ett riskobjekt, ofta utomhus [5]. Individrisken är rättighetsbaserad och tar ingen hänsyn till hur många individer som kan påverkas av skadehändelsen. Med rättighetsbaserad menas att alla individer har den personliga rättigheten att inte behöva utsättas för orimlig risk att omkomma.

Individerisken beräknas enligt:

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n IR_{x,y,i} \quad \text{formel 1a, 1b}$$

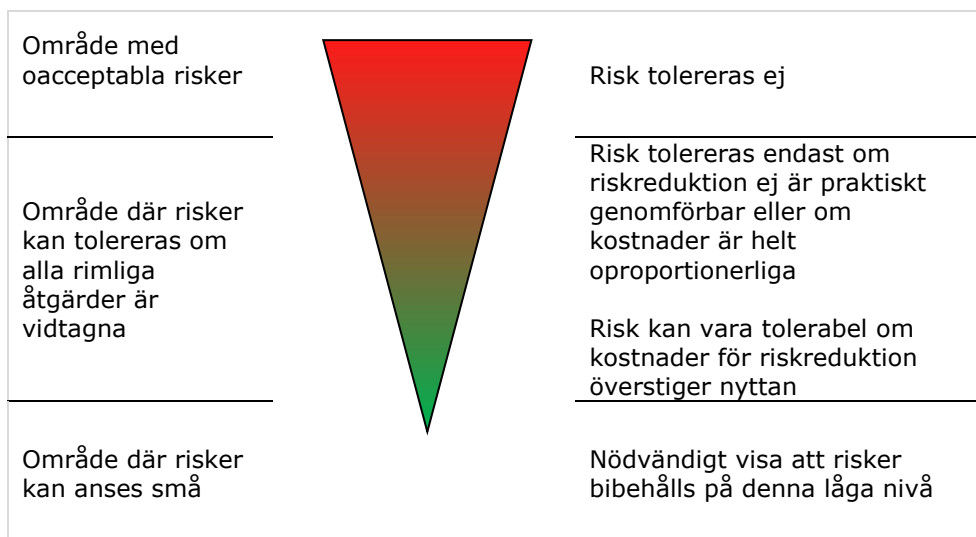
$$IR_{x,y,i} = f_i * p_{f,i}$$

Där f_i är frekvensen för sluthändelsen i . $p_{f,i}$ är sannolikheten för studerad konsekvens. Den antas, enligt ovan, till 1 eller 0 beroende på om individen befinner sig inom eller utanför effektzonen. Genom att summera individrisken för de olika sluthändelserna på olika avstånd från riskobjektet, kan individrisken för området presenteras.

2.3.2 Riskvärdering

För att begreppen individ- och samhällsrisk ska få någon betydelse måste dessa ställas i relation till kriterier för acceptabel risk. Nationellt fastställda riskkriterier finns inte i Sverige för individ- och samhällsrisk. Det Norske Veritas (DNV) har på uppdrag av Räddningsverket tagit fram förslag på riskkriterier gällande individ- och samhällsrisk som kan användas vid riskvärdering [5]. Även Länsstyrelsen i Stockholms län anser att dessa kriterier bör användas i kvantitativa riskutredningar. [4]

Riskkriterierna berör liv, och uttrycks vanligen som frekvensen med vilken en olycka med given konsekvens ska inträffa. Risker kan kategoriskt indelas i tre grupper; tolerabla, tolerabla med åtgärd eller ej tolerabla, se Figur 3.



Figur 3. Princip för värdering av risk. Fritt från Räddningsverket [5].

Följande förslag till tolkning föreslås:

- Risker som klassificeras som oacceptabla värderas som oacceptabelt stora och tolereras ej. För dessa risker behöver mer detaljerade analyser genomföras



och/eller riskreducerande åtgärder vidtas där den riskreducerande effekten verifieras.

- De risker som bedöms tillhöra den andra kategorin värderas som tolerabla om alla rimliga åtgärder är vidtagna. Risker i denna kategori ska behandlas med ALARP-principen (As Low As Reasonably Practicable). Risker som ligger i den övre delen, nära gränsen för oacceptabla risker, tolereras endast om nyttan med verksamheten anses mycket stor, och det är praktiskt omöjligt att vidta riskreducerande åtgärder. I den nedre delen av området bör kraven på riskreduktion inte ställas lika hårda, men möjliga åtgärder till riskreduktion ska beaktas. Ett kvantitativt mått på vad som är rimliga åtgärder kan erhållas genom kostnads-/nytto-analys (CBA).
- De risker som kategoriseras som små kan värderas som acceptabla. Det är dock viktigt att visa att riskerna kommer fortsätta att vara acceptabla, att riskhanteringen framöver fortlöper och att åtgärder som kan införas utan kostnad också införs.
- De förslag till kriterier för värdering av risk för industrier och transportleder har med tiden blivit vedertagna vid riskutredningar i Sverige. De liknar de kriterier som finns i flera andra länder i Europa. Kriterierna utformas som ett intervall med en övre gräns över vilken risker ej accepteras och en undre gräns under vilken risker är acceptabla. Mellan dessa gränser finns ett intervall som benämns ALARP enligt ovan. Gränserna ska dock inte uppfattas som ett svar på vad samhället faktiskt accepterar utan endast ett exempel på en metod att kvantifiera kriterierna.

För individrisk föreslås följande kriterier [5]:

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

Kriterierna för individrisk avser en hypotetisk oskyddad person utomhus.

3 Skyddsvärda objekt

Denna riskutredning fokuserar på personsäkerhet. Skyddsvärda objekt är personer (barn och personal) som vistas inom förskoleområdet (fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160), både i och utanför byggnader.

Eftersom hela skolan ligger inom 150 m från farligt gods-leden Lännavägen ska riskbidraget från denna beaktas och hanteras.

4 Beskrivning av närområde

Följande avsnitt är en beskrivning av förskolan i dagsläget och efter utbyggnad samt en kortare beskrivning av närområdet.

4.1 Förskolan Balingsnäs

Förskolan Balingsnäs är en kommunal förskola på adress Mörtsjövägen 3 i Huddinge kommun. Förskolan är förlagd inom fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160, se Figur 4. Fjället 160 är endast planlagd för förskola och Fjället 71 är planlagd för handel.



Figur 4. Detaljplaneområde för utbyggnaden av förskolan markerat med blått. Skala 1:1600. [6]

Förskolan består i dagsläget av ett fristående hus i ett plan som är omgivet av stor instängslad gård med sandlådor och gräsmattor. Öster om förskolan finns ett skogsområde som även nyttjas i verksamheten. Vid förskolan finns fyra avdelningar med ca 80 barn totalt.

Den planerade utbyggnaden av förskolan ses i Figur 5.



Figur 5. Planerad utbyggnad av förskolan. Fågelperspektiv. [7]



Figur 6. Situationsplan för utbyggnaden av förskolan. [8]

Utbyggnaden syftar till utöka antalet barn till 160 stycken fördelat på åtta avdelningar. Även förskolegården ska utökas genom att mark som ligger bredvid den befintliga gården, och som redan idag används av barnen, ska ingå i förskolans tomt. Det detaljplaneområde som berörs i och med utbyggnaden av förskolan ses i Figur 4.

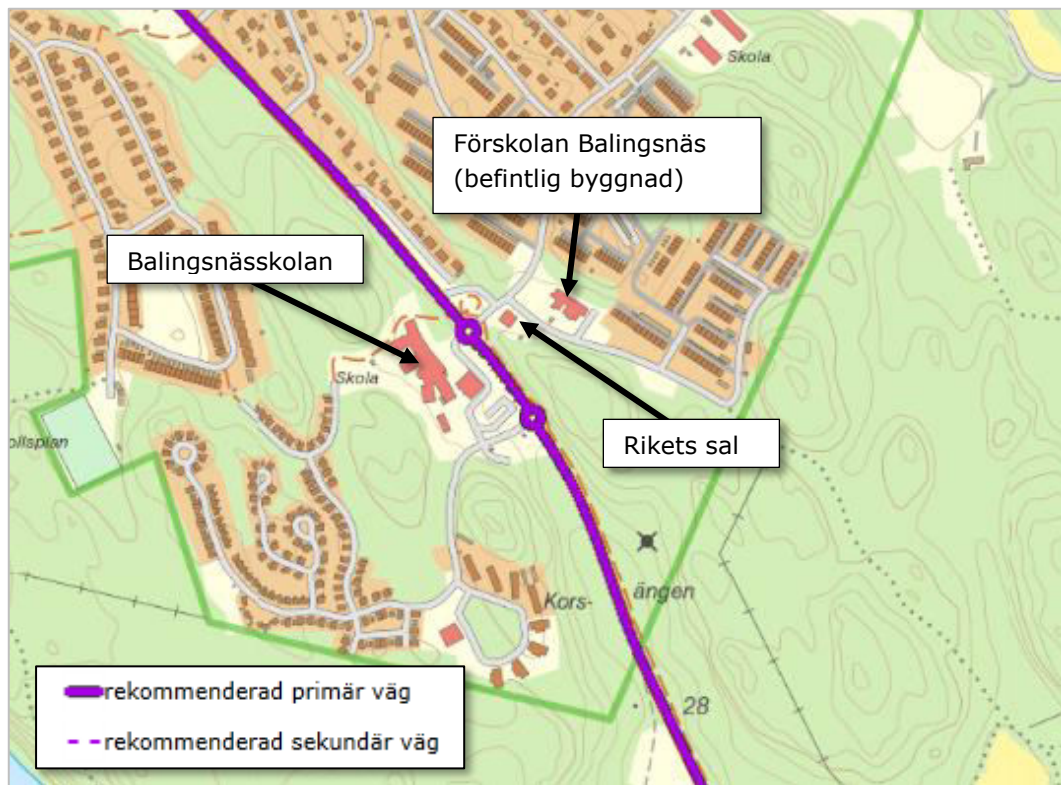
Den planerade förskolebyggnaden består av två plan med entréer för personal och kök i riktning mot väster. Entréer för barn och föräldrar planeras åt öster.

[9] & [10]

4.2 Närområde

Den huvudsakliga bebyggelsen runt förskolan Balingsnäs är bostäder i form av flerfamiljshus i två plan och ett antal villor. Mitt emot förskolan på Mörtsjövägen ligger Rikets sal.

Lännavägen (väg 259) går i nordvästlig riktning väster om förskolan. Mätt från närmaste cirkulationsplats är avståndet ca 63 meter till fastighetsgränsen. Lännavägen är en primärlänsväg och bedöms som en regionalt viktig väg av Trafikverket [11]. Lännavägen är även en rekommenderad primär transportled för farligt gods, se Figur 7.



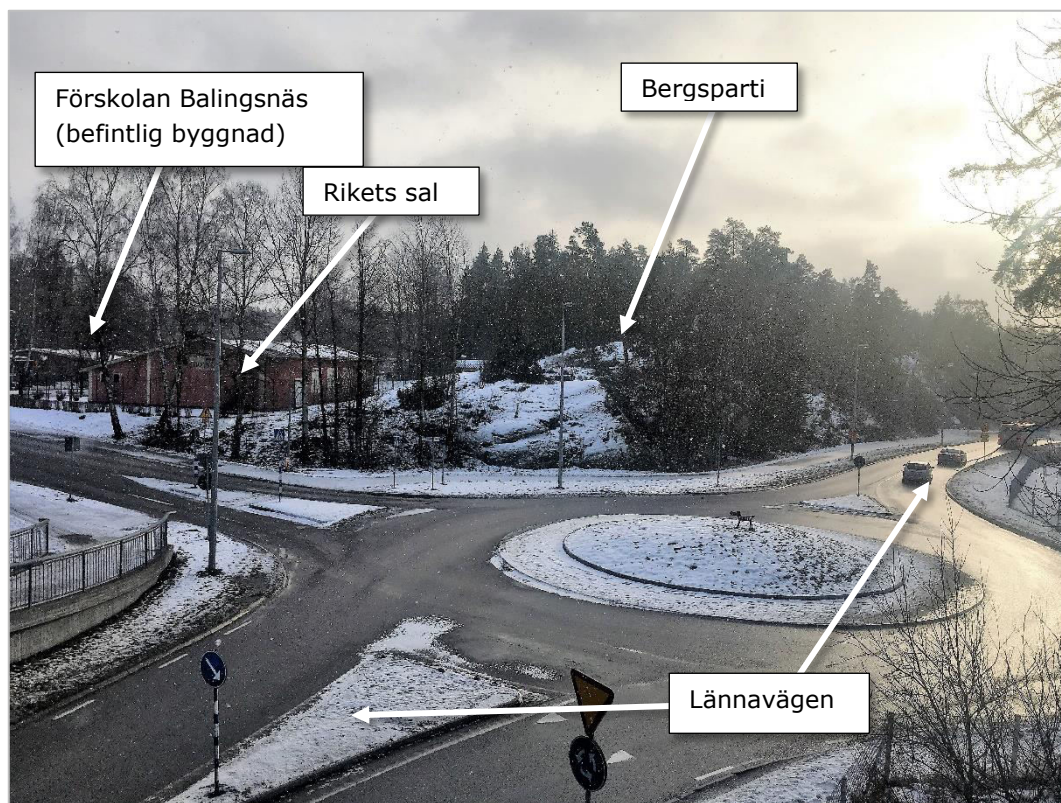
Figur 7. Rekommenderade transportleder för farligt gods i närområdet. [12]

Väster om Lännavägen ligger Balingsnässkolans huvudbyggnad på ca 40 meters avstånd från närmaste cirkulationsplatsen och ca 50-60 meter från Lännavägen när denna går i raksträcka. Mellan skolans gympasal och Lännavägen är avståndet ca 27 meter.

Lännavägen har bärighetsklass BK2 vilket innebär att fordon får framföras med max 51,4 tons bruttovikt och ett axeltryck på max 10 ton, oavsett om det är en drivande eller löpande axel. Vägen har två körfält i vardera riktning med hastighetsbegränsningen 60 km/h. I höjd med förskolan Balingsnäs och Balingsnässkolan finns även två cirkulationsplatser på Lännavägen, placerade med ca 120 meters avstånd. Avståndet från raksträckan på Lännavägen mellan de två cirkulationsplatserna och fastighetsgränsen för förskolan är fågelvägen mellan 75-80 meter. Hastigheten på detta avsnitt av Lännavägen kan på grund av de två cirkulationsplatserna antas ha en lägre hastighet än om cirkulationsplatserna skulle saknas. Trafiksäkerhetsklassen på Lännavägen bedöms som god av Trafikverket [11].

Mellan Lännavägen och förskolan Balingsnäs finns en gång- och cykelväg samt ett högre bergsparti som avskärmar fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160 från vägen. I höjd med Rikets sal är bergspartiet något lägre, men där kan Rikets sal fungera som en barriär. Höjden på bergspartiet bedöms vara mellan 5 och 15 meter beroende på position, utifrån utläsning av höjdkurvor.

Figur 8 till Figur 10 visar omgivning och placering av ovan redogjorda förutsättningar i närområdet.



Figur 8. Foto taget i riktning mot östsydost.



Figur 9. Foto taget i riktning mot sydostsöder. På fotot syns även en gasoltransport i cirkulationsplatsen.



Figur 10. Foto taget i riktning mot nordväst.

5 Riskobjekt

I detta kapitel görs en inventering över de riskobjekt med riskkällor som kan orsaka olyckor med konsekvenser in på de studerade fastigheterna.

5.1 Lännavägen (väg 259)

Riskobjektet i denna utredning utgörs av Lännavägen (väg 259), vars sträckning går i nordvästlig riktning i anslutning till förskolan. Avståndet mellan Lännavägen och fastighetsgränsen är ca 63 meter, mätt från den närmaste cirkulationsplatsen. Från raksträckan mellan de två cirkulationsplatserna och fastighetsgränsen för förskolan är dock mellan 75-80 meter.

Riskkällorna till studerade fastigheter är de transporter av farligt gods som transporteras på Lännavägen (väg 259).

5.1.1 Beskrivning av klassindelning

Farligt gods är ett samlingsbegrepp för ämnen och produkter, som har sådana farliga egenskaper att de kan skada människor, miljö, egendom och annat gods om det inte hanteras rätt under transport. Transport av farligt gods omfattas av regelsamlingar, ADR/RID som tagits fram i internationell samverkan [13]. Det finns således regler för vem som får transportera farligt gods, hur transporterna ska ske, var dessa transporter får ske och hur godset ska vara emballerat samt vilka krav som ställs på fordon för transport av farligt gods. Alla dessa regler syftar till att minimera risker vid transport av farligt gods.

Farligt gods delas in i nio olika klasser med hjälp av de så kallade ADR/RID-systemen som baseras på den dominerande risken som finns med att transportera ett visst

RISKUTREDNING



ämne eller produkt. För varje klass finns också ett antal underklasser som mer specifikt beskriver transporten.

Nedan redovisas klassindelningen av farligt gods och en grov beskrivning av vilka konsekvenser som kan uppstå vid en olycka.

Klass 1: Explosiva ämnen och föremål

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Sprängämnen, tändmedel, ammunition, krut och fyrverkerier etc.

Konsekvensbeskrivning för liv och hälsa:

Tryckpåverkan och brännskador. Stor mängd massexplosiva ämnen (Klass 1.1) kan ge skadeområden uppemot 200 m i radie (orsakat av tryckvåg). Personer kan omkomma både inomhus och utomhus primärt pga. ras eller kollaps. Övriga explosiva ämnen och mindre mängder massexplosiva ämnen ger enbart lokala konsekvensområden. Splitter och kringflygande delar kan vid stora explosioner ge skadeområden med uppemot 700 m radie [14].

Klass 2.1: Brandfarlig gas

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Acetylen, gasol etc.

Konsekvensbeskrivning för liv och hälsa:

Brännbara gaser kan ge brännskador och i vissa fall tryckpåverkan till följd av jetflamma, gasmolnexplosion eller BLEVE. Konsekvensområden kan överstiga 100 meter.



Klass 2.2: Icke giftig, icke brandfarlig gas

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Inerta gaser såsom kväve, argon etc. Oxiderande gaser är syre, ozon, kväveoxider etc.

Konsekvensbeskrivning för liv och hälsa:

Icke giftig, icke brandfarlig gas förväntas inte ha några konsekvenser för liv och hälsa om ett läckage sker utomhus. Om ett utsläpp sker av en kondenserad gas kan dock köldskador uppstå om personer får vätskan på sig.

Klass 2.3: Giftig gas

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Klor, svaveldioxid, ammoniak etc.

Konsekvensbeskrivning för liv och hälsa:

Giftiga gaser kan ge omkomna både inomhus och utomhus till följd av giftiga gasmoln. Konsekvensområden kan överstiga 100 meter.

Klass 3: Brandfarliga vätskor

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Bensin, diesel- och eldningsolja, lösningsmedel, industrikemikalier etc. Bensin och diesel (majoriteten av klass 3) transporteras i tankar rymmandes upp till 50 ton.

Konsekvensbeskrivning för liv och hälsa:

Brännskador och rökskador till följd av pölbrand, strålningseffekter eller giftig rök. Konsekvensområden överstiger vanligtvis inte 30 meter för brännskador. Rök kan



spridas över betydligt större område. Bildandet av vätskepöl beror på vägutformning, underlagsmaterial och diken etc.

Klass 4.1: Brandfarliga fasta ämnen, självreaktiva ämnen och fasta okänsliggjorda explosivämnen

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Metallpulver (ex. kisel- och aluminiumpulver), magnesium, svavel, tändstickor.

Klass 4.2: Självantändande ämnen

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Aktivt kol, fiskmjöl, järnoxid, vit/gul fosfor, vattenfri kalium- och natriumsulfid, pyrofort metallorganiskt ämne

Klass 4.3: Ämnen som utvecklar brandfarliga gaser vid kontakt med vatten.



Exempel på ämnen:

Kalium, magnesiumpulver.

Konsekvensbeskrivning för liv och hälsa (för hela klass 4):

Brand, strålningseffekt och giftig rök. Konsekvenserna är vanligtvis begränsade till närområdet kring olyckan. De kräver vanligtvis tillgång till vatten för att utgöra en brandrisk. Mängden brandfarlig gas som bildas står då i proportion till tillgången på vatten.



Klass 5.1: Oxiderande ämnen

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Natriumklorat, kaliumklorat, persulfat, kaliumpermanganat, hypoklorit och väteperoxid (som bland annat återfinns i blekmedel och desinfektionsmedel), perättiksyra m.fl.

Klass 5.2: Organiska peroxider

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Metyletylketonperoxid (MEKP), bensoylperoxid.

Konsekvensbeskrivning för liv och hälsa (för hela klass 5):

Oxiderande ämnen i kontakt med brandfarliga ämnen kan orsaka en exoterm reaktion där en explosiv brandrisk kan resultera i tryckpåverkan och brännskador.

Självantändning, explosionsartade brandförlopp kan uppkomma om väteperoxidlösningar med koncentration över 60 % eller organiska peroxider kommer i kontakt med brännbart och organiskt material (exempelvis bensin). Konsekvensområden p.g.a. tryckvågor uppemot 150 m.

Oxiderande ämnen kan även laka ur och bryta ned organiskt material vilket kan leda till att föroreningar når dricksvattentäkt.

Klass 6.1: Giftiga ämnen

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Arsenik-, bly- och kvicksilversalter, cyanider, bekämpningsmedel, klororganiska och bromorganiska föreningar.



Klass 6.2: Smittförande ämnen

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

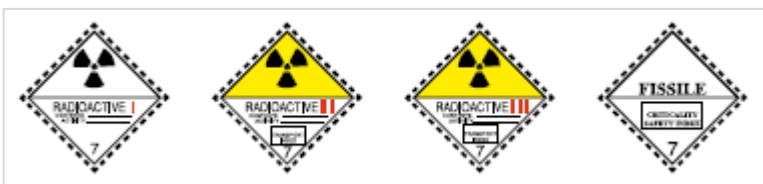
Sjukhusavfall, kliniska restprodukter, levande virus, bakterier, sjukdomsalstrande mikroorganismer etc.

Konsekvensbeskrivning för liv och hälsa (för hela klass 6):

Giftigt utsläpp. Små utsläpp kan orsaka att dricksvatten/vattentäkt blir otjänligt. Konsekvenserna är vanligtvis begränsade till närområdet.

Klass 7: Radioaktiva ämnen

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Medicinska preparat, brandvarnare, vissa mätinstrument och pacemakers. Kärnavfall. Transporteras vanligtvis i små mängder.

Konsekvensbeskrivning för liv och hälsa:

Utsläpp av radioaktivt ämne, kroniska effekter mm. Konsekvenserna begränsas till närområdet (medicinska preparat) men kan även bli katastrofala (vid utläckage av kärnavfall).



Klass 8: Frätande ämnen

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

Saltsyra, svavelsyra, salpetersyra, natrium- och kaliumhydroxid (lut). Transporteras vanligtvis som bulkvara.

Konsekvensbeskrivning för liv och hälsa:

Utsläpp av frätande ämne. Dödliga konsekvenser begränsas till olycksområdet [14] (LC50). Personskador kan uppkomma på längre avstånd (IDLH). Det kan uppkomma pH-förändring i vattenmiljön vid stora utsläpp.

Klass 9: Övriga farliga ämnen och föremål

Etikettförlagor:



Exempel på ämnen:

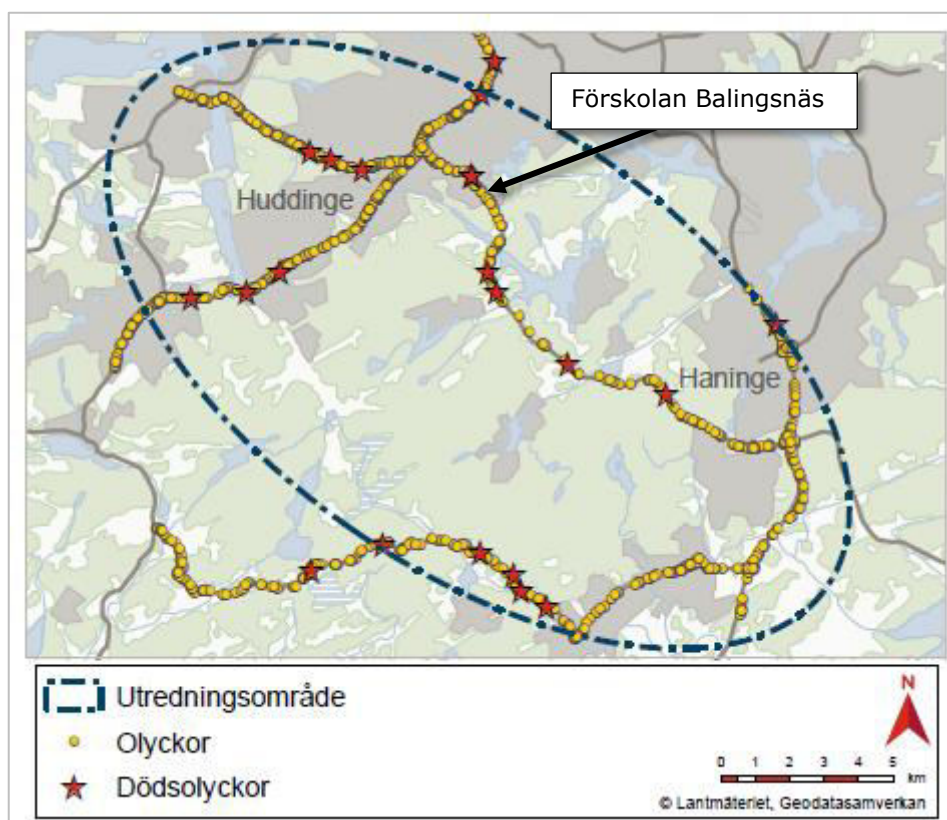
Gödningsämnen, asbest, magnetiska material, fordon, motorsågar, batterier, batteridrivna utrustningar, asbest och torr-is, vissa första hjälpen-produkter etc.

Konsekvensbeskrivning för liv och hälsa:

Utsläpp. Konsekvenser begränsade till närområdet.

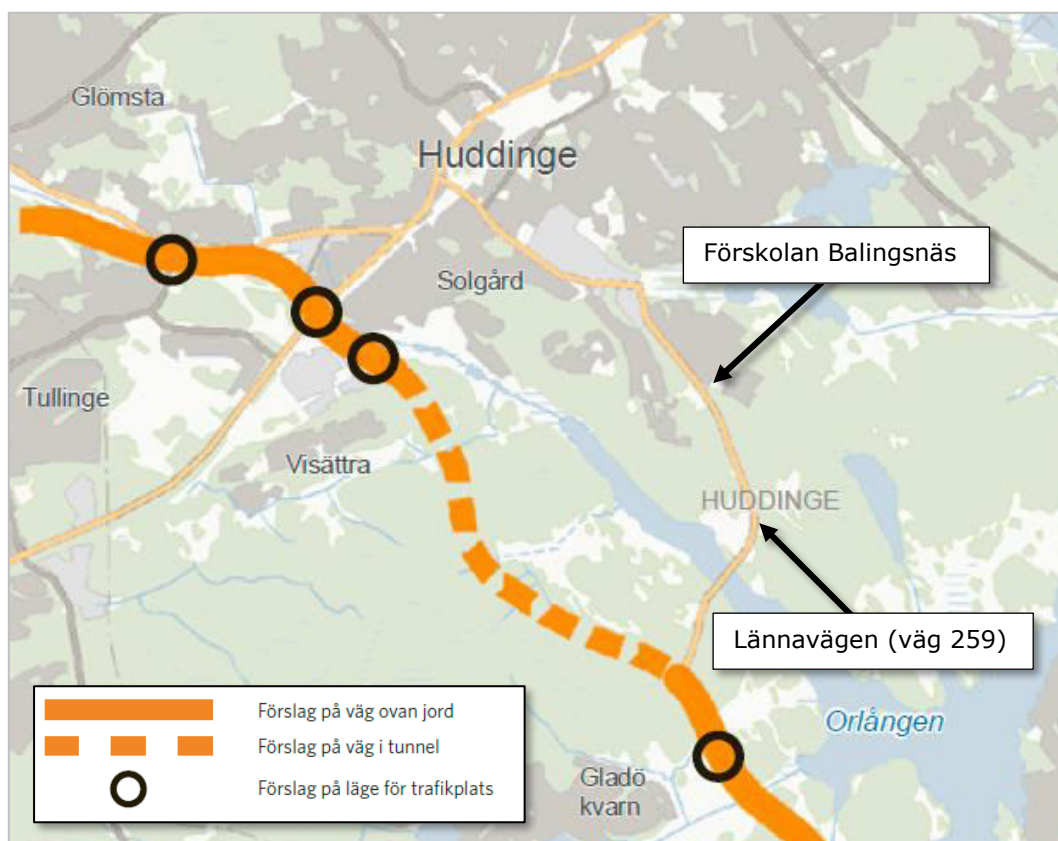
5.1.2 Transporterade mängder

Väg 259 är i jämförelse med motsvarande vägar av samma typ inom området relativt olycksdrabbad. Mellan 2003 och 2014 rapporterades det in över 500 trafikolyckor på vägen, som resulterade i nio dödsfall och 55 svårt skadade. Singelolyckorna och upphinnandeolyckor har varit dominerade. [15] Det har dock inte inrapporterats några farligt godsolyckor på sträckan. En sammanställning av inrapporterade trafikolyckor på väg 259 kan ses i Figur 11.



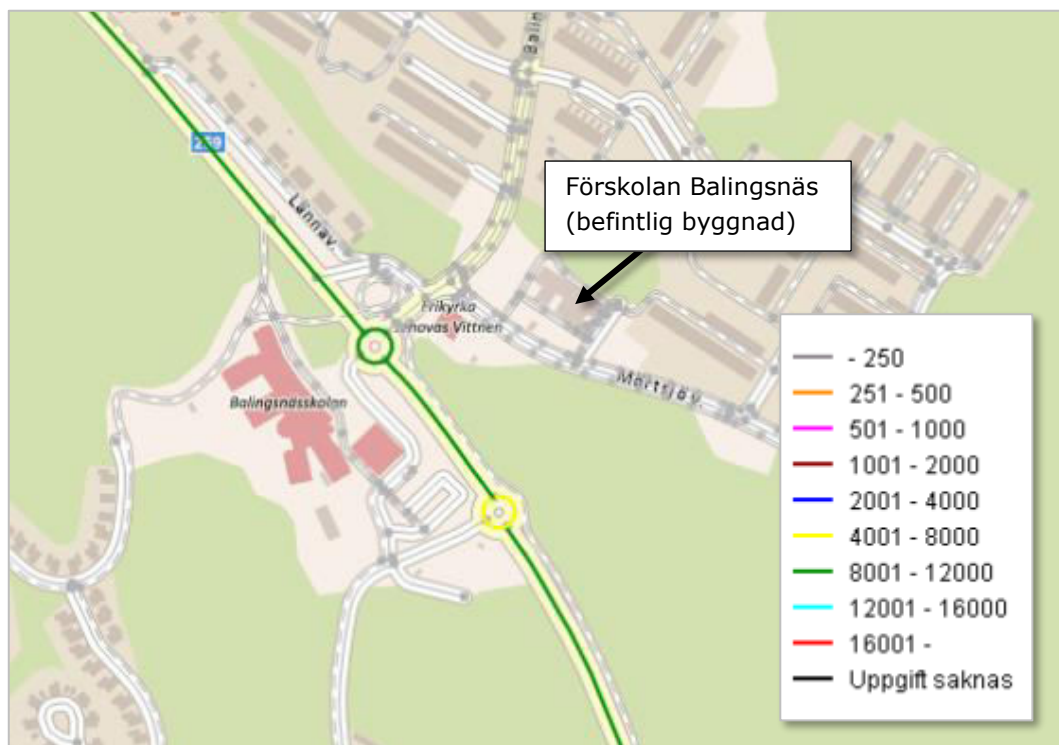
Figur 11. Sammanställning från STRADA över trafikolyckor mellan 2003 och 2014. [15]

Bland annat på grund av olycksfrekvensen på väg 259 planerar Trafikverket vid denna rapports uppförande för projektet Tvärförbindelsen Södertörn, en 20 kilometer ny sträckning av väg 259 från E4/E20 vid Skärholmen/Kungens kurva till väg 73 vid Haninge centrum, se Figur 12. Tvärförbindelsen Södertörn ska vara primärt stråk för tung trafik och primärled för farligt gods vilket kommer att innebära att både den tunga trafiken och farligt godstransporterna på studerad sträcka av Lännavägen radikalt kommer att minska i framtiden.



Figur 12. Planerad sträckning av Tvärförbindelse Södertörn [16]

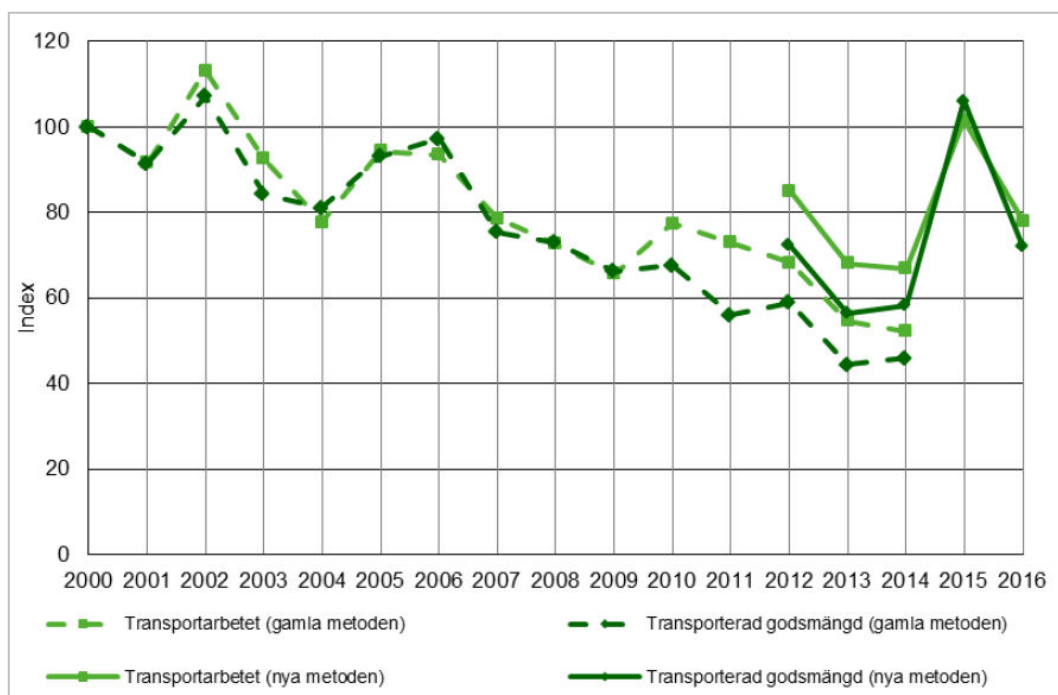
Uppgifter om årsdygnsmedeltrafiken (ÅDT) har tillhandahållits av Trafikverket för mätåret 2017. På Lännavägen (väg 259) förbi förskolan Balingsnäs var ÅDT 10 565 och för tung trafik 1 839, dvs. 17 % utgjordes av tung trafik, se Figur 13.



Figur 13. ÅDT för Lännavägen (väg 259) från Trafikverkets nationella vägdatas. [11]

Ingen lokal statistik finns framtagen avseende farligt godstransporter för väg 259. Som underlag används därför nationell statistik för farligt godstrafik för att bedöma transporterade mängder för det aktuella vägnittet.

År 2000 transporterades 15,4 miljoner ton farligt gods på vägar i Sverige och år 2016 var motsvarande siffra 11 miljoner ton. Även transportarbetet minskade under samma period från 2,0 miljarder tonkilometer till 1,6 miljarder tonkilometer inom Sverige. Det totala transportarbetet inom Sverige 2016 var 39,6 miljarder tonkilometer, dvs. transportarbetet omfattande farligt gods utgjorde 4 % av det totala transporterade godset. Hur utvecklingen av transporter av farligt gods sett ut sedan 2000 fram till 2016 redovisas i Figur 14. [17]



Figur 14. Inrikes lastad godsmängd och godstransportarbete (tonkilometer) med svenska lastbilar fördelat på ADR/ADR-S-klassificering år 2000 till 2016. Index (år 2000=100) [17].

Den senast officiellt framtagna statistiken som visar hur fördelningen av farligt godsklasser ser ut på det svenska vägnätet avser 2016. Ett genomsnitt på fördelningen utifrån antalet transporter redovisas i Tabell 2 avseende perioden 2013-2016.



Tabell 2. Inrikes farligt godstransporter fördelat på ADR/ADR-S [18] & [19] & [20] & [21]

Klass	Typ av farligt gods	Antal transporter 1000-tal	Andel 2013-2016 [%]	Andel 2016 [%]
Klass 1	Explosiva ämnen och föremål	3	0,6%	1,2%
Klass 2	Gaser (komprimerade, flytande eller tryckupplösta)	86	19,6%	15,6%
Klass 3	Brandfarliga vätskor	233	53,4%	58,8%
Klass 4.1	Brandfarliga fasta ämnen	2	0,4 %	0,7%
Klass 4.2	Självantändande ämnen	1	0,3%	0,7%
Klass 4.3	Ämnen som vid kontakt med vatten utvecklar brandfarliga gaser	2	0,3%	0,5%
Klass 5.1	Oxiderande ämnen	12	2,7%	2,3%
Klass 5.2	Organiska peroxider	-	-	-
Klass 6.1	Giftiga ämnen	25	5,6%	11,2%
Klass 6.2	Smittsamma ämnen	1	0,2%	0,2%
Klass 7	Radioaktiva ämnen	-	-	-
Klass 8	Frätande ämnen	59	13,5%	7,9%
Klass 9	Övriga farliga ämnen och föremål	15	3,4%	0,9%
Totalt		429	437	100 %

Dessvärre redovisas inte indelningen i de olika underklasserna till klass 2 i den svenska officiella statistiken från Trafikanalys. Baserat på dåvarande Räddningsverkets undersökning av farligt godsflöden (i ton) i september 2006 anges i den rapporten att klass 2.1 (Brandfarlig gas) stod för 1,8 % av totala farligt godsmängden, klass 2.2 för 5,9 % och klass 2.3 (Giftig gas) stod för 0,012 % [22]. Denna undersökning anger dock andelen av transportmängden och inte antal transporter. Detta måste dock antas vara likställt för att kunna komma fram till en fördelning. Enligt beräkningen ovan anges att klass 2 totalt sett utgör 19,6 % av farligt godstransporterna som genomsnitt under år 2013-2016. Efter att ha använt samma fördelning som i Räddningsverkets undersökning avseende klass 2 fås att klass 2.1 utgör 4,6 %, klass 2.2 utgör 14,9 % och klass 2.3 utgör 0,03 %. För att vara konservativ ökas andelen giftig gas till 1 %, på bekostnad av klass 2.2 som då blir 13,9 %. Dessa antaganden kommer att användas i beräkningarna.



Det antas enligt statistiken från Trafikverkets nationella vägdatabas att 17 % av transporter på Lännavägen är tung trafik. Det antas sedan att 4 % av antalet tunga transporter per dygn utgörs av farligt gods, enligt det svenska genomsnittet avseende 2016. För att ta höjd för eventuella förändrade flöden av farligt godstransporter kommer en omräkning att göras med en linjär ökning respektive minskning om 1 % per år avseende farligt gods från år 2017 till jämförelseåret 2030. Dessa båda uträkningar utgår i sig från att ÅDT tung trafik ökar med 1 % per år mellan 2017 och 2030.

Beroende på om Tvärförbindelsen Södertörn byggs och hinner bli klar fram till 2030 är de uppräknade siffrorna att beakta som mycket konservativa. Tvärförbindelsen Södertörn kommer då att bli primär transportled och väg 259 kommer endera att bli sekundär transportled för farligt gods alternativt att ett förbud införs mot transport av farligt gods på väg 259.

Om Tvärförbindelse Södertörn inte byggs så bedöms siffrorna ändå som konservativa eftersom farligt godsmängderna ur ett riksperspektiv faktiskt minskade mellan 2000 och 2016, med dock en enskilt stor ökning 2015 som inte har en entydig förklaring. I individriskberäkningen kommer därför de oförändrade siffrorna avseende farligt gods för 2030 att användas.

Det uppräknade resultatet av bedömd mängd farligt godstransporter per år 2030 framgår av Tabell 3.

Tabell 3. Framräknat antal transporter med farligt gods längs med Lännavägen (väg 259) för jämförelseåret 2030.

Klass	Andel [%]	Tung trafik [antal/år]	Farligt gods [antal/år]		
			1 % ökning/år	1 % minskning/år	Oförändrat 2030
1	0,6%	763 928	199	154	175
2.1	4,6 %		1611	1242	1416
2.2	13,9 %		4834	3727	4247
2.3	1 %		348	268	306
3	53,4%		18564	14313	16311
4.1	0,4%		139	108	123
4.2	0,3%		100	77	88
4.3	0,3%		120	92	105
5.1	2,7%		956	737	840
5.2	-		-	-	-
6.1	5,6%		1952	1505	1715
6.2	0,2%		60	46	53
7	-		-	-	-
8	13,5%		4681	3609	4113
9	3,4%		1175	906	1033
			Tot: 34 738	Tot: 26 785	Tot: 30 523



I tabellen framgår att den vanligaste typen av transport på det svenska vägnätet, och sannolikt också på väg 259, utgörs av brandfarliga vätskor följt av gaser, giftiga ämnen och frätande ämnen.

6 Riskanalys

6.1 Grovanalys - Identifiering av risker/skadehändelser

I detta avsnitt identifieras risker/skadehändelser och huruvida dessa kan påverka området på sådant sätt att skyddsåtgärder behövs. Alla klasser för farligt gods transporteras inte på alla sträckor och skadehändelser med ett ämne tillhörande en specifik klass måste inte nödvändigtvis påverka aktuella skyddsvärda objekt. Som huvudsakligt underlag till vilken typ av farligt gods som kan tänkas transporteras på väg 259 har uppgifterna i avsnitt 5.1.2 använts.

6.1.1 Klass 1: Explosiva ämnen

Inom kategorin explosiva ämnen är det primärt underklass 1.1, som utgörs av massexplosiva ämnen, som har ett skadeområde på människor större än ett 10-tal meter. Exempel på sådana varor är sprängämnen, krut m.m. Risken för explosion föreligger vid en brand i närheten av dessa varor samt vid en kraftfull sammanstötning där varorna kastas omkull. Skadorna vid en explosion härrör dels till direkta tryckskador men även till värmestrålning samt indirekta skador som följd av sammanstörtade byggnader. Varor av klass 1.2 till 1.6 ger inte samma skadeeffekt utan orsakar istället splitter eller dylikt som sprids från olycksplatsen.

Ämnen i klass 1.1 delas i sin tur in i ytterligare underklasser, klass 1.1A och 1.1B, där klass 1.1A utgör de mest reaktiva ämnena, själva tändämnena. Klass 1.1A får endast transporteras i mängder om 6,25 kg till 18,75 kg, beroende på klassning av förpackning och fordon, varpå skadeområdet begränsas. Övriga ämnen inom underklass 1.1 får transporteras upp till 16 000 kg, förutsatt att fordonet håller högsta fordonsklass (EX/III) enligt regler för transport av farligt gods på väg. Fordon av denna klass har en lång rad barriärer som motverkar olyckor med fordonet, brand i fordon och spridning av brand till last varför sannolikheten för detonation minskar ytterligare.

Motivering

På grund av restriktionerna av hur transporter med explosiva ämnen får ske, i kombination med att kategorin utgör en liten del av den totala mängden transporterat farligt gods, så bedöms en explosion med klass 1 som osannolik. Det bergsparti som finns mellan förskolan och väg 259 bedöms kunna ta upp samtlig energi/tryckvåg i händelse av explosion. Endast olyckor med mycket stor last bedöms kunna ge tryckvågor som eventuellt kan ge strukturskador och förstöra fönster på oskyddade byggnader. Eftersom olyckor med explosivämnen ändå inte kan uteslutas kommer denna klass medtas i den kvantitativa beräkningen.

6.1.2 Klass 2.1: Kondenserade brandfarliga gaser

En olycka som leder till utsläpp av brandfarlig gas kan leda till någon av följande händelser:

Jetbrand



En jetbrand uppstår då gas strömmar ut genom ett hål i en tank och direkt antänds. Därmed bildas en jetflamma, vars längd avgörs av storleken på hålet i tanken.

Gasmolnsbrand

När gas läcker ut genom ett hål i en tank men inte antänds direkt som i ovanstående scenario uppstår ett brännbart gasmoln. Om gasmolnet antänds i ett skede där luftinblandningen inte är tillräcklig för att en explosion ska inträffa utvecklas förloppet istället till en gasmolnsbrand med diffusionsförbränning.

Gasmolnsexplosion

Vid ett gasmolnsutsläpp som inte antänds omedelbart kommer luft att blandas med den farliga gasen. Vid antändning kan detta resultera i en gasmolnsexplosion om en tillräckligt stor mängd av gas och luft har blandats till en viss koncentration. Beroende på vindstyrka kan explosionen inträffa en bit ifrån olycksplatsen. Vanligast är att explosionen är av typen deflagration, vilket innebär att flamfronten rör sig betydligt långsammare än ljudets hastighet och resulterar i en svagare tryckvåg än vid detonation. En gasmolnsexplosion kan medföra skador av värmestrålning och skador av tryckvågen.

BLEVE

BLEVE är en benämning på en händelse som kan inträffa om en tank med kondenserad brandfarlig gas utsätts för yttre brand. Värmen orsakar ett stigande tryck i tanken då den inneslutande mängden expanderar och följaktligen rämmer tanken. Innehållet övergår i gasform på grund av den höga temperaturen och det lägre tryck som råder utanför tanken och antänds. Vid antändningen bildas ett stort eldklot som avger intensiv värmestrålning. För att en sådan händelse ska kunna inträffa krävs en kraftig upphettning av tanken, exempelvis orsakad av en antänd läcka i en annan närstående tank med brandfarlig gas eller vätska.

Motivering

Transporter av brandfarlig gas är relativt vanligt förekommande på Lännavägen utifrån de antaganden och den statistik som redovisas i avsnitt 5.1.2. Vid platsbesöket noterades även att en lastbil med kondenserad brandfarlig gas passerade på vägen, se Figur 9.

Bergspartiet fungerar även för denna typ av olyckor som en barriär mot konsekvenser i form av tryckvåg och värmestrålning.

Om ett gasmoln skulle spridas upp på bergspartiet och inom växtligheten skulle antändning av molnet medföra att påföljande flamfront och tryckvåg blir kraftigare jämfört med ett område utan växtlighet eller hinder. Detta beror på ökad turbulens i luftflödet som ger en större inblandning av syre i gasmolnet. Ett sådant scenario ses dock som mycket osannolikt och det bedöms därför inte vara rimligt att motivera riskreducerande åtgärder för denna typ av olyckor.

Om ett utsläpp med efterföljande antändning skulle ske i den närmast placerade cirkulationsplatsen, på ca 63 meters avstånd från fastighetsgränsen, skulle inte hela bergspartiet kunna bidra som en riskreducerande barriär. Dock ligger förskolan skyddad bakom befintlig bebyggelse (Rikets sal) i detta avseende. Byggnaden (Rikets sal) skulle kunna, i den mycket osannolika händelsen att det sker ett utsläpp och antändning i cirkulationsplatsen, uppta en del av tryckvågen och värmestrålningen.



Eftersom olyckor med brandfarlig gas inte kan uteslutas kommer dessa att tas med i de kvantitativa beräkningarna.

6.1.3 Klass 2.3: Kondenserad giftig gas

Läckage av kondenserad giftig gas kan medföra att ett moln av giftig gas driver mot skyddsvärda objekt och orsakar allvarliga skador eller dödsfall. De tre mest frekvent transporterade gaserna i Sverige är generellt vattenfri ammoniak, klorgas och svaveldioxid.

Nedan följer en kortare beskrivning av vattenfri ammoniak, klorgas och svaveldioxid.

Vattenfri ammoniak

Generellt är ammoniak tyngre än luft varför spridning av gasen sker längs marken. Giftig kondenserad gas kan ha ett riskområde på hundra meter upp till många kilometer beroende på mängden gas. Gasen är giftig vid inandning och kan innebära livsfara vid höga koncentrationer.

Klor

Klor utgör den giftigaste gasen som här ges som exempel på gaser som kan drabba skyddsvärda objekt. Den kan sprida sig långt likt gaserna ovan och har ett IDLH-värde på 10 ppm.

Svaveldioxid

Även svaveldioxid är en giftig tung gas som vid ett utsläpp kan ha ett riskområde om flera hundra meter. Gasen har ett IDLH-värde på 100 ppm.

Motivering

Ur den statistik som utgör underlag till denna riskutredning finns ingen uppskattning avseende andelen giftig gas av den totala klass 2. Rent generellt utgör dock giftig gas en mindre andel av klass 2 som helhet.

Ett utsläpp av giftig gas kan medföra gasmoln som kan få stor spridning med koncentrationer som vid ogynnsamma exponeringstider kan orsaka allvarliga skador eller dödsfall på flera hundra meters avstånd. De flesta giftiga gaser har högre densitet än luft och lägger sig därför vid marknivå där de högsta koncentrationerna finns och rör sig mot lågpunkter i terrängen. En förmildrande omständighet i detta fall är att förskolan ligger i ett något högre höjdläge än väg 259 samt att det avskiljande bergspartiet verkar som en barriär mot att koncentrationer med allvarlig hälsopåverkan kan nå personer inom fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160.

Scenario med denna godsklass medtas i de kvantitativa beräkningarna.

6.1.4 Klass 3: Brandfarlig vätska

Den typiska konsekvensen vid en olycka där brandfarliga vätskor är inblandade är ett läckage som vid antändning bildar en pölbrand. Brandfarlig vätska klassificeras i underklasser efter antändningstemperatur där exempel på brandfarlig vätska klass I är bensen och etanol. Båda dessa är extremt lättantändliga och brinner med hög intensitet. Dieselolja och eldningsolja är däremot exempel på brandfarlig vätska klass III som är svårantändliga vid normal utomhustemperatur och först behöver värmas upp (flampunkt > 55°C). Klass III vätskor bedöms därför inte antändas vid ett eventuellt utsläpp.



Motivering

Transport av brandfarliga vätskor är den i särklass vanligaste typen av farligt gods som transporteras på det svenska vägnätet, vilket statistiken i avsnitt 5.1.2 visar.

En pölbrand kan avge hög strålning och varma brandgaser som kan skada människor och strukturer förutsatt att pölbranden är tillräckligt stor och nära skyddsvärda objekt. En pölbrand som uppstår i anslutning till väg 259 kommer i detta fall att avskärmas av det bergsparti som finns mellan väg 259 och förskolebyggnaden. Att brandspridning genom skogen på bergspartiet mellan pölbranden och förskolebyggnaden ska kunna ske bedöms som extremt osannolikt i och med att Mörtsjövägen även avgränsar förskolebyggnaden mot bergspartiet/skogsväxtligheten.

Klassen kommer dock att tas med i de kvantitativa beräkningarna för att indikera om det finns en förhöjd i nära anslutning till Lännavägen.

6.1.5 Klass 4: Brandfarliga fasta ämnen

Eftersom ämnen av klass 4 transporteras i fast form sker ingen spridning i samband med en olycka. För att brandfarliga fasta ämnen (ferrokisel, vit fosfor etc.) ska resultera i en brandrisk måste de komma i kontakt med vatten och då bilda brandfarlig gas. Risken utgörs då av strålningspåverkan vid antändning av gasen.

Motivering

En brand med brandfarliga fasta ämnen är begränsad till olycksplatsen och strålningsnivåerna utgör endast en fara för människor som befinner sig i närheten av branden. Inga specifika skyddsåtgärder med hänsyn till denna farligt godsklass föreslås därför i avsnitt 8.

6.1.6 Klass 5: Oxiderande ämnen

Vissa oxiderande ämnen (såsom väteperoxid, natriumklorat etc.) kan vid kontakt med en del organiska ämnen orsaka kraftiga bränder. Vid kontakt med vissa metaller kan ämnena sönderdelas snabbt och frigöra stora mängder syre som kan förse en eventuell brand. Under vissa omständigheter kan även explosionsfarliga blandningar uppstå.

Motivering

Sannolikheten för att en olycka med oxiderande ämnen utvecklar sig till ett scenario med risk för personskada är mycket låg, då en serie händelser måste inträffa och flera olika ämnen måste vara inblandade. Eftersom konsekvenserna ändå kan bli betydande medtas dessa olyckor i de kvantitativa beräkningarna.

6.1.7 Giftiga och smittbärande ämnen (Klass 6.1 och 6.2)

Ämnen i denna klass kan exempelvis vara arsenik, bly, kadmium, sjukhusavfall etc. En olycka med giftiga och smittbärande ämnen är endast en risk för människor som kommer i fysisk kontakt med dessa ämnen, exempelvis genom förtäring.

Motivering

Då skadeområdet för en olycka med dessa ämnen är begränsat till närområdet kommer klass 6 därför inte ingå i de kvantitativa beräkningarna.



6.1.8 Radioaktiva ämnen (Klass 7)

En olycka med radioaktiva ämnen inblandade kan få mycket allvarliga konsekvenser. Transporterna av radioaktiva ämnen är dock fokuserade kring endast några få transportleder i Sverige.

Motivering

Mängden radioaktiva ämnen som transporteras på vägsträckan invid fastigheten bedöms vara mycket liten, om inte noll. Därtill är transportförutsättningarna sådana att det kan antas vara osannolikt att en olycka leder till spridning av godset utanför vägen. Därför bedöms bidraget till risken vara försumbar och det är inte motiverat att ytterligare analysera eller ta hänsyn i skyddsåtgärder för denna typ av farligt gods-klass.

6.1.9 Frätande ämnen (Klass 8)

En olycka med frätande ämnen, exempelvis saltsyra och svavelsyra, ger endast lokal påverkan vid olycksplatsen då skador uppkommer först vid kontakt med huden.

Motivering

På grund av det begränsade skadeområdet bedöms det inte motiverat att ytterligare analysera denna olyckstyp. Inga specifika skyddsåtgärder med hänsyn till denna godsklass föreslås därför i avsnitt 8..

6.1.10 Övriga farliga ämnen (Klass 9)

Transporter med farligt gods inom denna kategori utgörs av exempelvis magnetiska material, litiumjonbatterier eller airbags.

Motivering

Olyckor med transporter av farligt gods i denna kategori begränsas till närområdet och det bedöms därmed inte motiverat att ytterligare analysera denna olyckstyp. Inga specifika skyddsåtgärder med hänsyn till denna godsklass föreslås därför i avsnitt 8.

6.1.11 Sammanfattning av grovanalys avseende farligt gods

Utifrån motiveringarna i ovanstående kapitel inkluderas följande klasser/riskkällor i de kvantitativa beräkningarna:

- Olycka med explosiva ämnen (Klass 1)
- Olycka med brandfarlig gas (Klass 2.1)
- Olycka med kondenserad giftig gas (Klass 2.3)
- Olycka med brandfarlig vätska (Klass. 3)
- Olycka med oxiderande ämnen (Klass 5)

6.2 Individrisk

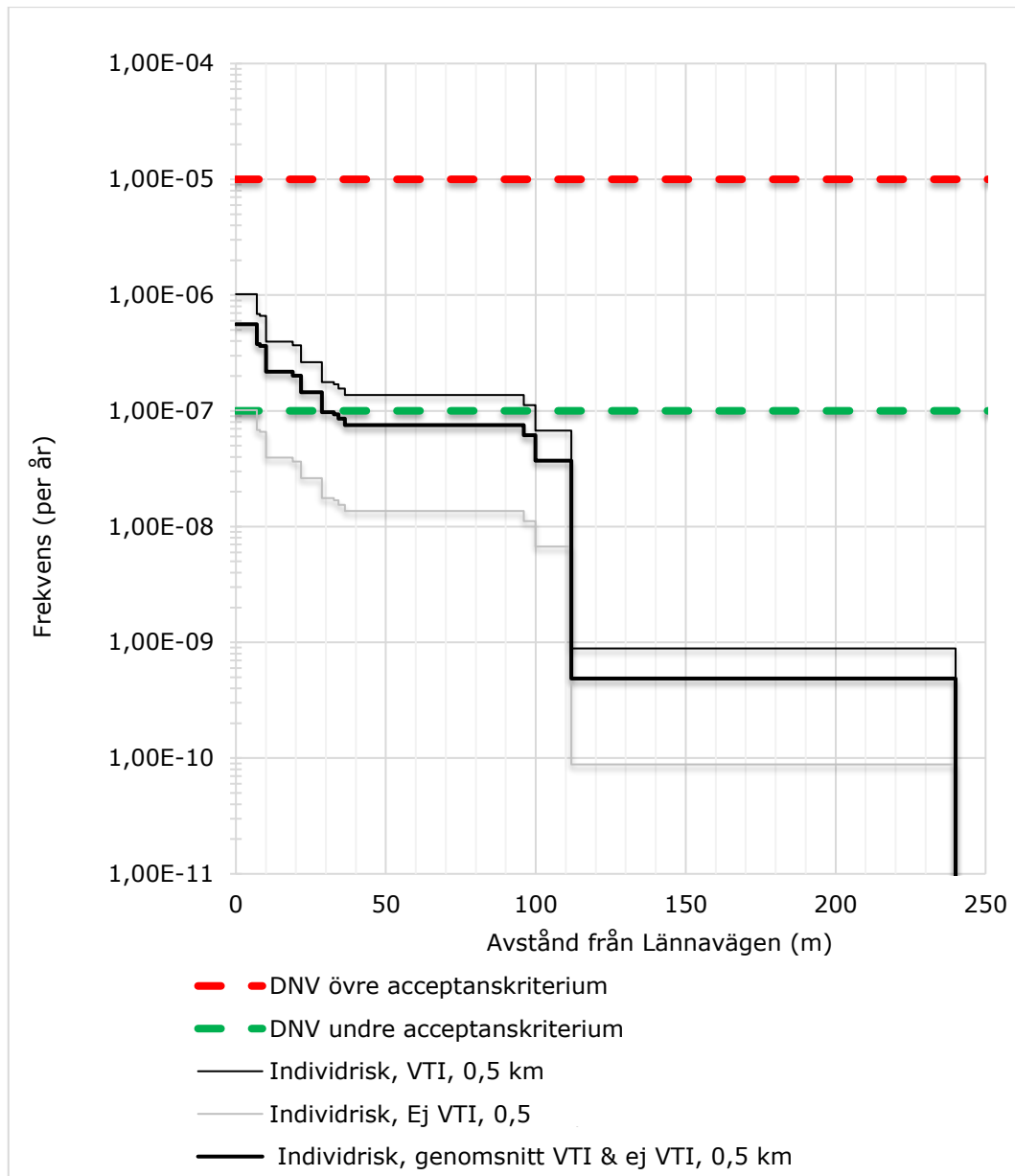
Individrisknivån för 2030 som funktionen av avståndet åt öster (mot förskolan/bergspartiet) från studerad sträcka av Lännavägen redovisas i Figur 15. Individrisknivån avser oskyddade individer som befinner sig utomhus.

Den beräknade individrisken som visas är individrisken i riktning mot skyddsvärda objekt (åt öster). Eftersom bergspartiet har antagits reducera vissa konsekvenser av beräknade scenarion är individrisknivån väster om Lännavägen egentligen högre än den redovisade i Figur 15.

RISKUTREDNING



Individrisken redovisas utifrån två olika metoder att beräkna frekvensen för den inledande trafikolyckan; dels VTI-modellen och dels den modell som föreslås av Länsstyrelsen i Halland (se vidare avsnitt 7).



Figur 15. Beräknad individrisk som funktion av avståndet åt öster från studerad sträcka av Lännavägen. Individrisken visas för prognosåret 2030.

Beräkningen visar att individrisken där VTI-modellen har använts befinner sig inom den lägre delen av ALARP-området från vägkant av Lännavägen upp till 100 meter öster om denna. Mellan 36 till 100 meter ligger dock individrisken mycket nära det undre acceptanskriteriet. De scenarier som berörs handlar om spridning av giftig gas och BLEVE (vid 240 meter). De skyddsvärda objektet (fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160) befinner sig som närmast på ca 63 meters avstånd från Lännavägen (mätt från närmaste cirkulationsplats på Lännavägen).

Efter 100 meter sjunker individrisken till en nivå som understiger det acceptabla individriskkriteriet. Individrisknivån sjunker sedan allt lägre som funktion av avståndet



från vägen, till dess att det mest omfattande scenariot (BLEVE) har beaktats efter vilken individrisknivån blir obefintlig.

Eftersom risknivån för VTI-modellen inom 100 meter från vägkant befinner sig inom den lägre delen av ALARP-området, ska möjliga åtgärder till riskreduktion beaktas enligt de kriterier som använts.

Denna individrisknivå kan dock jämföras med den individrisknivå som beräknats med beräkningsmodellen som Länsstyrelsen i Halland rekommenderar. Vid beräkning med denna modell befinner sig individrisknivån utan vidare åtgärder helt under det lägre acceptanskriteriet, förutom precis vid vägkant där det lägre acceptanskriteriet tangeras. Om hänsyn endast tas till denna metod krävs alltså inga vidare riskreducerande åtgärder.

Skillnaden mellan de båda modellerna i olycksfrekvens för den inledande trafikolyckan är ca en tiopotens. För att ta en mellanväg antas den verkliga individrisknivån ligga i genomsnittet av de två modellerna. Detta genomsnitt har också beräknats och redovisas i Figur 15. Vid genomsnittet ligger individrisknivån under det nedre acceptanskriteriet efter 34 meter från vägkant, dvs. inga riskreducerande åtgärder krävs för de studerade fastigheter.

För att ta höjd för osäkerheter och känsligheter (se avsnitt 7) i antaganden och beräkningsmodeller kommer dock ett antal riskreducerande åtgärder ändå att rekommenderas i avsnitt 8.

7 Känslighets- och osäkerhetsanalys

7.1 Känslighetsanalys

Syftet med känslighetsanalysen är att visa hur känsligt de dragna slutsatserna är för variationer i indata. Variationer kan studeras avseende följande parametrar:

- Antal transporter
- Klass och mängd farligt gods
- Sannolikhet för olyckor
- Konsekvenser vid studerade scenarion

Olycksfrekvensen påverkas av vilken metod för beräkning av olycksfrekvensen som används. VTI-modellen har använts, och denna är standardmetod för dylika utredningar. Generellt hanteras osäkerheter i metoden genom att metoden är konservativ. Dessvärre är denna metod schablonartad och baseras utifrån vägens typ, hastighet och typ av omkringliggande landskap. Lokala påverkansfaktorer på vägutformningen som bedöms öka trafiksäkerheten såsom anläggandet av säkerhetszon vid vägkant, bättre siktförhållanden etc. finns dessvärre inte med som ingående parametrar i beräkningsmodellen. Dessa faktorer, som rent teoretiskt har en reducerande påverkan på olycksfrekvensen, kan därför inte omhändertas i modellen. Således bedöms generellt olycksfrekvensen vara mycket konservativ. Utifrån VTI-modellen kan det även konstateras ett linjärt samband mellan resultatet och förändringar i såväl antalet transporter som sannolikhet för olyckor. Detta innebär att en procentuell förändring av dessa parametrar ger motsvarande variation av resultatet. Exempelvis medför en ökning av antalet transporter av farligt gods med 10 % att olycksfrekvensen ökar med 10 %.

Genom att beräkna frekvensen för olycka med farligt gods med en annan metod kan olycksfrekvensen i VTI-modellen jämföras. En sådan metod har föreslagits av



Länsstyrelsen i Halland [23]. Metoden utgår från antalet olyckor där fordon som skyltats med "farligt gods" som inrapporterats till MSB under ett år i hela landet. De inrapporterade olyckorna innebär inte att det farliga godset har släppts ut, utan endast att ett fordon som transporterar farligt gods har medverkat i en olycka. En osäkerhet i inrapporteringen är att det kan finnas ett mörkertal, dvs. alla olyckor rapporteras inte in så att risknivån underskattas. Dock bedöms det som mycket osannolikt att allvarliga olyckor inte finns inrapporterade i underlaget. Förutom att metoden är känslig avseende inrapporterade olyckor tar den ingen hänsyn till vägtyp, hastighetsbegränsning och andra faktorer med påverkan på trafiksäkerheten på den sträcka som studerats. Olycksfrekvensen bygger på ett rikssnitt oberoende av allt detta, endast med hänsyn till totalt körsträcka för tunga fordon i Sverige.

Inrapporterade olyckor redovisas i Tabell 4.

Tabell 4. Inrapporterade olyckor med farligt gods under transport på det svenska vägnätet 2007-2016. [24]

År	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Antal rapporterade olyckor med farligt gods under transport	19	16	15	16	14	13	18	6	12	7

Genomsnittet för ovanstående period är således 14 olyckor per år.

Total körsträcka för tunga fordon år 2016 är $3,0 \cdot 10^9$ fordon km per år i hela landet och i snitt utgör farligt gods 4% av den totala tunga trafiken. [18]

Antal olyckor per körd kilometer med farligt gods kan då beräknas till $1,13 \cdot 10^{-7}$.

Enligt de transportberäkningar som genomförts körs ungefär 30 523 transporter med farligt gods per år på studerad sträcka för prognosåret 2030. Frekvensen för olycka med farligt gods på en ca 0,5 kilometer lång sträcka blir då $0,5 \cdot 30\,523 \cdot 1,13 \cdot 10^{-7} = 1,73 \cdot 10^{-3}$ per år, vilket motsvarar en olycka med farligt gods ungefär vart 578:e år. Motsvarande frekvens enligt VTI-modellen, och som används i alla kvantitativa beräkningar i denna rapport, är $1,74 \cdot 10^{-2}$ per år, vilket motsvarar en olycka vart 58:e år. VTI-modellens olycksfrekvens är alltså ca 10 gånger högre. I beräkningsbilagorna presenteras individrisken för VTI-modellen, men i individriskkurvan redovisas även beräkningen om ovanstående modell används som inledande olycksfrekvens i händelseträden.

Resultatets känslighet för variationer avseende konsekvenser vid studerade scenarier bedöms som relativt stor. Konsekvensberäkningar i form av bränder och utsläpp av gaser och syror är beroende av en rad olika parametrar, exempelvis bland annat hållstorlek, vindstyrka och utetemperatur. Varierande väderparametrar (såsom vindstyrka, vindriktning och stabilitetklass) har hanterats i analysen, likaså varierande hållstorlekar. Dessa är de parametrar som av erfarenhet kan ha stor inverkan på beräknade konsekvensavstånd, tillsammans med en parameter som kallas för ytråhet som kan efterliknas en effektiv amplitud och som beskriver topografin i området. Ett konservativt val av ytråhet har gjorts för att ta höjd för osäkerheter vid spridning av gaser. Ytråhet som motsvarar skogsmark eller stadsmiljö bidrar till ökad mekanisk



turbulens och således snabbare utspädning av ett gasmoln. Andra parametrar som utetemperatur, solinstrålning och luftfuktighet har av erfarenhet mindre påverkan på konsekvensavstånd.

7.2 Osäkerhetsanalys

Syftet med osäkerhetsanalysen är att visa hur osäkert det underlag är som slutsatser är grundade på. Osäkerheten analyseras avseende följande parametrar:

- Antal transporter
- Sannolikhet för olyckor
- Konsekvenser vid studerade scenarion

Osäkerhet i den trafikprognos (total trafik) som använts beror framförallt på svårigheter att förutsäga hur trafiken utvecklas, andelen lastbilstrafik etc. Om den totala mängden trafik varieras med en faktor 100 påverkas olycksfrekvensen med ungefär en hundradel. Alltså är trafikprognosens påverkan på olycksfrekvensen försumbar i VTI-modellen.

Det svenska rikssnittet har använts utifrån transporterade mängder och klasser av farligt gods på den studerade sträckan. Osäkerheten i detta är att det inte går att säga om rikssnittet överensstämmer med hur situationen med transport av farligt gods på sträckan ser ut i verkligheten, eller hur den kommer att förändras fram till prognosåret 2030 avseende båda mängder och vilka klasser som transporteras.

Osäkerheterna avseende antalet transporter har hanterats genom att ansätta en 1 %-ig ökning per år av de tunga transporterarna från 2017 fram till prognosåret 2030. Detta bedöms vara konservativt eftersom den generella långsiktiga trenden de senaste tjugo åren har varit att farligt gods-trafiken på det svenska vägnätet har minskat utifrån ett rikssnitt. Ett minskat beroende av fossila bränslen till fordon torde också innebära att transporter av brandfarliga gaser och vätskor, som i dagsläget är den vanligaste klassen, kommer att minska i samhället generellt framöver. Eftersom det statistiska underlaget avseende farligt godstransporter är så bristfälligt på mer detaljerade nivåer, samt att det är omöjligt att veta huruvida både antal leveranser och fördelningen av farligt godsklasser för det svenska rikssnittet kan sägas vara relevant även avseende prognosåret 2030, bedöms det som rimligt att anta rikssnittet för studerad del av Lännavägen avseende båda transporter och fördelning av klasser.

Om byggandet av Tvärförbindelsen Södertörn blir verklighet är det mycket sannolikt att farligt godstransporterna på väg 259 förbi skyddsvärda objektet kraftigt kommer att minska. Det kan även tänkas att transporterarna helt kan komma att upphöra på sträckan/del av sträckan om ett förbud mot sådana införs. Eftersom inga verksamheter har identifierats som målpunkter längs med studerad sträcka, dvs. dit farligt gods kan komma att transporteras, bedöms ett framtida förbud mot farligt gods på väg 259 inte som orimligt att anta.

Osäkerheten avseende konsekvenser vid studerade scenarier bedöms vara beroende på scenariobeskrivningarna. Här bedöms å ena sidan osäkerheten avseende representativa scenarier vara liten samtidigt som det otvetydigt finns en betydande osäkerhet inför så kallade extremhändelser såsom transporter av farligt gods utanför gällande regelverk eller uppsåtliga risker. Det kan emellertid konstateras att övergripande metodik för en riskutredning av detta slag inte rymmer en analys av sådana konsekvenser.



Det verktyg som genomgående används för att möta effekten av osäkerheten i indata är tillämpande av bedömningar som ger resultat med säkerhetsmarginal. Därmed konstateras att det presenterade resultatet troligen visar en högre risk än vad som faktiskt gäller. Exempel på val som innebär en inbyggd säkerhetsmarginal i resultatet är:

- Den säkerställda trend som visar generellt minskande trafikolycksfrekvens med allvarliga konsekvenser har inte beaktats. I stället förutsätts den olycksfrekvens som gällde vid tidpunkten för framtagande av de modeller som används, vilket ger en högre frekvens än den som idag är aktuell.
- Teknikutveckling torde leda till minskad olycksfrekvens då modernare fordon kontinuerligt utrustas med teknik som ska minska risken för olyckor. Exempel på detta är instrument som motverkar risken att fordonet ouppslått lämnar vägbanan. Sådana åtgärders inverkan på olycksfrekvensen har inte beaktats.
- ADR-klasser som brukar inkluderas i farligt gods-utredningar har överskattats jämfört med de som inte brukar inkluderas.
- ÅDT total trafik väljs som översta gränsen i spannet. Dessutom antas trafiken ha ökat med 1 % per år fram till år 2030 som väljs som prognosår. Enligt Trafikanalys har transport av farligt gods på väg dock minskat i princip varje år sedan 2002. [17]

8 Riskreducerande åtgärder och slutsatser

Enligt riktlinjerna från Länsstyrelsen Stockholm är det generellt lämpligt med skolor >75 meter från en farligt godsled. Varje fall med planerad bebyggelse måste dock riskbedömas individuellt utifrån placering och förutsättningar i närområdet. Avståndet mellan väg 259 och fastighetens yttre gräns är som närmast ca 63 meter. Som jämförelse kan det även konstateras att den relativt nybyggda Balingsnässkolan är placerad på ett kortare avstånd (ca 50 meter) till Lännavägen än förskolan Balingsnäs och saknar bergsparitet som en riskreducerande barriär. Dock ligger denna skola i ett högre höjdläge och har en vall mellan väg 259 och skolbyggnaderna.

Fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160 har på grund av dess placering en naturlig riskreducerande barriär i form av det bergsparti som finns mellan väg 259 och fastigheterna. Bergsväggen ökar dock teoretiskt sannolikheten för att en tank/koppling kan skadas vid allvarlig påkörning så att det leder till utsläpp, jämfört med om området endast hade utgjorts av exempelvis lätt växtlighet. Dock skapar även bergspartiet en hög och ogenomtränglig barriär mellan väg och förskolan som reducerar eventuella konsekvenser i form av värmestrålning, tryckvågor och spridning av gasmoln i riktning mot fastigheterna.

En annan riskreducerande omständighet är de två cirkulationsplatser som finns längs med Lännavägen i höjd med studerade fastigheter. Cirkulationsplatserna bedöms – i jämförelse med en raksträcka – sänka hastigheterna och därmed det teoretiska krockvåld som kan uppstå vid eventuell avåkning, som i sin tur kan leda till att det farliga godset frigörs eller på något sätt skadas så att en olycka uppstår. Förekomsten av de två cirkulationsplatserna på Lännavägen i höjd med de två studerade fastigheterna är dock inte något som går att beakta kvantitativt i den individriskberäkning som gjorts, så individrisknivån borde teoretiskt vara ännu lägre än den beräknade.

Utifrån den riskanalys som genomförts bedöms allvarliga olyckor där klass 2.3 (kondenserad giftig gas) medverkar i olycksförloppet kunna påverka personer som befinner sig inom- eller utomhus inom studerade fastigheter. Detta eftersom



hälsopåverkan från inandning av dessa typer av ämnen kan ske på stora avstånd från utsläppspunkten om meteorologiska förutsättningar är ogynnsamma. Även det extraordinära scenariot BLEVE, som berör klass 2.1 (kondenserad brandfarlig gas), kan få påverkan på människor inom studerade fastigheter. Scenariot BLEVE har dock en så pass låg sannolikhet att det bedöms som orimligt att ta hänsyn till dess konsekvenser enligt de riskkriterier som har använts.

Eftersom de två olika modellerna för beräkning av individrisknivån som använts i denna utredning leder fram till två olika svar om riskreducerande åtgärder behövs eller ej, görs bedömningen att individrisknivån är en sammanvägning av de båda individrisknivåerna, dvs. genomsnittet. Utifrån detta resultat så är individrisknivån under det nedre acceptanskriteriet efter 34 meter från väggkant, dvs. inga riskreducerande åtgärder krävs för studerade fastigheter.

För att ta höjd för eventuella osäkerheter och känsligheter (se avsnitt 7) i antaganden och beräkningsmodeller, samt om huruvida Tvärförbindelsen Södertörn kommer att byggas eller ej, rekommenderar ÅF dock ändå att följande planbestämmelser skrivs in i detaljplanen för att säkerställa en acceptabel individrisknivå inom Fjället 71 och Fjället 160, så att den nya byggnaden för förskolan Balingsnäs kan uppföras:

- Friskluftsintag placerade inom 100 meter från Lännavägens närmsta väggkant ska riktas bort från denna. Kravet gäller både friskluftsintag för byggnader som helhet och även för eventuella källarplan.
- Ventilationen ska kunna stängas av vid behov.
- Huvudentréer för barn och besökande ska vara riktade bort från Lännavägen.

Då friskluftsintag riktas bort från riskobjektet (Lännavägen) innebär detta också en reducering av exponeringsrisken mot luftföroreningar som härrör från trafik på Mörtsjövägen.

Ovan angivna skyddsåtgärder ger en riskreducering mot spridning av giftiga gaser/brandrök för personer som befinner sig inomhus. För personer utomhus kan dessa inte skyddas med någon typ av teknisk åtgärd, utan endast av en mer organisatorisk åtgärd såsom att inrymning till byggnad sker i händelse av mycket allvarlig olycka på Lännavägen.

Eftersom rekommenderade åtgärder inte är kostsamma bedöms de vara rimliga att kräva, inte minst på grund av att majoriteten av personerna som kan förväntas inom verksamheten på de två fastigheterna kan antas vara barn, dvs. extra känsliga individer.

Planbestämmelserna gäller både för befintlig bebyggelse som ändras och för nybyggnation om inget annat anges. Planbestämmelserna förutsätter att bergspartiet mellan väg 259 och fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160 består.

I händelse av att Tvärförbindelsen Södertörn byggs bör planbestämmelserna för detaljplanen avseende Fjället 71 och Fjället 160 uppdateras eftersom det är högst troligt att individrisknivån därmed minskas så drastiskt utan att några andra skyddsåtgärder rimligen kan krävas.

9 Slutsats

Förutsatt att föreslagna planbestämmelser skrivs in i detaljplanen, görs bedömningen att individrisknivån inom fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160 är godtagbara och att detta möjliggör för uppförandet av den nya förskolebyggnaden.



Referenser

- [1] Länsstyrelsen i Stockholm, Skåne och Västra Götaland, "Riskhantering i detaljplaneprocessen," Länsstyrelsen i Stockholm, Skåne och Västra Götaland, 2006.
- [2] SFS 2010:900, "Plan- och bygglagen," Utfärdad 2010-07-01, uppdaterad till och med SFS 2016:252 .
- [3] SFS 1998:808, "Miljöbalken," Utfärdad 1998-06-11, uppdaterad till och med SFS 2016:341.
- [4] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods," Fakta 2016:4. Publiceringsdatum 2016-04-11, 2016.
- [5] Räddningsverket, "Värdering av risk," Karlstad, 1997.
- [6] Huddinge kommun, "Webbkarta, Huddinge kommun," 2018. [Online]. Available: <https://karta.huddinge.se/>. [Använd 13 02 2018].
- [7] Tyréns, "Balingsnäs Fsk. Huddinge - förstudie.," 2017-12-06, 2017.
- [8] Tyréns, "Situationsplan förskolan Balingsnäs," 2018-02-05, 2018.
- [9] Huddinge kommun, "Förskolan Balingsnäs," 14 06 2017. [Online]. Available: <https://huddinge.se/forskola-och-skola/forskola/forskolor/kommunala-forskolor/forskolan-balingsnas/>.
- [10] Huddinge kommun, "Förskolan Balingsnäs – ny förskolebyggnad," 2018. [Online]. Available: <https://www.huddinge.se/stadsplanering-och-trafik/planer-projekt-och-arbeten/pagaende-planer-projekt-och-arbeten-via-lista/sjodalen-fullersta/forskolan-balingsnas--ny-forskolebyggnad/>. [Använd 13 02 2018].
- [11] Trafikverket, "Nationell vägdatabas (NVDB) på webb," 2018. [Online]. Available: <https://nvdb2012.trafikverket.se/SeTransportnatverket>. [Använd 03 09 2018].
- [12] Länsstyrelsen i Stockholms län, "Länsstyrelsens WebbGIS," 2018. [Online]. Available: <http://ext-webbgis.lansstyrelsen.se/Stockholm/Planeringsunderlag/>. [Använd 13 02 2018].
- [13] MSBSF 2015:2, "RID-S 2015: Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om transport av farligt gods på järnväg," Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB).
- [14] "Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg, VTI-rapport 387:4," Väg- och trafikforskningsinstitutet, 1994.
- [15] Trafikverket, "Samrådsunderlag. Tvärförbindelse Södertörn, Väg 259. Huddinge, Botkyrka och Haninge Kommuner, Stockholms län.," Vägplan, uppdragsnummer 148059. 2015-03-16, 2015.



- [16] Trafikverket, "Tvärförbindelse Södertörn - Samråd 22 maj-22 juni 2017," Maj 2017, 2017.
- [17] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2016," Statistisk 2017:14, 2017.
- [18] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2016," Statistisk 2017:14, Publiceringsdatum: 2017-05-16, 2017.
- [19] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2014," Statistik 2015:21, Publiceringsdatum: 2015-06-30, 2015.
- [20] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2015," Statistik 2016:27, Publiceringsdatum: 2015-05-18, 2016.
- [21] Trafikanalys, "Lastbilstrafik 2013," Statistik 2014:12, Publiceringsdatum: 2014-05-20, 2014.
- [22] Statens Räddningsverk, "Kartläggning av farligt gods transporter, September 2006," Statens Räddningsverk (nuvarande Myndigheten för samhällsskydd och beredskap), 2006.
- [23] Länsstyrelsen i Hallands län, "Riskanalys av farligt gods i Hallands län," 2011.
- [24] MSB, "Olyckor med farligt gods," MSB, 2018. [Online]. Available: <https://www.msb.se/sv/Kunskapsbank/Erfarenheter-fran-olyckor--kriser/Farliga-amnen/Olyckor-med-farligt-gods/>.
- [25] SMHI, "Öppna data," 04 09 2018. [Online]. Available: <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/#>.
- [26] VTI, "Konsekvensanalys av olika olycksscenarioer vid transport av farligt gods på väg, VTI-rapport 387:4," Väg- och trafikforskningsinstitutet, 1994.
- [27] HMSO, "Major Hazard aspects of the transport of dangerous substances," Advisory Committee on Dangerous Substances Health & Safety, London, 1991.
- [28] S. Fredén, "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen," Banverket, Borlänge, 2001.
- [29] G. Purdy, "Risk analys of the transportation of dangerous goods by road and rail," Elsevier Science Publishers B.V, Amsterdam, 1993.
- [30] Energigas Sverige, *Gasol*, 2008.
- [31] EPA & NOAA, *ALOHA*, Version 5.4.7. Office of Emergency Management (EPA) & Emergency Response Division, (NOAA), 2016.
- [32] "Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor - Metoder för bedömning av risker," Försvarets forskningsanstalt (FOA), 1998.
- [33] IChemE, "Lees' Loss Prevention in the Process Industries. Hazard identification, assessment and control," Volume 2. Forth Edition. , 2012.



- [34] SS-EN 1473:2007, "Installation och utrustning för flytande naturgas – Konstruktion av pålandsinstallationer".
- [35] AIChE/CCPS, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis - Second Edition, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 2000.
- [36] S. Mannan, Lees' Loss Prevention in the Process Industries - Hazard Identification, Assessment and Control, Forth edition: Butterworth-Heinemann Ltd, 2012.
- [37] Eisenberg et al, "Vulnerability Model - A Simulation System for Assessing Damage Resulting from Maringe Spills," National Technical Information Service, Department of Transportation, U.S.Coast Guard, 1975.
- [38] K. Mudan, "Thermal Radiation Hazards from Hydrocarbon Pool Fires," *Proc Energy Combust Sci*, pp. 165-79, 1985.
- [39] R. A. Michaels, "Emergency Planning and the Acute Toxic Potency of Inhaled Ammonia. Number 8. Volume 107," *Enviromental Health Perspectives*, 1999.
- [40] U.S. Environmental Protection Agency, "Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 6," Committee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, National Research Council, 2007.
- [41] AIHA, "Emergency Response Planning Guideline Ammonia," American Industrial Hygiene Association, 2014.
- [42] AIChE/CCPS, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis - Second Edition, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers., 2000.
- [43] U.S. Coast Guard, "Study to Modify the Vulnerability Model of the Risk Management System-Report CG-D-22-80," U.S. Department of Transportation, 1980.
- [44] TNO, Guidelines for quantitative risk assessment, CPR18E - "Purple Book"., 1999.
- [45] TNO, Methods for the calculation of physical effects "Yellow Book", The Hague, 2005.



Bilaga A – Frekvensberäkningar

Denna bilaga innehåller frekvensberäkningar för farligt gods-olycka på Lännavägen (väg 259), avseende de händelser som tidigare identifierats och som kan leda till utsläpp av farligt gods som påverkar skyddsvärda objekt (fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160) intill vägen.

A.1 Metod

För varje scenario som bedöms utgöra en risk för de skyddsvärda objekten fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160, görs i denna bilaga frekvensberäkningar med hjälp av händelseträdsmetodik. Detta är en väl etablerad delmetod i riskanalyser för att kunna beräkna slutfrekvensen för ett antal olika händelsekedjor. Trädens grenar, det vill säga de olika möjliga händelsekedjorna, samt de olika grenarnas inbördes sannolikheter, bestäms av litteraturstudier och erfarenhet.

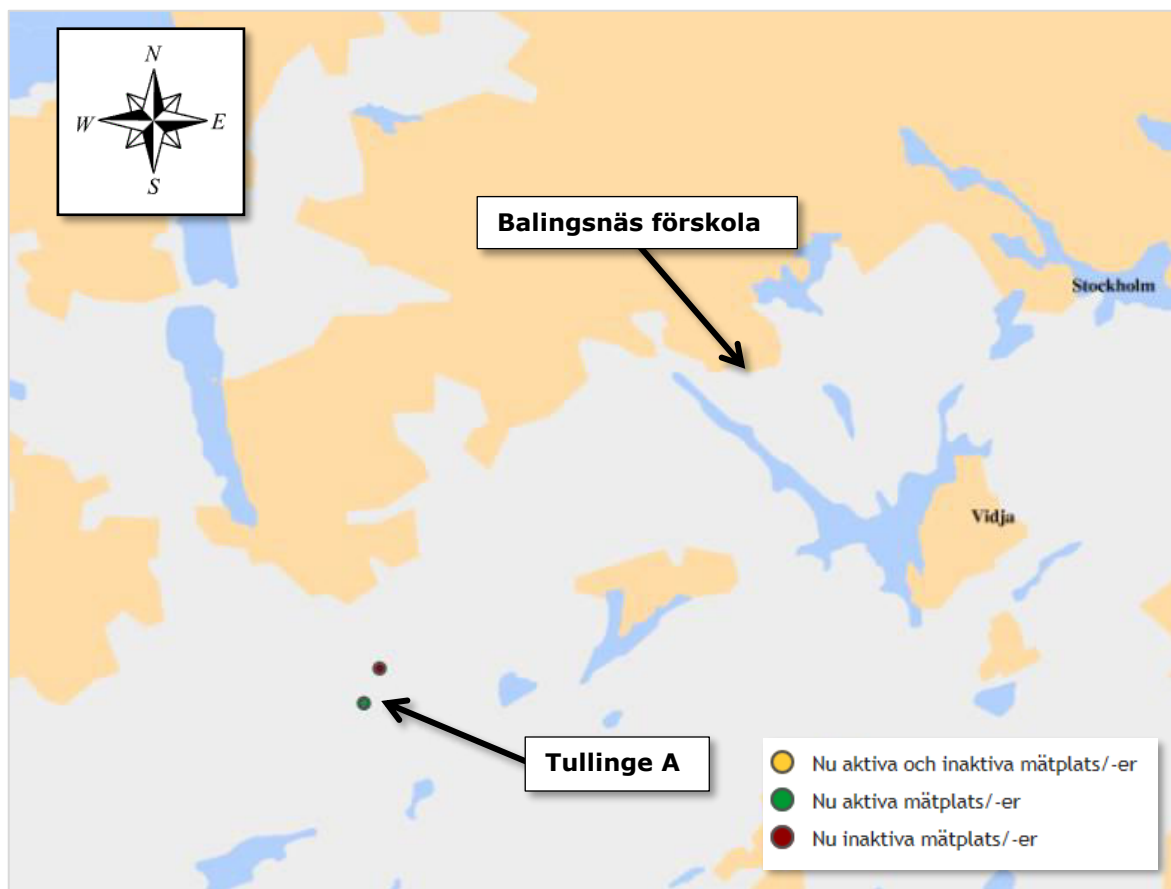
Händelseträd är svåra att få överskådliga i rapportformat då de ofta och snabbt blir stora och tar mycket plats, vilket gör dem svårlästa när de trycks ihop i en rapport. Utifrån uppbyggda händelseträd beskrivs istället de händelsekedjor som leder fram till vådahändelser med risk för det skyddsvärda objektet i ord.

A.2 Frekvensskalning

För beräkningen av individrisk skalas frekvensen för de olika skadescenarierna i ett sista steg med scenariots konsekvensbredds (beräknat i Bilaga B) relation till studerad sträcka. Detta innebär att exempelvis en pölbrand med mindre konsekvensavstånd än studerad sträcka får en minskad frekvens (och minskad påverkan på individrisken) och omvänt för scenarion med konsekvensavstånd som är större än studerad sträcka. Det innebär också att individrisken blir oberoende av studerad sträckas längd.

A.3 Väderdata

Närmsta väderstation i förhållande till studerade fastigheter är "Tullinge A", se Figur 16. Data för vind och temperatur har tagits från mätstationen under åren 2010-2016.



Figur 16. Placering av mätstation "Tullinge A" i förhållande till Balingsnäs förskola. [25]

A.3.1 Vindstyrka

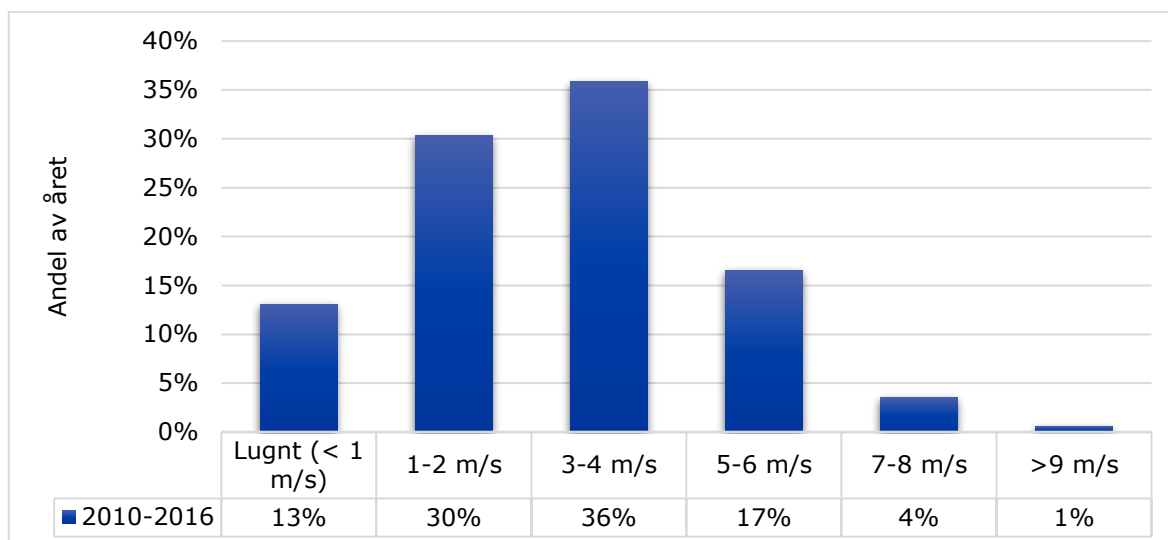
Vindens hastighet påverkar till stor del resultatet av spridningen. Spridningen från en olycka blir värre i olyckans närhet om lägre värde används. I Figur 17 visas fördelningen av vindstyrka mellan 2010-2016. Medelvärde under denna period var 2,9 m/s. Vindstilla förhållanden råder under ca 13 % av året, se Figur 17.

I analysen har 2,0 m/s använts för svag vind, 4,0 m/s för normal vind samt 6 m/s för stark vind. Sannolikheten för de tre fallen ansätts till sannolikheter enligt Figur 17, med omskalning för att ta bort fördelningen av lugnt väder, och vindar över >9 m/s :

$$S_{\text{svag vind}} = 0,35$$

$$S_{\text{normal vind}} = 0,40$$

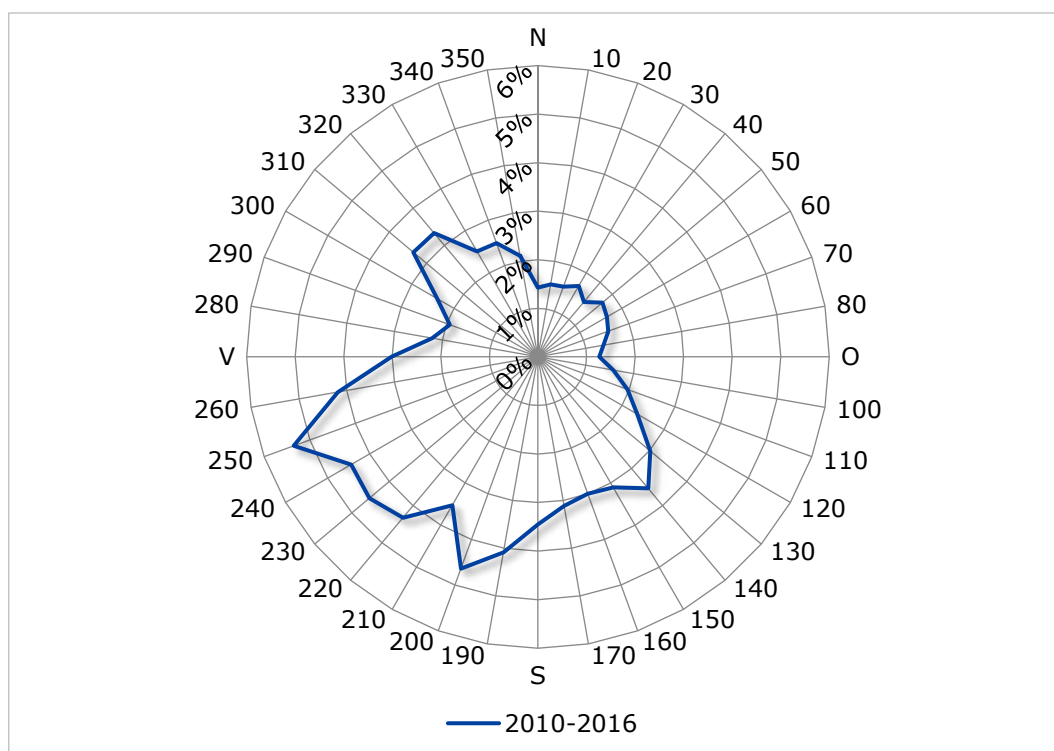
$$S_{\text{stark vind}} = 0,25$$



Figur 17. Vindhastighet under 2010-2016 redovisad som andel av tid uppmätt på SMHI:s väderstation "Tullinge A".

A.3.2 Vindriktning

Förhärskande vindriktningar är sydliga till västliga vilket sker ca 38 % av tiden det blåser > 1 m/s, se Figur 18. Vindriktningen anges alltid i det väderstreck som det blåser från.



Figur 18. Vindfördelning för mätstation Tullinge A, 2010-2016 [25]

Vindriktningen inverkar vid spridning av giftig gas och vid gasmoln av brännbara vätskor. Eftersom skyddsvärda objekt finns på den östra sidan av väg 259 antas att skyddsvärda objekt kan drabbas vid vindriktningar S-V och N-V, vilket sammanlagt sker 61 % av tiden.



A.3.3 Stabilitetsklass

Beräkningsmodellen använder sig av Pasquilles stabilitetsklasser.

I beräkningarna har de två stabilitetsklasser som är vanligast i området använts. Stabilitetsklass D som sannolikt uppkommer vid vindhastigheter över 3 m/s bedöms vara den vanligaste stabilitetsklassen i området under både dag- och nattetid och har använts vid vindhastigheterna 4 och 6 m/s. Stabilitetsklass C har använts vid vindhastigheten 2 m/s.

A.4 Trafikolycka på väg

I Räddningsverkets *"Farligt gods - riskbedömning vid transport"* [26] ges metoder för beräkning av frekvens för olycka med farligt gods. Denna riskanalysmetod för transporter av farligt gods på väg (VTI-modellen) analyserar och kvantifierar riskerna med transport av farligt gods mot bakgrund av svenska förhållanden. Vid uppskattning av frekvensen för farligt godsolycka på en specifik vägsträcka finns det två alternativ, dels att använda olycksstatistik för sträckan, dels att skatta antalet olyckor med hjälp av den så kallade olyckskvoten för vägavsnittet. I denna riskanalys används det senare av dessa alternativ.

Olyckskvotens storlek samvarierar med ett antal faktorer såsom vägtyp, hastighetsgräns, siktförhållanden samt vägens utformning och sträckning. Med hjälp av beräkningsmatris för farligt godsolyckor efter bebyggelse, hastighetsgräns och vägtyp kan följande parametrar bestämmas: olyckskvoten, andel singelolyckor och index för farligt godsolyckor (se nedan).

Totalt trafikarbete per år och kilometer av den studerade vägsträckan beräknas som:

$$\text{Totalt trafikarbete} = \text{ÅDT} \times 365 \times \text{vägsträcka [i km]} \times 10^{-6}$$

ÅDT för studerad sträcka är 12 024 medräknat att en 1 %-ig ökning av trafiken per år görs från och med 2017 tills jämförelseåret 2030.

Vägsträckan mellan de två cirkulationsplatserna på Lännavägen är blott ca 170 meter, se Figur 19.



Figur 19. Vägsträckans längd mellan cirkulationsplatserna. [11]

För att ta höjd för att eventuella konsekvenser, exempelvis vid utsläpp av giftig gas, kan nå fastigheterna Fjället 71 och Fjället 160 även om själva utsläppet sker bortanför sträckan mellan cirkulationsplatserna, antas vägsträckan i beräkningen utgöra ca 500 meter, enligt Figur 20. Totalt trafikarbete blir således 2,2.



Figur 20. Markerad vägsträcka av Lännavägen som antas i beräkningen. [11]

Enligt modellen antas antal olyckor vara beroende av vägtypen och det totala trafikarbetet med en olyckskvot (antal trafikolyckor per miljon fordonskilometer).

Antal förväntade fordonsolyckor (O) = Olyckskvot x Totalt trafikarbete

Olyckskvoten beror på bebyggelsemiljö, hastighetsgräns och vägtyp. Lännavägen på studerat vägningsnitt kategorieras som landsväg och har två körfält i vardera riktning med hastighetsbegränsningen 60 km/h. Eftersom hastigheter i VTI-modellen måste anges som udda tal används 70 km/h. Modellen förutsätter också att området definieras som tätort eller landsbygd. Tolkningen blir tätort i detta fall. Olyckskvoten för dessa förhållanden är 0,65 olyckor per miljon fordonskilometer.

Modellen använder sedan andelen transporter farligt gods av total trafik (X) och andelen singelolyckor (Y) för att beräkna frekvensen för olycka med fordon skyltat med farligt gods.

Förväntade fordonsolyckor (O) = Olyckskvot x trafikarbete = $0,65 \times 2,2 = 1,389$ olyckor/år

Antal fordon skyltade med farligt gods i trafikolyckor =

$$O \cdot ((X \cdot Y) + (1 - Y) \cdot (2X - X^2))$$

där

X = Andelen transporter skyltade med farligt gods

Y = Andelen singelolyckor på vägningsnittet

RISKUTREDNING



O = Antal förväntade fordonsolyckor

Andelen farligt gods på Lännavägen beräknas som:

Andelen farligt gods = $\text{ÅDT farligt gods} / \text{ÅDT total}$

ÅDT farligt gods för prognosåret 2030 med 1 % ökning av trafiken per år från 2017 beräknas till 84 stycken per dag. ÅDT total enligt ovan.

Andelen transporter skyltade med farligt gods beräknas till $X = 6,9 \cdot 10^{-3}$.

Uppskattad andel singelolyckor (Y) kommer från beräkningsmatris för farligt godsolyckor efter bebyggelse, hastighetsgräns och vägtyp. För aktuellt vägavsnitt är denna 0,25.

Antal fordon skyltade med farligt gods i trafikolyckor / år =

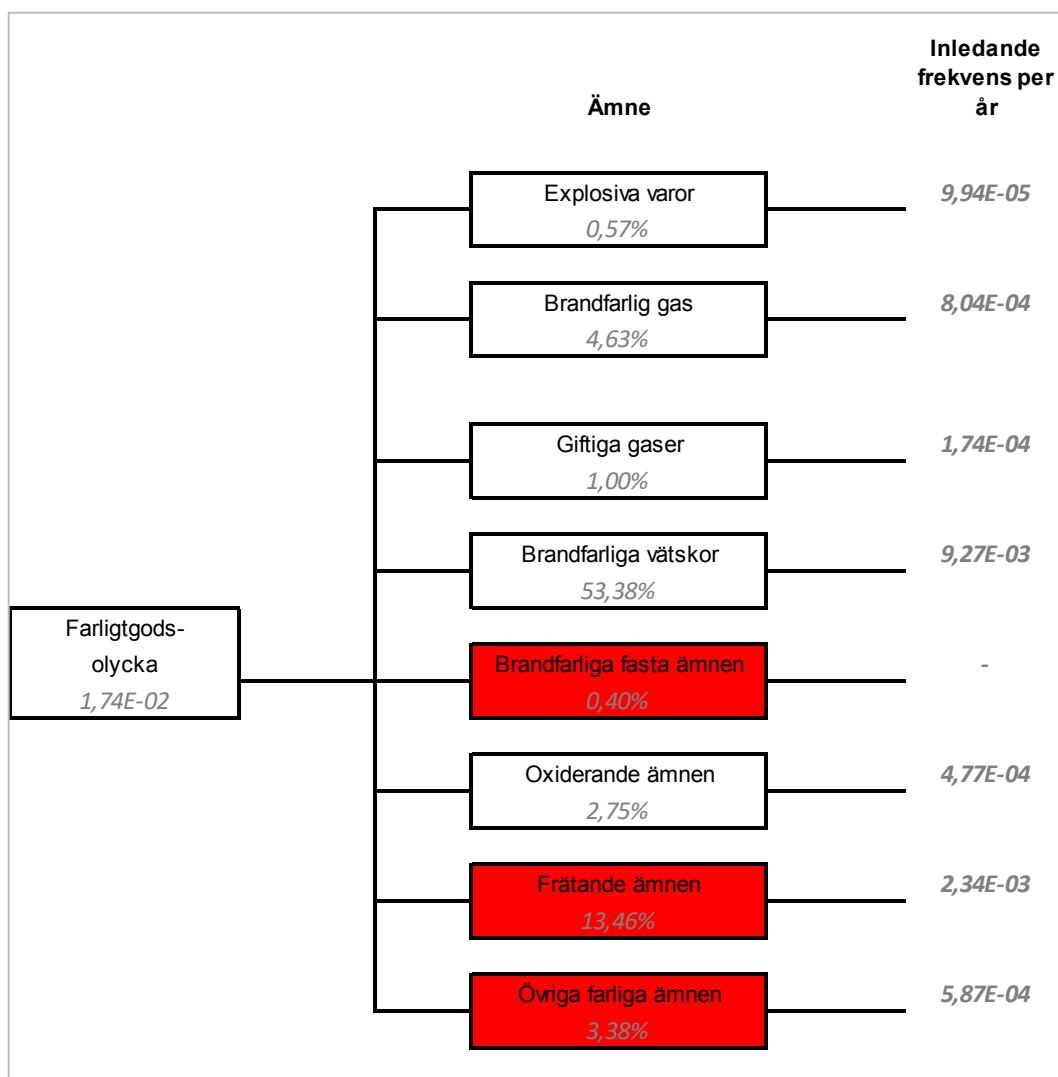
$$= O \cdot ((Y \cdot X) + (1 - Y) \cdot (2 \cdot X - X^2)) = 1,74 \cdot 10^{-2} \text{ per år.}$$

Följande används för att beräkna frekvens för olycka med farligt gods enligt VTI-modellen, se Tabell 5.

Tabell 5. Parametrar som används vid beräkning av frekvens för olycka med farligt gods

Parameter	Enhet	Väg 259
Total trafik	ÅDT	12 024
Lastbilstrafik	ÅDT	2 093
Bebyggelsemiljö	-	Stad
Hastighet	km/tim	70
Gata/väggtyp	-	Gata/väg
Olyckskvot	Olyckor per miljon fordonskilometer	0,65
Andel singelolyckor	-	0,25

Detta ger ett händelsetråd enligt Figur 21.



Figur 21. Händelse-träd för Lännavägen med frekvenser av olyckstyper av farligt godsolyckor. Rödmarkerade boxar är ämnen som inte analyseras vidare.

A.5 Olycka med explosiva ämnen (klass 1)

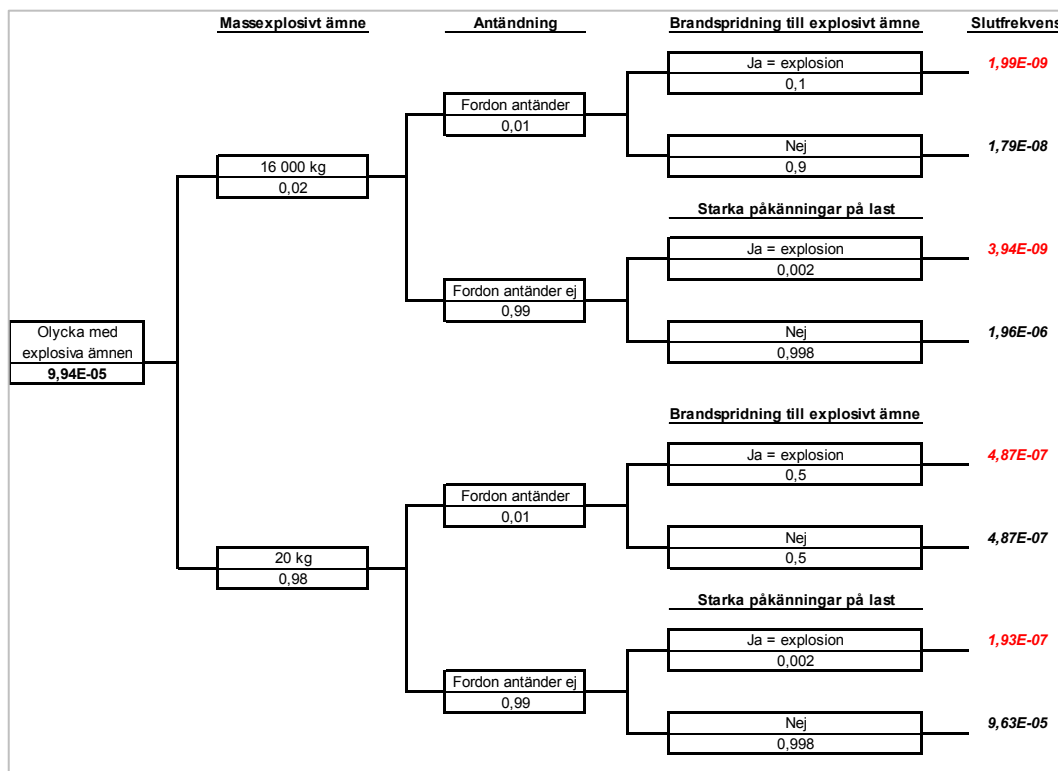
Beroende på fordonsklass kan olika mängder av klass 1 transporteras, vilket ger olika scenarier. Med högsta fordonsklass kan maximal mängd massexplosiva varor transporteras i upp till 16 ton per transport, men de flesta transporter innefattar endast små nettomängder av massexplosiva varor. Olyckan som sker delas upp i 16 000 kg klass 1.1b respektive 18.75 kg klass 1.1a, som konservativt får representera hela klass 1. Statistikunderlaget för klass 1 är begränsat. Men för analysen antas grovt att cirka 2 % av antal transporter har den maximala mängden 16 ton, och resterande har 18.75 kg, avrundat till 20 kg massexplosiva ämnen i klass 1.1a.

Reaktion i det explosiva materialet kan uppstå vid brand som sprider sig till lasten eller om godset utsätts för mycket kraftig stöt vid en kollision. Dock krävs kollisionshastigheter som uppgår till flera hundra m/s för att initiera en reaktion. HMSO [27] anger att sannolikheten för en stötinitierad detonation vid en kollision är mindre än 0,2%. Denna sannolikhet används i beräkningarna. Sannolikheten att en brand i fordonet sprider sig till lasten beror av fordonsklass. Den högsta transporterade mängden förutsätter högsta fordonsklass. Utifrån detta antas en brand



sprida sig till fordonet i 10 % av fallen för den maximala mängden 16 ton, och 50% av fallen för 20 kg, vilket i praktiken är mycket konservativt.

Händelseträdet för olyckor med explosiva ämnen som ligger till grund för individberäkningen presenteras i Figur 22.



Figur 22. Händelseträd för olycka med explosiva ämnen.



A.6 Olycka med brandfarlig gas (klass 2.1)

A.6.1 Läckage av propan

Det faktum att en behållare med farligt gods är inblandat i urspårning eller lastbilsolycka innebär inte nödvändigtvis att det uppstår ett läckage.

Tryckkondenserade gaser transporteras i tjockväggiga tryckkärl vilka inte skadas i samma utsträckning som tunnväggiga kärl (jämför brandfarlig vätska). I de flesta fall håller tanken och inget av innehållet strömmar ut. Förutom tankens konstruktion är även miljön där olyckan sker viktig.

Längs studerad del av Lännavägen finns oeftergivliga föremål som kan skada tank och anslutningspunkter och därmed leda till ett utsläpp av den brandfarliga gasen. Detta bedöms främst vara kopplat till bergspartiet mellan förskolan och Lännavägen, i höjd med sträckan av Lännavägen mellan de två cirkulationsplatserna. Detta berör således endast ett av de två körfälten i höjd med bergspartiet. Vidare bedöms hastigheten på sträckan vara något lägre rent generellt jämfört med hastighetsbegränsningen på 60 km/h, eftersom sträckan på ca 170 meter har två cirkulationsplatser. Med lägre hastigheter minskar också krockvåldet i händelse av kollision och sannolikheten för att transportkärlet eller anslutningspunkter skulle skadas minskar.

I en miljö där ingen risk för oeftergivliga hinder finns i omgivningen brukar sannolikheten för läckage av propan i samband med olycka ansätts till 0,01. [28].

För att ta höjd för att bergspartiet kan innebära en förhöjd risk kommer ovannämnda faktor att förstärkas. Eftersom bergspartiet finns under ca 170 meter på den totalt 500 meter analyserade sträckan, och endast på en sida, multipliceras sannolikheten 0,01 för läckage med faktorn $(1+(170/500)/2)=1,17$.

$$S_{\text{Läckage propan}} = 0,0117$$

A.6.2 Storlek på läcka

I aktuellt fall antas ett litet läckage (< 1 cm diameter) samt ett större läckage (> 3 cm diameter). Sannolikheten för litet respektive stort läckage antas vara detsamma.

Givet ett litet läckage är sannolikheten för en direkt antändning (jetflamma) 0,1 och fördröjd antändning (gasmolnsexplosion) 0,01 [29].

Givet ett stort läckage är sannolikheten 0,2 för direkt antändning (jetflamma) och för fördröjd antändning är sannolikheten 0,5. En fördröjd antändning antas leda till en gasmolnsbrand.

A.6.3 Jetbrand

En jetbrand uppstår då gas strömmar ut genom ett hål i en flaska och direkt antänds. Därmed bildas en jetflamma. Sannolikheten för direkt antändning beror på utsläppets storlek och ansätts i detta fall till följande [29]:

$$S_{\text{direkt antändning litet läckage}} = 0,1$$

$$S_{\text{direkt antändning stort läckage}} = 0,2$$

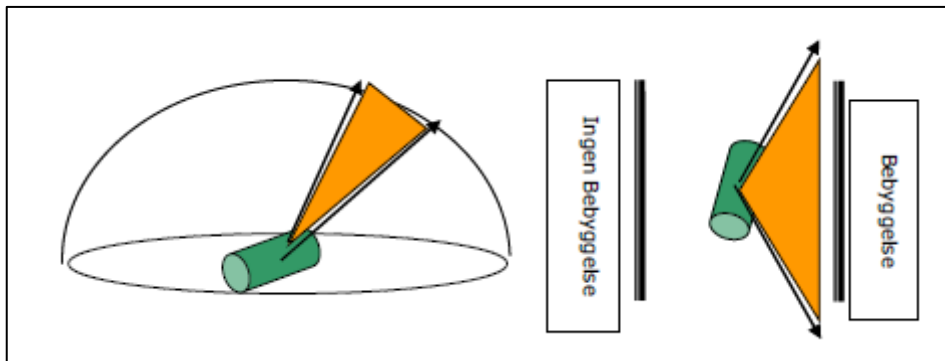
Flammans längd beror av storleken på hålet i tanken samt trycket i denna. Det krävs dessutom att flammen är riktad mot de skyddsvärda objekten längs med vägen och med hänsyn både till den vertikala och också den horisontella riktningen. För att anta en rimlig sannolikhet att jetflammen är riktad mot bebyggelsen antas den påverkande



zonen vara inom en vinkel på 20° i vertikalplanet (20°/360°) samt i horisontalplanet (135°/360°), se Figur 28. Till detta vägs sannolikheten att skadan sker på behållarens ovansida genom en ytterligare reduktion på 0,5 vilket anses mycket konservativt. Eftersom skyddsvärda objekt finns på båda sidor av vägen multipliceras slutligen sannolikheten med 2.

Sannolikheten för att jetbrand blir riktad mot skyddsvärda objekt längs med båda sidor av väg 259 ansätts till:

$$S_{\text{jetbrand mot bebyggelse}} = 20/360 * 135/360 * 0,5 * 2 = 0,0208$$



Figur 1. Illustration av jetflammors utbredning vertikalt (till vänster) respektive horisontellt (till höger)

A.6.4 Gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion

Om gasen vid ett läckage inte antänds omedelbart uppstår ett brännbart gasmoln. Om gasmolnet antänds i ett tidigt skede är luftinblandningen vanligtvis inte tillräcklig för att en explosion ska inträffa. Förloppet utvecklas då till en gasmolnsbrand med diffusionsförbränning.

Om gasmolnet inte antänds omedelbart kommer luft att blandas med den brandfarliga gasen. Vid antändning kan en gasmolnsexplosion ske om gasmolnet består av en tillräckligt stor mängd gas/luft av en viss koncentration. För detta krävs som regel ett större läckage [29] men konservativt ansätts även en sannolikhet för mindre utsläpp. En gasmolnsexplosion kan beroende på vindstyrka och riktning inträffa en bit ifrån själva olycksplatsen. Om förhållandena är tillräckliga för att ge explosion blir de i de allra flesta fallen av typen deflagration.

Sannolikheten för sen antändning sätts till:

$$S_{\text{sen antändning litet läckage}} = 0,01$$

$$S_{\text{sen antändning stort läckage}} = 0,5$$

För att gasmolnsexplosionen ska ge störst skada krävs att gasmolnet driver mot de skyddsvärda objekten. Detta antas ske när vindriktningen är ogynnsam. Eftersom skyddsvärda objekt finns på ena sidan av Lännavägen, antas sådana vindförhållanden föreligga vid 61 % av tiden. De olika vindstyrkorna som redovisats tidigare används sedan för att ta fram tre olika utbredningsområden.

A.6.5 BLEVE

BLEVE är en speciell händelse som kan inträffa om en tank med kondenserad brandfarlig gas utsätts för yttre brand under en längre tid. Vid antändningen bildas ett eldklot med stor diameter under avgivande av intensiv värmestrålning. För att en



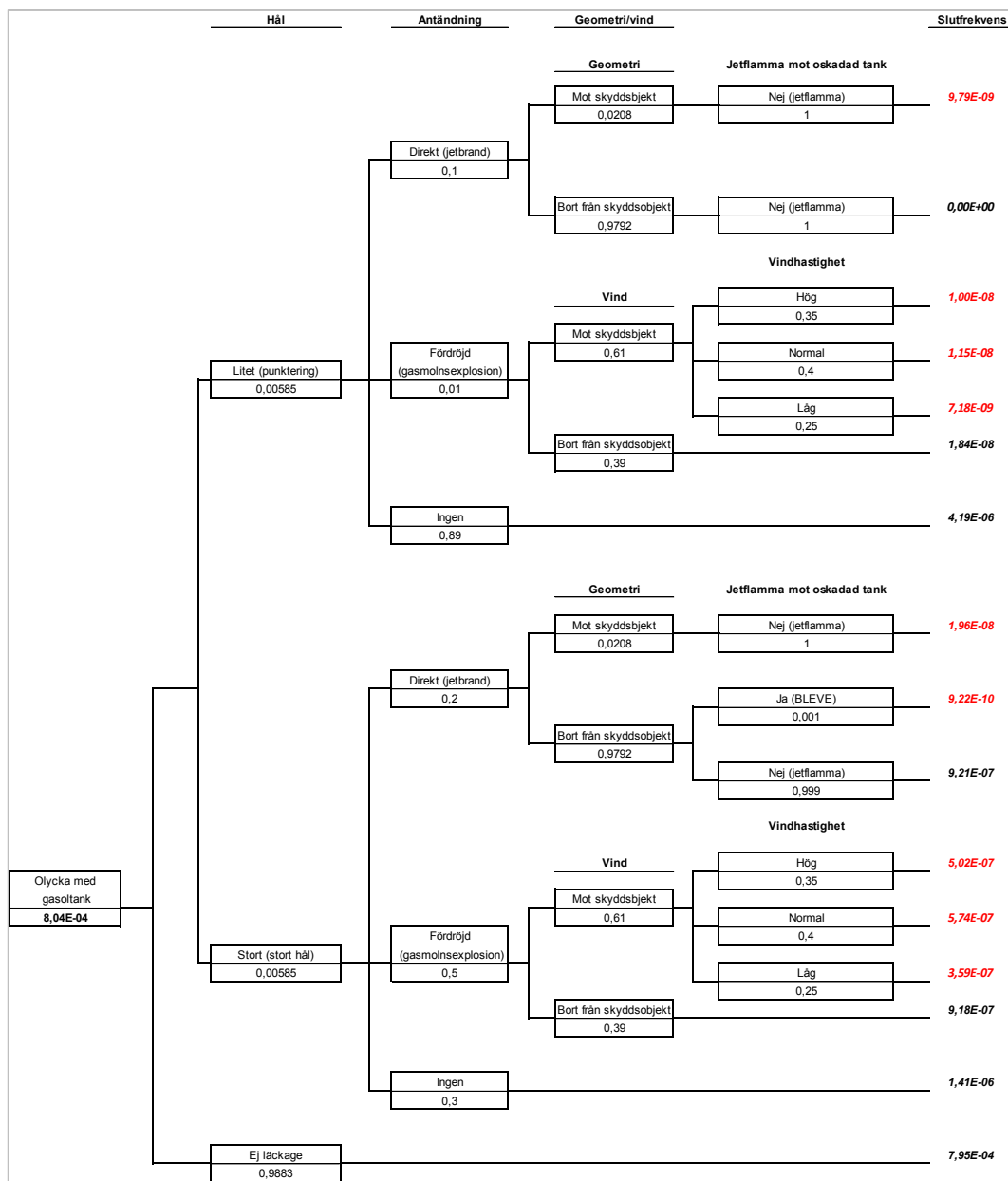
sådan händelse ska kunna inträffa krävs att tanken hettas upp kraftigt. Tillgänglig energi för att klara detta kan finnas i form av en antänd större läcka i en annan närstående tank med brandfarlig gas eller vätska. Detta kräver i princip en transport med gasol i flera tankar samt direkt antändning av ett läckage i ena tanken (jetbrand). Dessutom krävs att jetflamman ligger an mot den andra tanken. En jetflamma vid litet läckage antas inte ge upphov till BLEVE. Vid risk för BLEVE på vägar bedöms möjligheterna goda att evakuera närområdet då det tar ansevärd tid att hetta upp en tank. Detta beaktas dock inte vilket är mycket konservativt.

Fallet med en jetbrand med riktning mot skyddsvärda objekt enligt ovan anses inte kunna leda till BLEVE utan endast de fall där jetflamman strålar mot en annan tank.

Konservativt antas sannolikheten att en annan tank påverkas av jetflamma till:

$$SBLEVE = 0,001$$

Med dessa antagna sannolikheter kan händelseträdet med slutfrekvenser konstrueras, se Figur 23.



Figur 23. Händelseträd för olycka med brandfarlig gas



A.7 Olycka med giftig gas (klass 2.3)

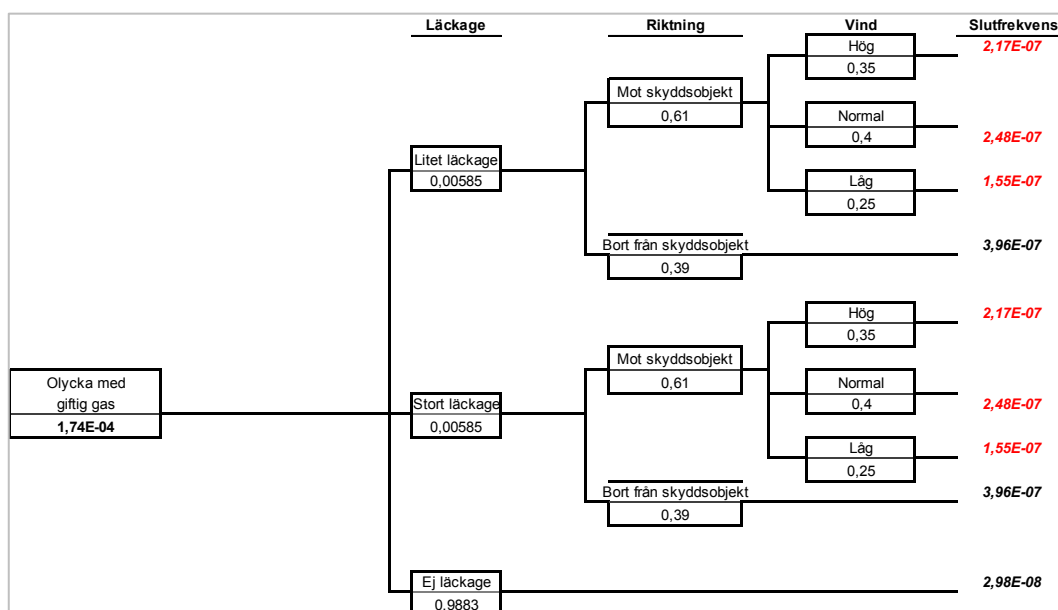
Vid en olycka med giftig gas ansätts samma sannolikheter som en olycka med brandfarlig gas avseende hålorlek och spridning då dessa transporteras under liknande förhållanden och att gaserna sprids i terräng ungefär likartat. Gasen antas vara ammoniak.

$S_{\text{läckage litet läckage}} = 0,00585$

$S_{\text{läckage stort läckage}} = 0,00585$

$S_{\text{spridning mot skyddvärda objekt}} = 0,61$

Med ovanstående antaganden konstrueras händelseträden för olycka med giftig gas som presenteras i Figur 24.



Figur 24. Händelseträd för olycka med giftig gas



A.8 Olycka med brandfarlig vätska (klass 3)

Tankar för bensin etc. utförs för att klara transport av vätska under atmosfärstryck. Tankarnas godstjocklek är dock tunnare än för tankar som kan innehålla kondenserade gaser. Sannolikheten för att en tank skadas så att den brandfarliga vätskan läcker ut bedöms därför vara något högre än för motsvarande scenario med klass 2.1 och klass 2.3. Som grund kan sannolikheten att tanken skadas vid en olycka så att läckage sker med viss konservatism ansättas till 0,05 [26]. För att ta den omgivande miljön i beaktande, antas samma faktor som i fallen med klass 2.1 och klass 2.3, dvs. att bergspartiet på en del av analyserad sträcka av Lännavägen bedöms öka risken för att ett utsläpp sker om lastbilen medverkar i en avåkning eller kollision i höjd med bergspartiet. Eftersom bergspartiet finns under ca 170 meter på den totalt 500 meter analyserade sträckan, och endast på en sida, multipliceras sannolikheten 0,05 för läckage med faktorn $(1+(170/500)/2) = 1,17$.

$$S_{\text{Läckage}} = 0,0585$$

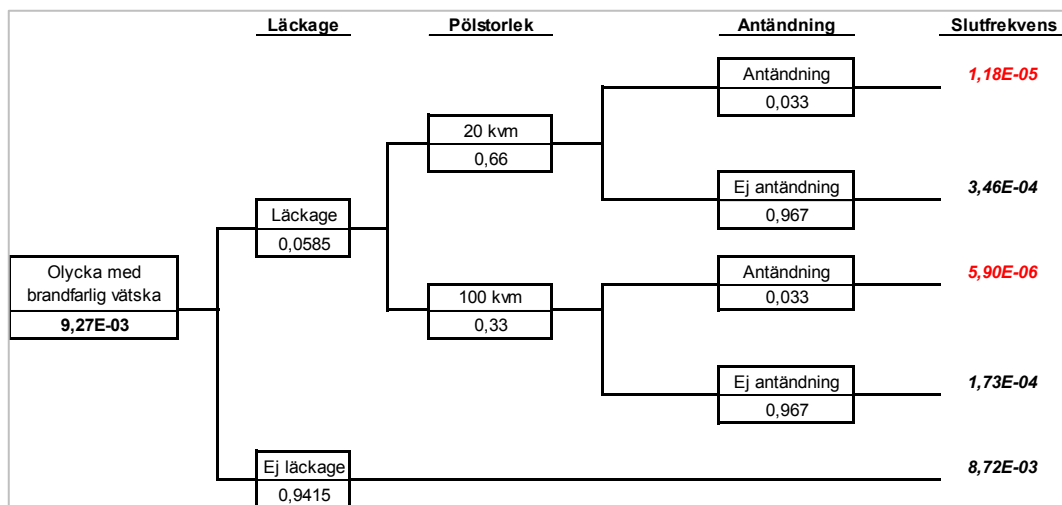
I värderingen av sannolikheter tas även hänsyn till att pölens storlek beror på ytorna i området. Underlaget på vägen är asfalt vilket kan medföra större risk för större pölbränder. Även lutningen på vägen spelar stor roll för om en pöl bildas eller om utsläppet rinner mer som i en rännil.

Analyserad del av väg 259 är relativt plan utan att vägprofilen lutar. Vidare finns kantsten som separerar vägen och närliggande gång/cykelbanan på sträckan mellan cirkulationsplatserna. Detta bedöms innebära att en stor utbredning av eventuella utsläpp förhindras till viss del.

Utifrån tillgängligt underlag om förutsättningarna och profilen för analyserad vägsträcka antas konservativt att olyckor på vägen kan ge en liten (20 m²) och en mellanstor pöl (100 m²), detta baserat utifrån vägbredd och att ett fack i tankbilen (4–5 m³) töms vid olyckan och medverkar i brandförloppet. Fördelningen mellan pölstorlekarna givet läckage sätts till 0,66 för liten pöl och 0,33 för mellanstor pöl.

Sannolikheten för antändning av en pöl med brandfarlig vätska beror på om en antändningskälla finns i närheten av utsläppet, dels av utsläppets omfattning men även typen av utsläppt vätska. Bensin och etanol antänds t.ex. lättare än diesel och eldningsolja. Detta beaktas dock inte utan konservativt antas att all brandfarlig vätska utgörs av, eller antänds lika lätt som, bensin. Vid ett momentant eller större utsläpp är risken stor att ingen åtgärd hinner vidtas innan bensinen antänds. Sannolikheten för antändning ansätts till 0,033 [27].

Med ovanstående bedömningar kan händelseträdet konstrueras enligt Figur 25.

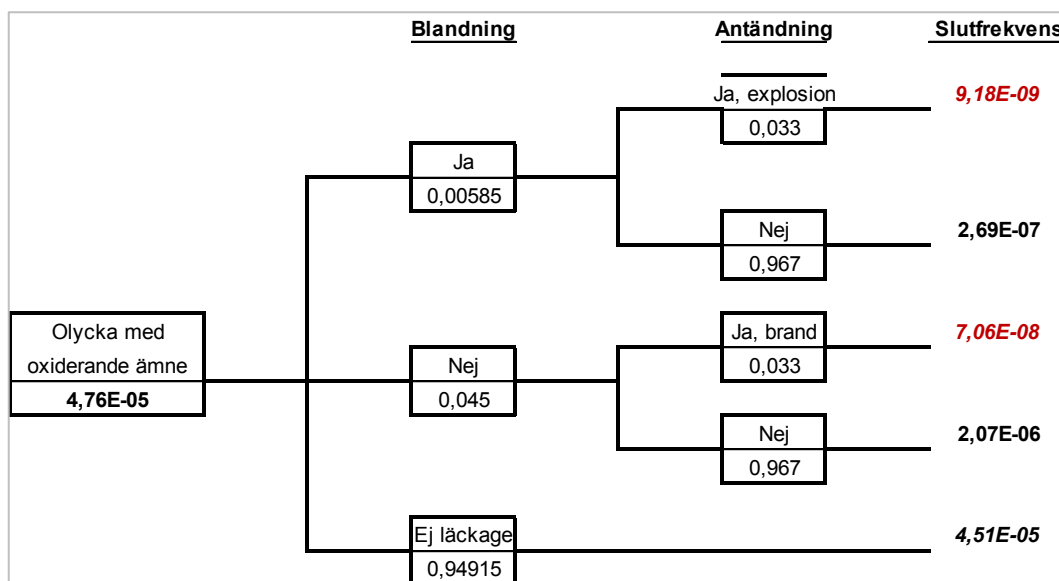


Figur 25. Händelseträd för olycka med brandfarlig vätska



A.9 Olycka med oxiderande ämnen (klass 5.1)

Principiellt kan läckage av oxiderande ämnen eller organiska peroxider medföra brand eller explosion. Explosion är möjligt vid de fall det oxiderande materialet sammanblandas med organiskt material vid olyckan, exempelvis fordonets bränsle. Sannolikheten för läckage antas vara samma som vid läckage av farligt gods klass 3, dvs. 0,0585. Sannolikheten att lasten vid läckage sammanblandas med organiskt material i form av fordonets bränsle antas vara 0,1. Sannolikheten för antändning sätts till densamma som för att antända en stor pöl av farligt gods klass 3, dvs 0,033. Med hjälp av dessa uppskattningar kan nu händelseträdet konstrueras enligt Figur 26.



Figur 26. Händelseträd för olycka med oxiderande ämne



Bilaga B – Konsekvensberäkningar

Gasol (LPG/propan) har valts som exempel på en kondenserad brandfarlig gas eftersom detta är den vanligaste transporterade typen av denna ADR-klass. Vattenfri ammoniak har valts som exempel på giftig gas eftersom det är den typ av kondenserad giftig gas som bedöms vara en av de mest vanliga på det svenska vägnätet.

Gasol och vattenfri ammoniak transporteras med lastbil (8-32 ton) i Sverige. I kommande beräkningar har en lastbil med 25 ton antagits. [30]

Bensin har valts som exempel på en brandfarlig vätska för ett konservativt antagande eftersom bensinbränder generellt ger högre värmestrålning jämfört med andra drivmedel, såsom exempelvis diesel.

Respektive scenario avseende brandfarlig och giftig gas har beräknats med simuleringsprogrammet ALOHA. ALOHA är en simuleringsprogramvara utgiven av amerikanska EPA (United States Environment Protection Agency). [31] Scenarion avseende explosiva ämnen och brandfarliga vätskor har handberäknats.

Konsekvensberäkningarna tar inte hänsyn till avskärmade effekt av omgivning eller byggnader om inget annat anges.

B.1 Bedömningskriterier

B.1.1 Tryck

Människor som exponeras för en explosion utsätts för en tryckhöjning som är skadlig över vissa gränsvärden. Konsekvenserna av explosioner representeras av resulterande tryckhöjning och den effekt den har på personerna inom påverkansområdet.

Människors skador utgörs i första hand av skador på trumhinnor, därefter påverkas lungor och andra inre organ och dödliga skador kan uppkomma. I Tabell 6 nedan redovisas uppgifter på skador på människor vid olika tryckskillnader när de exponeras för en explosion utomhus [32].

Tabell 6. Gränsvärden för skador på människor vid explosionsövertryck utomhus [32]

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

För dödsfall utomhus används värdet där 1 % förväntas omkomma, 180 kPa, vilket är konservativt med en faktor 100.

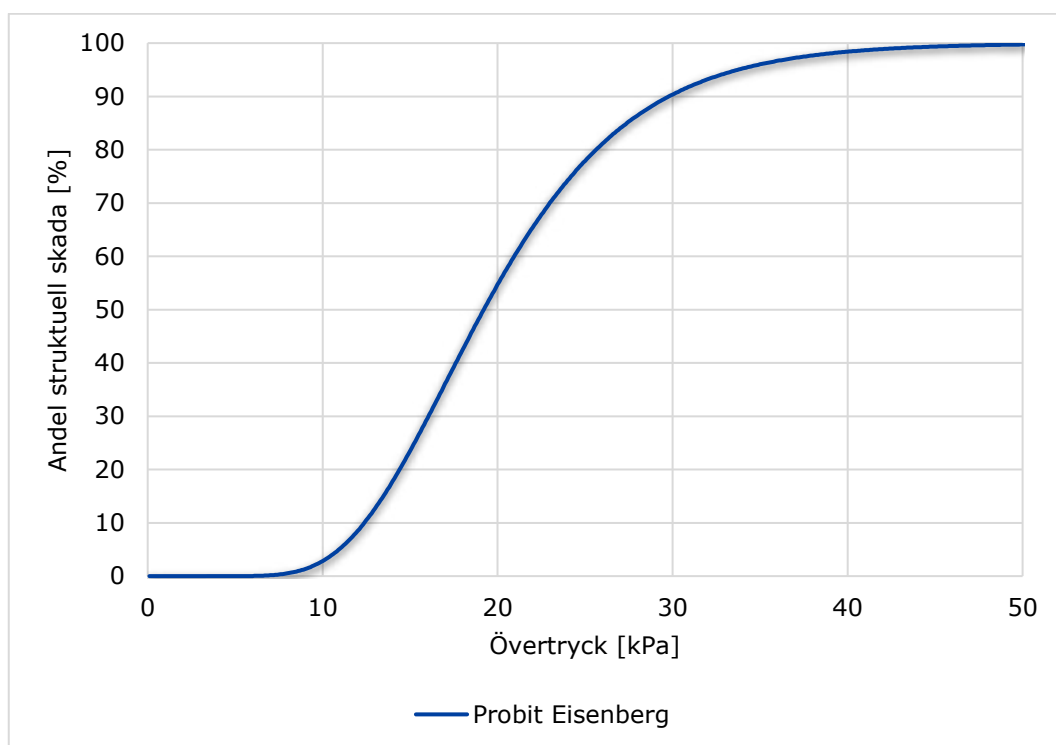
Människor kan också omkomma om de vistas inomhus i en byggnad som kollapsar på grund av övertryck och draglasters påverkan på bärverket. Typiska värden för



byggnadsverks tålighet visas i Tabell 7. Även Eisenbergs probitfunktion för andelen strukturell skada på byggnader kopplat till övertrycket vid explosioner redovisas i Figur 27.

Tabell 7. Gränsvärden för skador på byggnadsstomme för olika konstruktioner. [33]

Byggnadsmaterial	Trycktålighet (kPa)
Små och stora fönster går sönder	3,5-6,9
Partiell kollaps av ytter- och innertak på enklare bostadshus (villa)	13,8
50 % förstörelse av murverk i enklare bostadshus	17,3
Icke-förstärka betongväggar går sönder	13,8-20,7
50 % strukturell skada (enligt Eisenbergs probitfunktion nedan)	19-20
Nästan total förstörelse av enklare bostadshus (villa)	34,5-48,3
Trolig total förstörelse av byggnad	69



Figur 27. Eisenbergs probitfunktion för andelen strukturell skada som funktion av övertrycket. [33]

Utifrån ovanstående redogörelse för olika typer av skador kommer 20 kPa att användas för kriteriet att byggnader allvarligt skadas och där det kan finnas risk för att personer inomhus skadas eller i värsta fall omkommer orsakat av byggnadsskadan. Det antas att 50 % av personerna som befinner sig inom byggnaden vid explosionstillfället omkommer.

B.1.2 Värmestrålning

I Tabell 8 visas en sammanställning av värmestrålningsnivå och korrelerande konsekvens avseende påverkan på människor och utrustning. En grundläggande princip är att lägre nivåer accepteras för allmänheten än för personer inom exempelvis ett industriområde. Strålningsnivåer kring 1 kW/m² orsakar i regel inga obehag under långa exponeringar (> 60 sek). Strålningsnivåer på 2 kW/m² ger obehag och kännbar



smärta först efter 60 sekunder. Nivån 1,5 kW/m² visas i spridningsberäkningarna som tolerabel gräns för 3:e person. Termisk strålningsintensitet kring 10-12,5 kW/m² kan vara potentiellt dödlig inom 60 sekunder, och gränsen 10 kW/m² har därför valts att visas i beräkningarna.

Vid 15 kW/m² kan byggnader, processutrustning och metallskal på närliggande tankvagnar påverkas av en brand och orsaka eskalering. För eskalering krävs dock att utrustningen exponeras i 10 min eller mer. Människor som utsätts för denna strålningsnivå känner nästan momentant en mycket stark smärta. Vid 25-30 kW/m² kan trä antändas.

Tabell 8. Värmestrålningsnivå och korrelerande konsekvenser [34] & [35] & [36] ¹

Termisk strålningsintensitet (kW/m ²)	Konsekvens
~1,5	Tröskel för smärta under längre exponering.
~4,5	Nivå för smärta för personer som inte kan ta skydd inom 20 s.
~5	Nivå för personal som utför räddningsinsats. För oskyddade personer andra gradens brännskador inom 30 sekunder.
~10-12,5	Nivå där vegetation antänds och plast smälter. Potentiellt dödligt inom 60 sekunder.
~14	Nivå som normala byggnader ska klara.
~15	Trä antänds och påverkan börjar ske på byggnader, processutrustning och närliggande cisterner.
~25-30	Trä självantänder.
~38	Nivå som allvarligt skadar cisterner och processutrustning.

Stora osäkerheter finns kopplat till sannolikheten att dö vid olika värmestrålningar och exponeringstider. De ovannämnda nivåerna kan sättas i relation till om man exempelvis jämför med olika probitfunktioner.

Probitfunktioner kopplar en viss given exponeringstid med värmestrålningsintensitet och den sannolikhet som finns för att dö vid dessa.

För att uppskatta sannolikheten att människor omkommer på grund av strålningsvärmen efter exponeringstid används Eisenbergs probitfunktion [37]:

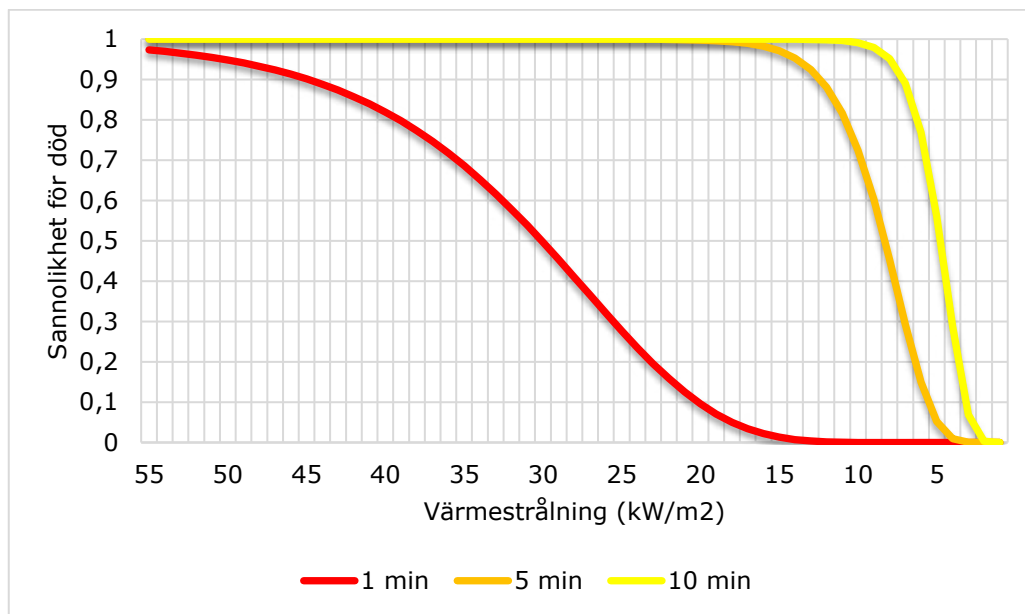
$$Y = -14,9 + 2,56 \ln\left(\frac{t * I^{4/3}}{10^4}\right)$$

I ekvationen står t för exponeringstiden i sekunder och I är värmestrålningen i W/m². Y (probitvärdet) konverteras sedan till procent ur vilken man får sannolikheten för att dö vid vald exponeringstid och värmestrålning.

Eisenbergs probitfunktion ger exempelvis en värmestrålning på ca 300-600 kW/m² för att mellan 80-100 % ska omkomma under fem sekunders exponering, och för att 100 % ska omkomma under 30 sekunder krävs en värmestrålning på ca 140 kW/m².

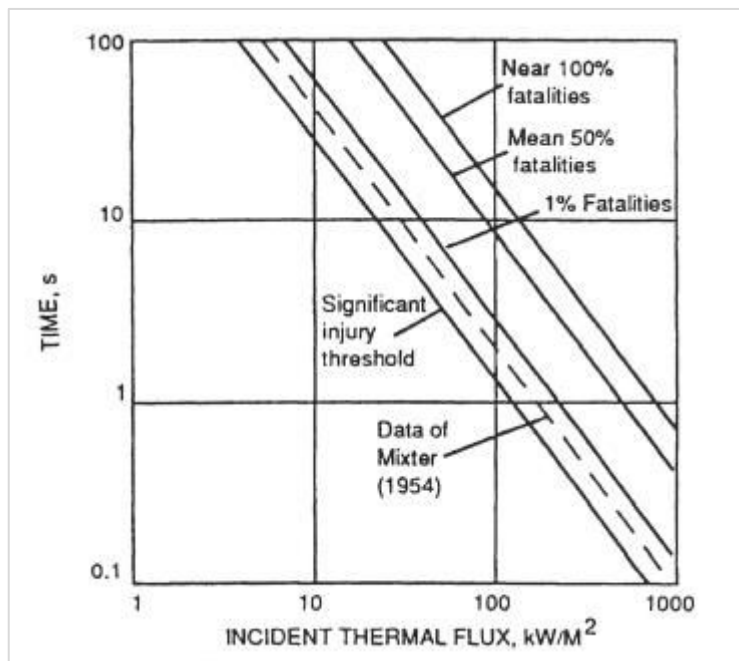
Probitfunktionen för en minut, fem minuter och tio minuters exponering har tagits fram i Figur 35. [37]

¹ Termisk strålningsintensitet och korrelerande konsekvenser på människor och utrustning



Figur 28. Eisenbergs probitfunktion för värmestrålning som funktion av sannolikheten för att dö [37]

I Figur 29 visas olika forskningsmaterial som sammanfattats i ett diagram kopplat till exponeringstid, värmestrålning och sannolikheten för att få brännskador och att dö.



Figur 29. Allvarliga skador/dödlighetsnivåer för värmestrålning från bränder med kolväten. [38]

Utifrån ovanstående kriterier avseende termisk strålning har följande tre strålningsnivåer valts för att beskriva skadekonsekvenserna vid brand:

- **20 kW/m²:** Risk för att man dör eller får allvarliga brännskador under ca 30 sekunder. Kraftig smärta känns efter endast någon sekund.
- **10 kW/m²:** Vid exponering under 60 sekunder finns risk för dödsfall
- **1,5 kW/m²:** Tröskelvärde för smärta under längre exponering



I beräkningar används 10 kW/m² som kriterium för dödsfall för personer som vistas utomhus i händelse av olyckstyperna jetbrand och pölbrand, som är längre olycksförlopp. I händelse av BLEVE, som är ett kortare brandförlopp, antas ett högre värde som närmare beskrivs under denna konsekvensberäkning. Att byggnader påverkas bedöms ske vid 30 kW/m².

B.1.3 Exponering mot giftig gas

I konsekvensberäkningarna simuleras klass 2.3 med vattenfri ammoniak, som bedöms vara en av de vanligaste förekommande transporterade giftiga gaserna.

Ammoniak är en färglös gas med en starkt stickande lukt. Ämnet är giftigt, brandfarligt och kan explodera om förhållandena är inom brännbarhetsområdet. Ammoniak har en kokpunkt på -33°C och ångorna är lättare än luft. Vid förångning av ett utsläpp i vätskefas kommer ångorna att stiga uppåt, men endast om luften är torr. Ammoniak reagerar omedelbart med vattnet i fuktig luft och blir därigenom tyngre än luft och rör sig längs marken.

Många standarder och riktvärden för mänsklig exponering av ammoniakkoncentrationer bygger på flertalet historiska fall där ofta lite eller ingen information finns kring koncentration och exponeringstid. Dessa observationer är därför behäftade med osäkerheter.

I observationer där både koncentration och exponeringstid finns ansätts till exempel att koncentrationer på 5 000 – 10 000 ppm under 5-10 minuter kan leda till dödsfall.

Tabell 9 visar en sammanställning av olika koncentrationer och exponeringstid för ammoniak. Forskning som försökt sammanväga djurförsök och rekonstruktioner av olyckor som krävt dödsfall visar dock att betydligt högre koncentrationer krävs. Exempelvis ledde ett uppmätt utsläpp på 33 737 ppm under fem minuter i Sydafrika 1973 inte till ett enda dödsfall. [39]

Tabell 9. Nivåer för koncentration och exponeringstid för ammoniak för några normer [39]

Norm	Koncentration (ppm)	Exponeringstid (min)
Lukttröskel	0,04-57	>0
Standarder och riktlinjer		
ACGIH² STEL³	35	15
AIHA ERPG-2 (skada/flykt)	150	60
NIOSH⁴ IDLH⁵	300	30
AIHA ERPG-3 (dödlighet)	1 500	60
Kliniskt obetydliga effekter	50	10
Irreversibla effekter	7 051	5
	2 879	30
	2 035	60
Dödlig exponering	>33 737	5
	>5 623	30

² American Conference of Governmental Industrial Hygienists

³ Short-term exposure limit

⁴ National Institute for Occupational Safety and Health

⁵ Immediately Dangerous To Life or Health



Ett sätt att redovisa hälsoeffekter av giftiga luftburna ämnen är att hänvisa till AEGL-nivåer. AEGL (Acute Exposure Guideline Levels) tar hänsyn till känsliga individer såsom gamla, sjuka och unga samt lämpar sig vid korta utsläpp under en timme.

De tre nivåerna i AEGL definieras som:

- **AEGL-3**
 - Luftkoncentrationen (i ppm eller mg/m³) över vilken en befolkning (inklusive känsliga individer) antas kunna få livsfarliga skador och risk för att dö.
- **AEGL-2**
 - Luftkoncentrationen (i ppm eller mg/m³) över vilken en befolkning (inklusive känsliga individer) antas kunna få permanenta skador, andra långsiktiga svåra hälsoeffekter och svårigheter att fly undan utsläppet.
- **AEGL-1**
 - Luftkoncentrationen (i ppm eller mg/m³) över vilken en befolkning (inklusive känsliga individer) antas kunna bli utsatta för irritation och obehag.

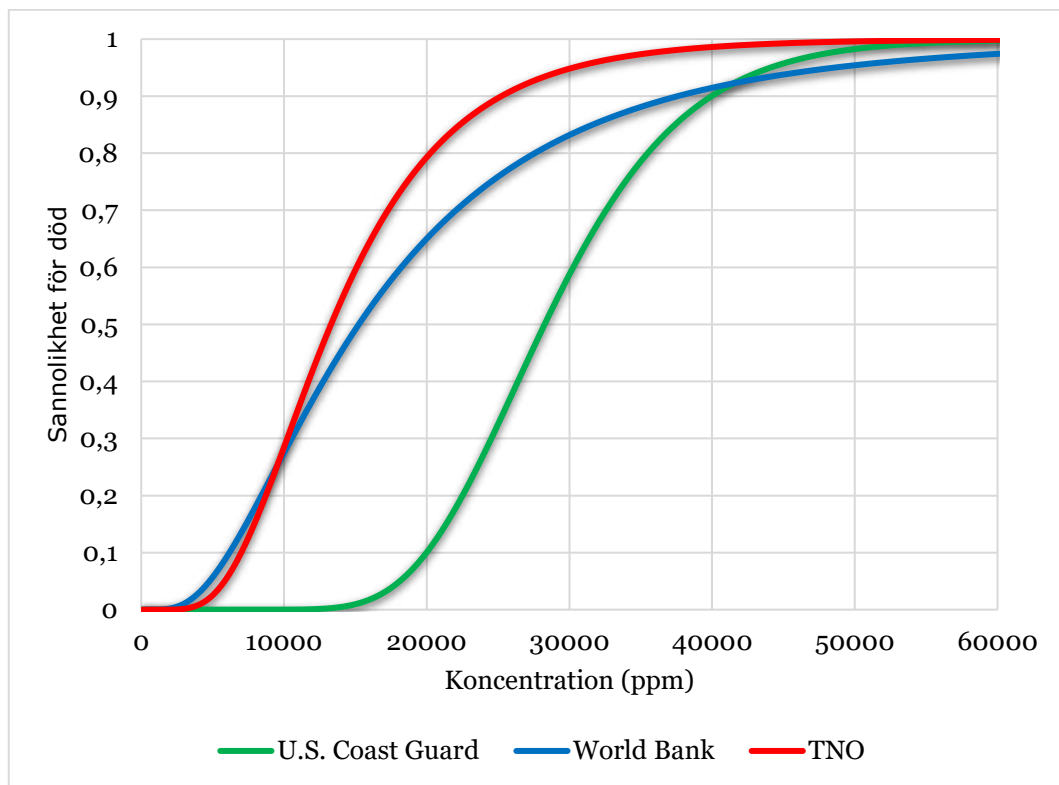
I Tabell 10 redovisas samtliga AEGL-nivåer för ammoniak.

Tabell 10. AEGL-nivåer för ammoniak i ppm [40]

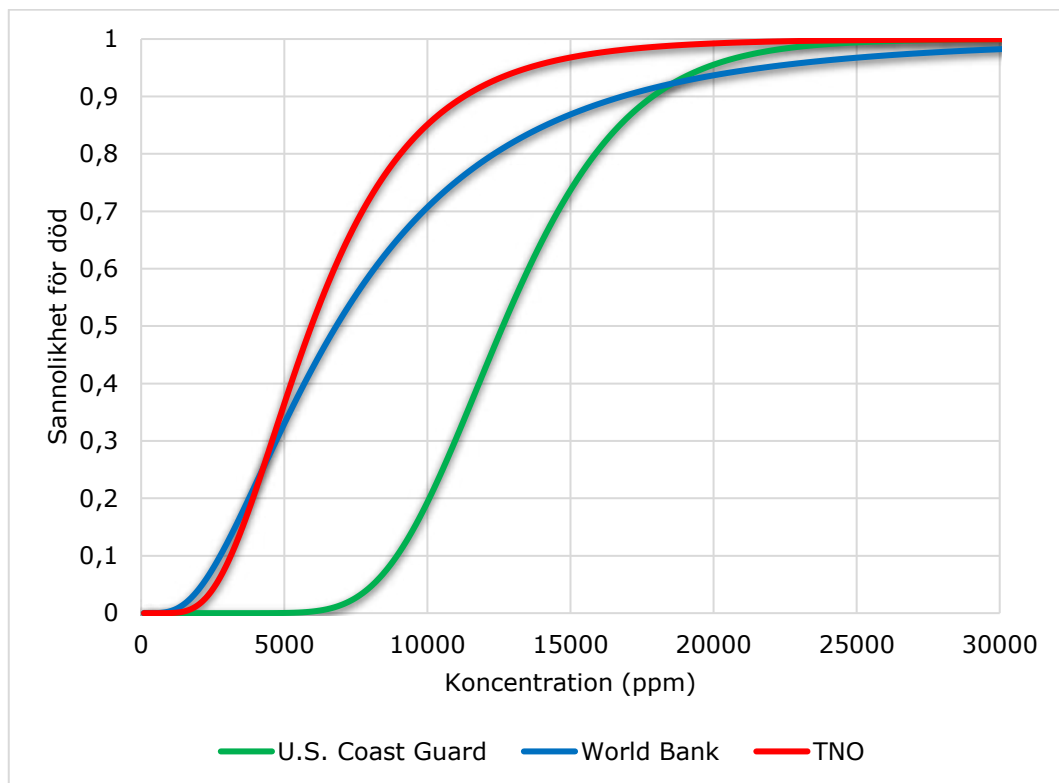
	10 min	30 min	60 min	4 tim	8 tim
AEGL-1	30	30	30	30	30
AEGL-2	220	220	160	110	110
AEGL-3	2 700	1 600	1 100	550	390

Ett annat mått är de tre ERPG-nivåerna (Emergency Response Planning Guideline). Dessa gäller alltid för en timmes exponering och beskriver den koncentration *under* (jmf. över i AEGL) vilken *nästan alla individer* (jmf. "inklusive känsliga individer" i AEGL) kan bli exponerade för *utan* att få olika former av hälsobesvär (jmf. *kunna få/bli utsatt för olika typer av skador* i AEGL). De olika typerna av hälsopåverkan korresponderar mot motsvarande nivåer för AEGL-värdena, men ERPG-värdet anger just den nivå *under* vilken man kan vistas i upp till en timme *utan* att få skador/besvär. Det är därför värt att notera att AEGL-3-värdet för en timmes exponering (1 100 ppm) är *lägre* än ERPG-3-nivån (1 500 ppm). ERPG-3-nivån har fördubblats sedan år 2000; år 2000 sattes den till 750 ppm, år 2013 uppdaterades den till 1 000 ppm och år 2014 skedde ytterligare en höjning till 1 500 ppm. [41]

Ett annat sätt att visa på ett ämnes skadliga påverkan på människan är att använda probitfunktioner. Dessa kopplar en viss given exponeringstid med koncentrationer och den sannolikhet som finns för att dö vid dessa. Probitfunktioner används alltså endast för dödsfall och inte för andra former av hälsoskador. I Figur 30 och Figur 31 visas probitfunktioner för ammoniak avseende exponeringstid 5 och 25 minuter.



Figur 30. Probitfunktion för ammoniak (5 minuters exponering). [42] & [43] & [44]



Figur 31. Probitfunktion för ammoniak (25 minuters exponering). [42] & [43] & [44]

I kommande konsekvensberäkningar kommer AEGL-3 värden för 10 minuters exponering att väljas för att representera dödsfall.

B.2 Olycka med explosiva ämnen (Klass 1)



För analysen av konsekvenser som omfattar explosiva ämnen används standardberäkning enligt TNT-ekvivalentmetoden i "Yellow book" [45]. Det massexplosiva ämnet representeras av TNT, varvid massan TNT räknas om till ekvivalent massa brännbar metangas i ett hypotetiskt gasmoln. Trycket från gasmolnsexplosion beräknas därefter.

Vi söker därför den massa av brännbar gas som motsvarar en bestämd mängd TNT från nedanstående samband:

$$m_{gas} = \frac{m_{TNT} \cdot \Delta H_d(TNT)}{\Delta H_c(gas) \cdot Y}$$

Där

m_{gas} = ekvivalent massa gas i brännbart gasmoln som bidrar till gasmolnsexplosion [kg]

m_{TNT} = massa TNT [kg]

$\Delta H_c(gas)$ = förbränningsvärme gas [J/kg]

$\Delta H_d(TNT)$ = förbränningsvärme TNT [J/kg]

Y = effektivitetsfaktor [-]

Effektivitetsfaktorn Y beror på gasens reaktivitetsgrad och anges i [45] till

$Y = 0,2$

$\Delta H_c(CH_4) = 5,6E+07$ [J/kg]

$\Delta H_d(TNT) = 4,18E+06$ [J/kg]

Med ovanstående formel kan massan TNT omvandlas till ekvivalent massa metangas enligt Tabell 11.

Tabell 11. TNT-ekvivalenter av metan

Massa TNT [Kg]	Massa CH4 [Kg]
20	7,5
16 000	5970

För att kunna bestämma trycket vid olika avstånd från explosionens centrum bestäms ett dimensionslöst avstånd enligt formeln nedan [32].

$$\bar{R} = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}}$$

Där

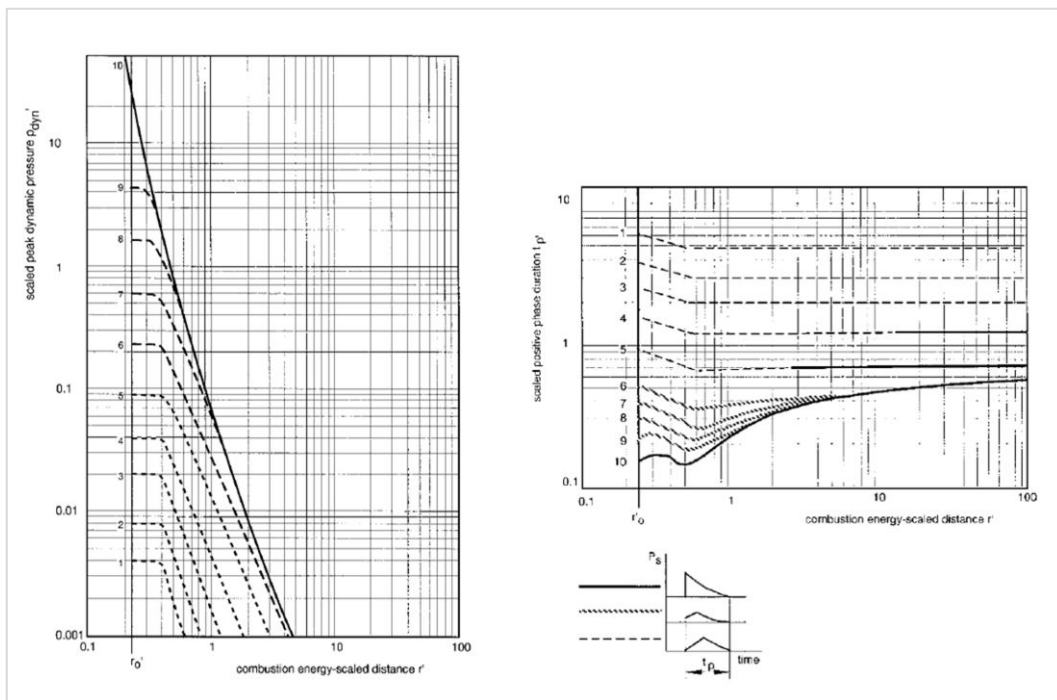
$\bar{R}$ = Dimensionslöst avstånd [-]

R = Verkligt avstånd från explosionens centrum [m]

E = Energimängd i gasmolnet [J]

P_0 = Atmosfärstryck [Pa]

Därefter kan det dimensionslösa trycket bestämmas med hjälp av Figur 32 nedan [32].



Figur 32. Maximalt dimensionslöst tryck. För beräkningarna har den högsta detonationsklassen (10) antagits för små mängder TNT och detonationsklass 9 för den stora mängden TNT, då de olika underklasserna i klass bäst stämmer överens med dessa utseenden i tryck-tidsambandet.

Med hjälp av det dimensionslösa trycket utläst ur Figur 32 kan explosionsövertrycket bestämmas genom:

$$\bar{P} = \frac{P_s}{P_0}$$

Där

$\bar{P}$ = Dimensionslöst tryck [-]

P_s = Explosionstryck [Pa]

P_0 = Atmosfärstryck [Pa]

Trycket beräknas för intervallen i Tabell 12. Trycket beräknas för ytterkanten i respektive område och approximeras linjärt i intervallet.

Tabell 12. Potentiellt explosionsövertryck i området vid olycka med massexplosivt ämne.

Område	Explosionsövertryck i område/mot fasad	
	20 kg explosivämne	16 000 kg explosivämne
1-5 m	3 040 kPa – 608 kPa	>456 kPa
5-10 m	608 kPa – 30 kPa	>456 kPa
10-20 m	30 kPa – 5 kPa	>456 kPa
20-40 m	5 kPa – 0,4 kPa	>456 kPa
40-100 m	0,4 kPa – 0 kPa	456 kPa – 20 kPa
100-200 m	0 kPa	20 kPa – 4 kPa

Som kriterium för individrisken används avstånd till 180 kPa för oskyddade personer utomhus. För dödsfall utomhus används värdet där 1 % förväntas omkomma, 180 kPa, vilket är konservativt med en faktor 100.

Bergspartiet är ungefär 5-15 meter högt beroende på position och ca 40-60 meter brett. Avståndet mellan väggkant på Lännavägen och bergspartiet är ca 7-10 meter. På detta avstånd (antas till 10 meter) bedöms tryckvågen kunna åsamka skada utan att hänsyn tas till hinderpåverkan. På längre avstånd än så bedöms berget kunna ta upp hela tryckvågen. Eftersom analyserad sträcka är längre än den del av Lännavägen som skyddas av bergspartiet blir således riskbidraget för villorna norrut intill Lännavägen egentligen högre eftersom de ligger oskyddade. Eftersom den planerade utbyggnaden av förskolan dock är fokus i denna utredning görs denna förenkling.

Tabell 13. Sammanställning av individriskberäkningar utomhus med massexplosivämnen.

Scenario	Grund-frekvens [per år]	Slut-frekvens [per år]	Om-skalnings-faktor	Konsekvensavstånd, längd [m]
16 000 kg, brandspridning till ämne	1,99E-09	7,95E-11	0,04	10



16 000 kg, starka påkänningar på last	3,94E-09	1,57E-10	0,04	10
20 kg, brandspridning till ämne	4,88E-07	1,56E-08	0,032	8
20 kg, starka påkänningar på last	1,93E-07	6,17E-09	0,032	8

B.3 Olycka med brandfarlig gas (klass 2.1)

I föreliggande beräkningar kommer gasol att användas som brandfarlig gas. För att underlätta beräkningarna antas att gasolen består av 100 % propan. Gasol är den i särklass vanligaste brandfarliga gasen som transporteras som farligt gods. Mängden gasol i en tankbil är mellan 8-32 ton. För beräkningarna ansätts mängden till 25 ton (fyllnadsgrad ca 80 % med tankbil med plats för 32 ton).

Tre delfall omfattande olyckor med fordonsgas har identifierats:

- Jetbrand
- Gasmolnsbrand
- BLEVE

Två olika utsläppsstorlekar (för jetflamma och gasmoln) antas enligt följande:

- Litet - punktering (hål diameter 10 mm)
- Stort - medelstort hål (hål diameter 30 mm)

För respektive scenario beräknas konsekvenserna av de möjliga följdhändelserna vid tankbilsolycka med brandfarlig gas:

- Jetflammans längd vid omedelbar antändning
- Det brännbara gasmolnets utbredning och eventuella tryck vid explosion
- Området som påverkas vid en BLEVE

Respektive scenario kommer att beräknas med simuleringsprogrammet ALOHA. ALOHA är en simuleringsprogramvara utgiven av amerikanska EPA (United States Environment Protection Agency). [31]

För jetflamma och brinnande gasmoln varierar skadeområdet med läckagestorlek, tiden till antändning samt vindhastighet. Beroende på om läckage inträffar i tanken i gasfas, i gasfas nära vätskefas eller i vätskefas kan utsläppets storlek och konsekvensområde variera. I beräkningarna antas att utsläppet sker nära vätskefas, då detta ger värden mellan de sämsta och bästa utfallen. De värsta konsekvenserna uppstår om utsläppet sker i vätskefasen.

De indata som använts i ALOHA för att simulera konsekvensområden för jetflamma, gasmoln och BLEVE presenteras nedan:

Atmosfäriska parametrar:

Omgivningstemperatur: 15°C

Relativ fuktighet: 50 %

Väderlek: Dag och molnigt

RISKUTREDNING



Omgivning: Träd, häckar och enstaka byggnader

Vindhastighet: 2 m/s (låg), 4 m/s (normal), 6 m/s (hög)

Stabilitetsklass: C (2 m/s), D (4 och 6 m/s)

Fysikaliska parametrar:

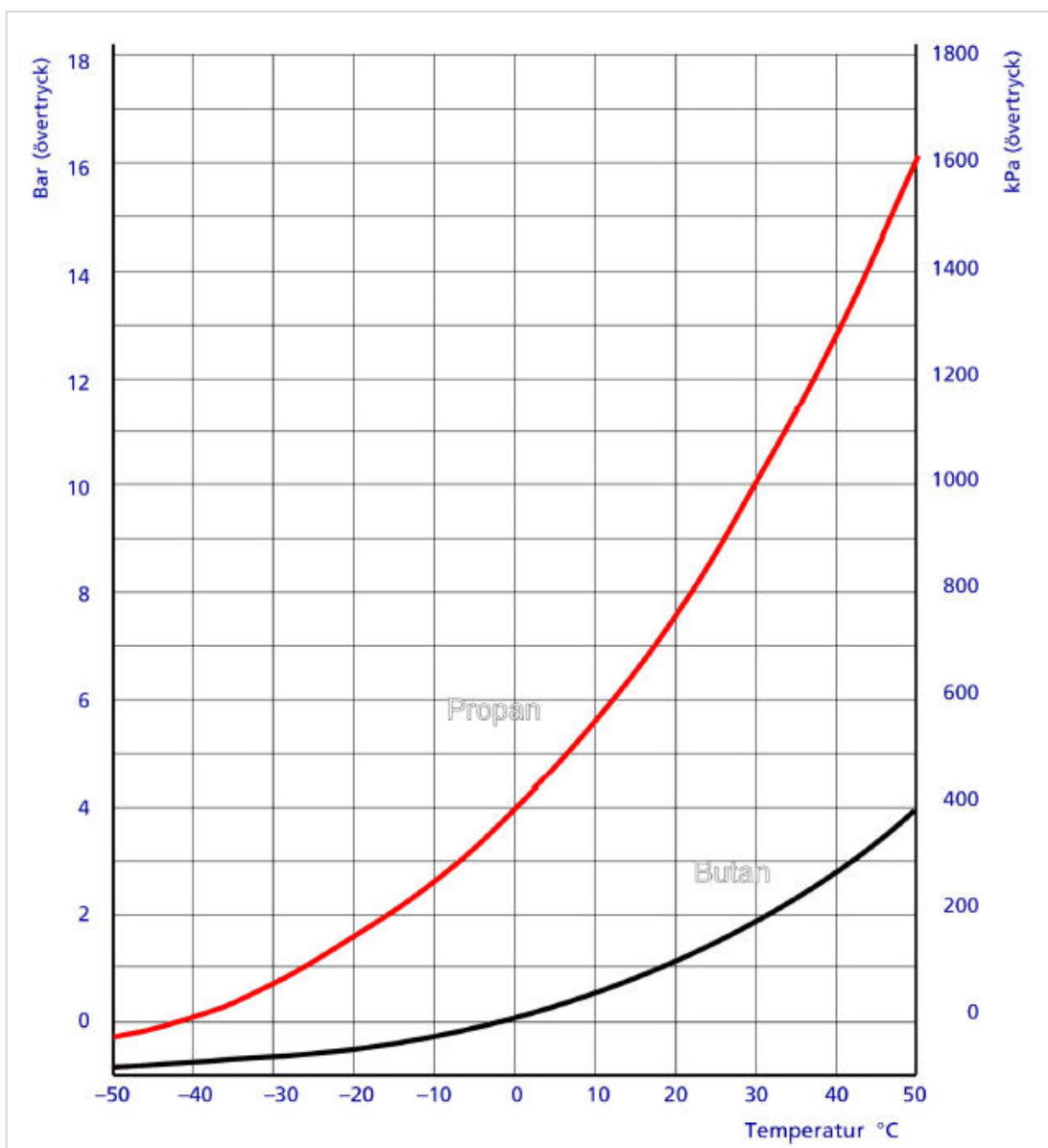
Lagringstemperatur: 15°C

Lagringstryck: 5,5 bar övertryck, se Figur 40

Tankdiameter: 2,5 m

Tanklängd: 12 m

Tankfyllnadsgrad: 85 %



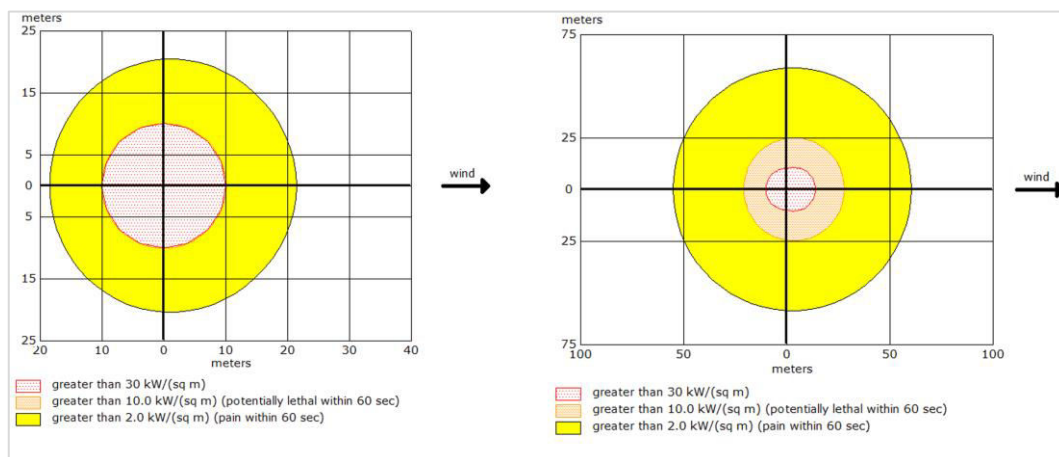
Figur 34. Ångtrycksdiagram för propan och butan

B.3.1 Jetbrand



Vid beräkning av jetbrand antas att all gas i lastbilstanken medverkar i förloppet. Utsläppsdiametern på hålet ansätts till 10 mm (litet läckage) och 30 mm (stort läckage).

Genomförda beräkningar visar att flammans längd blir ca 6 meter (1 cm hål) respektive 17 m (3 cm hål). Inom 10 meter (1 cm hål) respektive 28 meter (3 cm hål) från riskkällan riskerar personer att dö av den strålningsvärme som uppkommer, se Figur 35. Avstånd till 30 kW/m² för 1 cm hål är 10 meter och motsvarande för 3 cm hål är 14 m.



Figur 35. Strålningsvärme från en jetflamma från lastbil med gasol. Utsläppet riktas rakt upp. Till vänster jetflamma från 1 cm hål, till höger jetflamma från 3 cm hål [31]

B.3.2 Gasmolnsbrand

För beräkning av gasmolnsbrand antas samma förutsättningar som i jetbranden ovan.

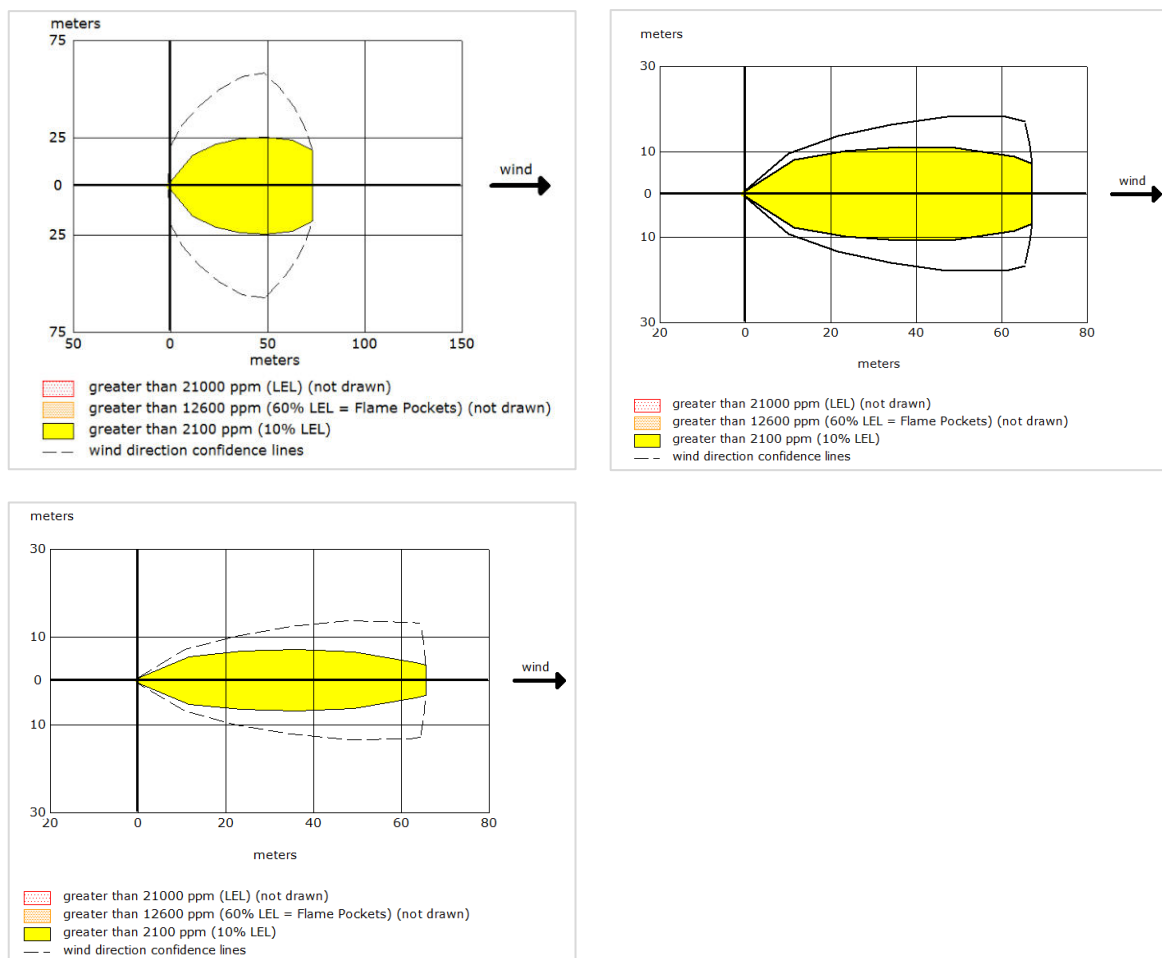
Om gasmolnet som bildas vid utsläppet utsätts för en tillräcklig tändkälla kommer den del av molnen som är inom brännbarhetsområdet (UEL och LEL) att förbrännas. Hur snabbt flamfronten rör sig genom molnet avgör om det sker en deflagration eller en detonation. När ett gasmoln förångas och sprids i luften är koncentrationen i molnet inte uniform utan varierar i olika delar av molnet utifrån den geometri som omgivningen har. Beräkningsprogrammet ALOHA använder medelvärden över tid för att räkna ut koncentrationer i gasmolnet. Trots att medelvärdet under en viss tid är under LEL kan det ändå finnas områden ("fickor") i gasmolnet vid den tidsperioden som överstiger LEL. För att ta höjd för denna risk antas dessa "fickor" finnas vid 60 % av LEL, eftersom denna fraktion av LEL via experiment har visat sig kunna antända ett moln.

Genomförda beräkningar visar att utsläppet kan ge upphov till följande storlekar på moln (med koncentration 60 % LEL) beroende på hålstorlek och vindstyrka:

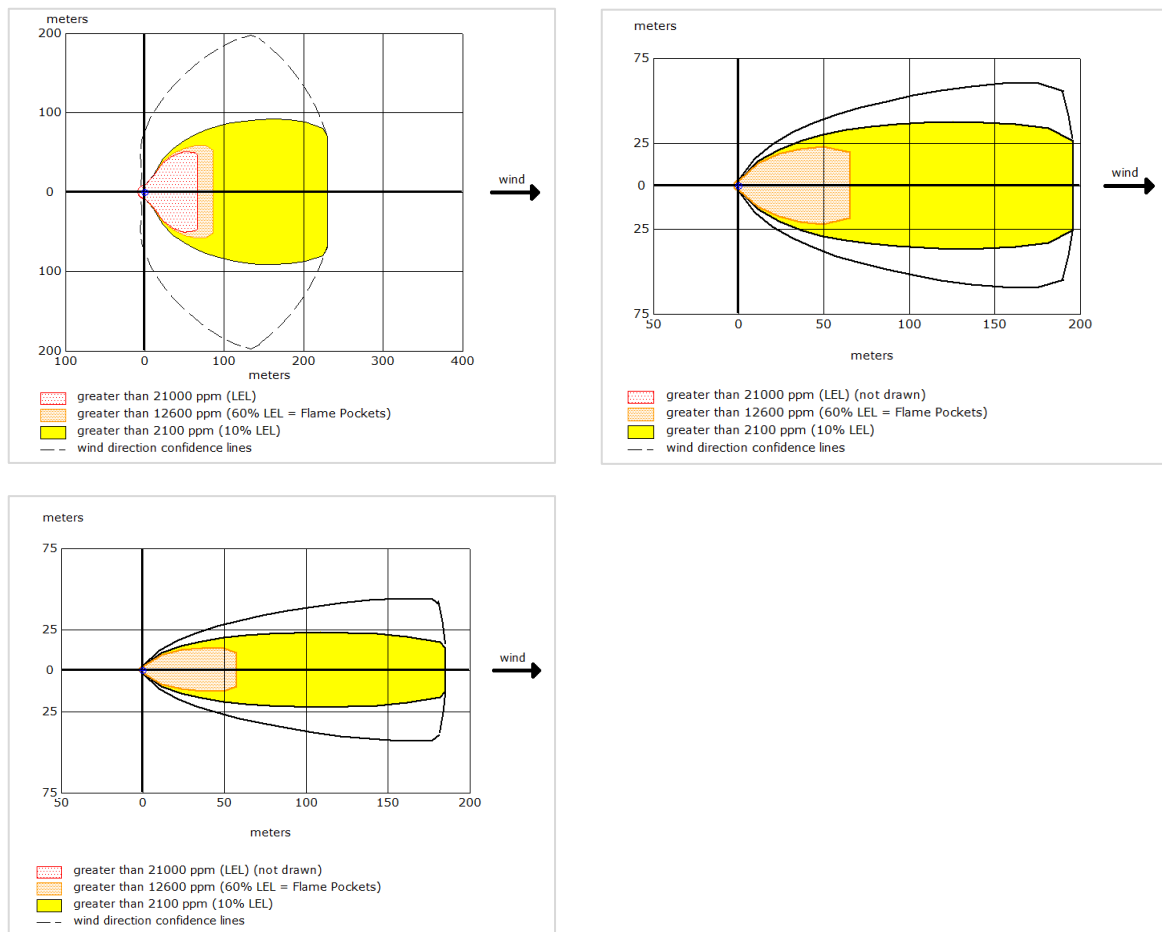
- 1 cm hål
 - 36 (B) x 26 (L) meter (2 m/s)
 - 14 (B) x 22 (L) meter (4 m/s)
 - 10 (B) x 21 (L) meter (6 m/s)
- 3 cm hål
 - 120 (B) x 86 (L) meter (2 m/s)
 - 90 (B) x 65 (L) meter (4 m/s)
 - 28 (B) x 57 meter (6 m/s)



Beräknade gasmoln kan ses i Figur 36 och Figur 37.



Figur 36. Gasmoln vid utsläpp via hål med 1 centimeters diameter vid 2 m/s (vänster bild), 4 m/s (höger) och 6 m/s (nedre bild). [31]



Figur 37. Gasmoln vid utsläpp via hål med 3 centimeters diameter vid 2 m/s (vänster bild), 4 m/s (höger) och 6 m/s (nedre bild). [31]

B.3.3 Gasmolnsexplosion

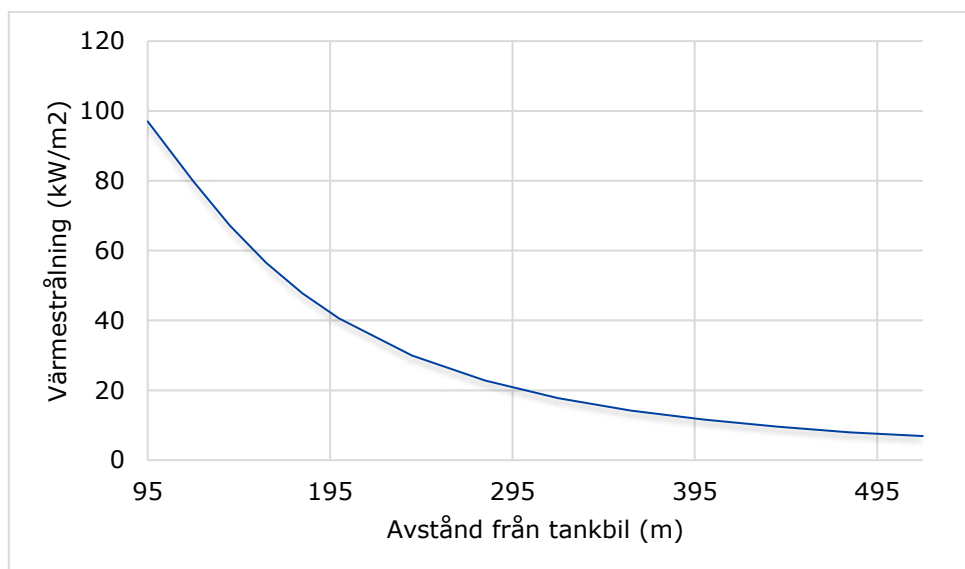
Inget beräknat fall, varken för litet eller stort utsläpp, ger upphov till signifikanta övertryck vid antändning av gasmolnet. Detta eftersom utsläppet sker i en öppen terräng utan möjlighet för gasmolnet att endera bli instängt eller öka dess flamfront på grund av hinder i terrängen.

B.3.4 BLEVE

En BLEVE är den allvarligaste konsekvensen avseende kondenserad brandfarlig gas.

För att anta ett extremt scenario så antas att hela lastbilstanken medverkar i förloppet. Genomförda handberäkningar enligt ekvationer i [35] visar att detta ger upphov till ett eldklot med diametern 170 meter. Eldklotet förväntas brinna upp på ca 14 sekunder. Det eventuella övertryck som uppkommer bedöms inte vara det som främst påverkar konsekvenserna i termer av skador, utan detta bedöms vara själva värmestrålningen. Det bedöms att alla människor inom eldklotet kommer att omkomma.

Det antas konservativt att 30 kW/m² är gränsen för individrisken vid denna exponeringstid. 30 kW/m² i 14 sekunder gör att 70 % får andra gradens brännskador, och av dessa antas 15 % omkomma. Denna värmestrålning uppkommer enligt beräkningen vid ca 240 meter, se Figur 44.



Figur 38. Värmestrålning från BLEVE som funktion av avståndet från tankbilen [31]

B.3.5 Sammanställning

I Tabell 14 visas en sammanställning av konsekvensberäkningar för klass 2.1.

Tabell 14. Sammanställning av konsekvensberäkningar.⁶

Scenario	Läckagestorlek	Händelse	Konsekvensområde
BLEVE	-	Eldklot	240 m i radie
Hål i tankbotten	Punktering (10 mm)	Jetflamma	19
		Gasmolnsbrand (hög vind)	10 x 21
		Gasmolnsbrand (normal vind)	14 x 22
		Gasmolnsbrand (låg vind)	36 x 26
	Stort hål (30 mm)	Jetflamma	43
		Gasmolnsbrand (hög vind)	28 x 57
		Gasmolnsbrand (normal vind)	90 x 65
		Gasmolnsbrand (låg vind)	120 x 86

⁶ Konsekvensområde för BLEVE anger avstånd till 30 kW/m², för jetflamma anges avstånd till 30 kW/m² och för gasmoln anges storlek på molnen avseende brännbarhetsområdet vid 60 % LEL.



I Tabell 15 redovisas en sammanställning av individriskberäkningen kopplat till de olika scenarierna för klass 2.1.

Konsekvensberäkningarna tar inte hänsyn till skyddande hinder i terrängen. Liksom för mot tryckvågen bedöms bergspartiet kunna skydda mot värmestrålning och även utbredning av gasmolnet.

Bergspartiet bedöms reducera effekten av all värmestrålning från och med avståndet 10 meter från väggkant. Detta gäller vid jetbrand men inte vid gasmolnsbrand eller BLEVE.

Själva utbredningen av gasmolnet innan antändning bedöms däremot påverkas av bergspartiet. Att rent kvantitativt bedöma den riskreducerande effekten av bergspartiet mot spridning av gas som senare antänds är dock mycket svårt. Det antas grovt att utbredningen av gasmoln som senare antänds reduceras med en faktor tre om det sprids i riktning mot bergspartiet och förskolan.

Tabell 15. Sammanställning av individriskberäkningar utomhus med brandfarlig gas.

Scenario	Grund-frekvens [per år]	Slut-frekvens [per år]	Om-skalnings-faktor	Konsekvens-avstånd, längd [m]
				Utan åtgärd
Litet läckage, jetbrand	9,79E-09	3,92E-10	0,04	10
Litet läckage, gasmolnsbrand, hög vind	1,00E-08	2,01E-10	0,02	10
Litet läckage, gasmolnsbrand, normal vind	1,15E-08	3,21E-10	0,028	10
Litet läckage, gasmolnsbrand, låg vind	7,18E-09	5,17E-10	0,072	12
Stort läckage, jetbrand	1,96E-08	7,83E-10	0,04	10
Stort läckage, BLEVE	9,22E-10	8,85E-10	0,96	240
Stort läckage, gasmolnsbrand, hög vind	5,02E-07	2,81E-08	0,056	19
Stort läckage, gasmolnsbrand, normal vind	5,74E-07	1,03E-07	0,18	22
Stort läckage, gasmolnsbrand, låg vind	3,59E-07	8,61E-08	0,24	29



B.4. Olycka med giftig gas (klass 2.3)

Spridningssimuleringar har gjorts för den giftiga gasen vattenfri ammoniak för de tre vindhastigheterna. Simuleringar har även gjorts för två olika temperaturer, då temperatur också är en väderparameter som har stor betydelse för dispersion och därmed spridning av gasmoln. Två temperaturer, 0° C respektive 15° C har valts, som bedöms vara representativa för de olika årstiderna. Samma läckagestorlekar har använts som för brandfarliga gaser.

Varaktigheten är avgörande för dosen, d.v.s. kort utsläppstid medför hög koncentration men kort påverkanstid. Detta är relevant för framförallt de stora utsläppen. Ett stort utsläppt betyder att en hög koncentration uppnås i ett väldigt stort område. Men det är under kort tid, ibland inte ens under de 10 minuter som det använda gränsvärdet förutsätts vara rådande.

I ALOHA har beräkningarna gjorts för tankläckage med utsläpp nära marknivå. Detta blir konservativt eftersom utsläppet då sker i vätskefasen.

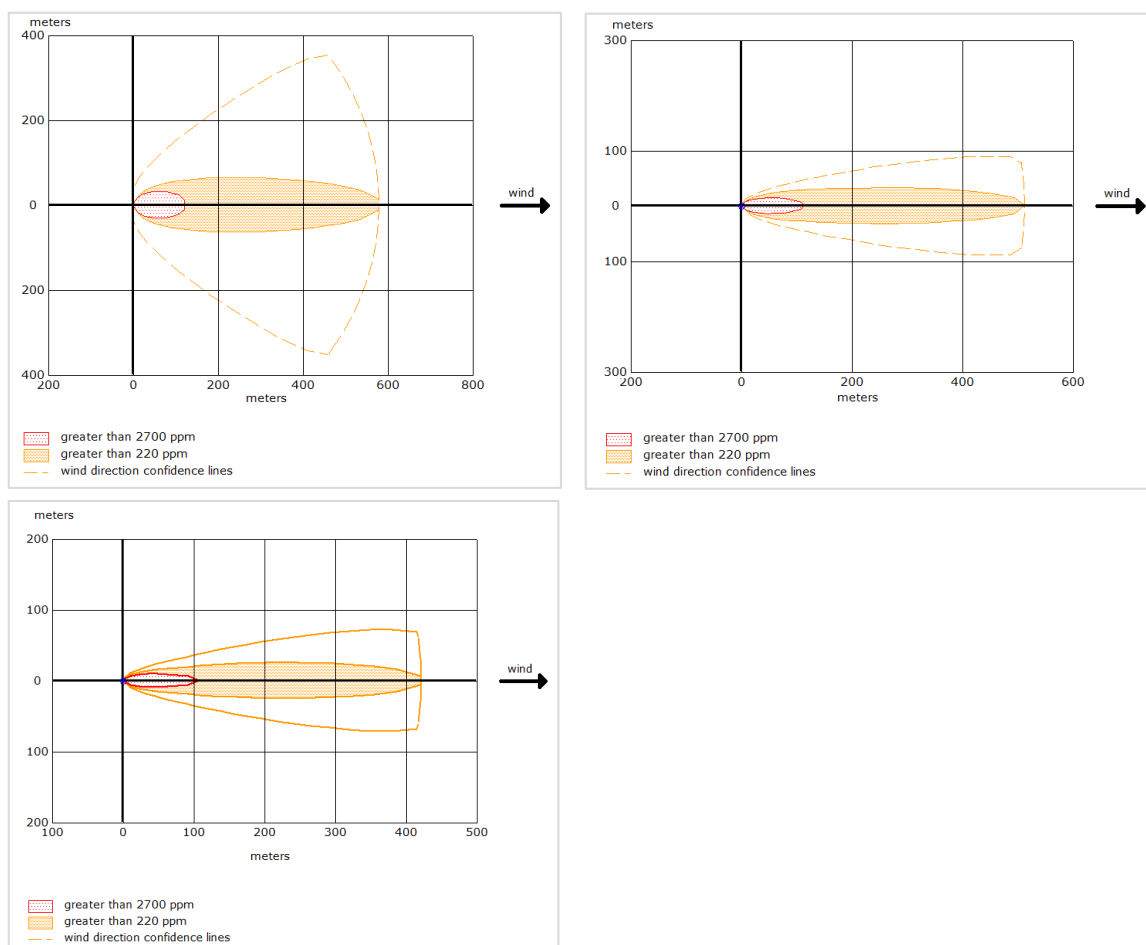
B.4.1 Litet läckage

I Tabell 16 visas beräknade värden avseende litet läckage med vattenfri ammoniak. Det genomsnittliga värdet avseende både temperaturen 0 och 15 grader används i individriskberäkningen. Valt konsekvensområde markeras med fet text i tabellen. Beräknade gasmoln kan ses i Figur 39 och Figur 40.

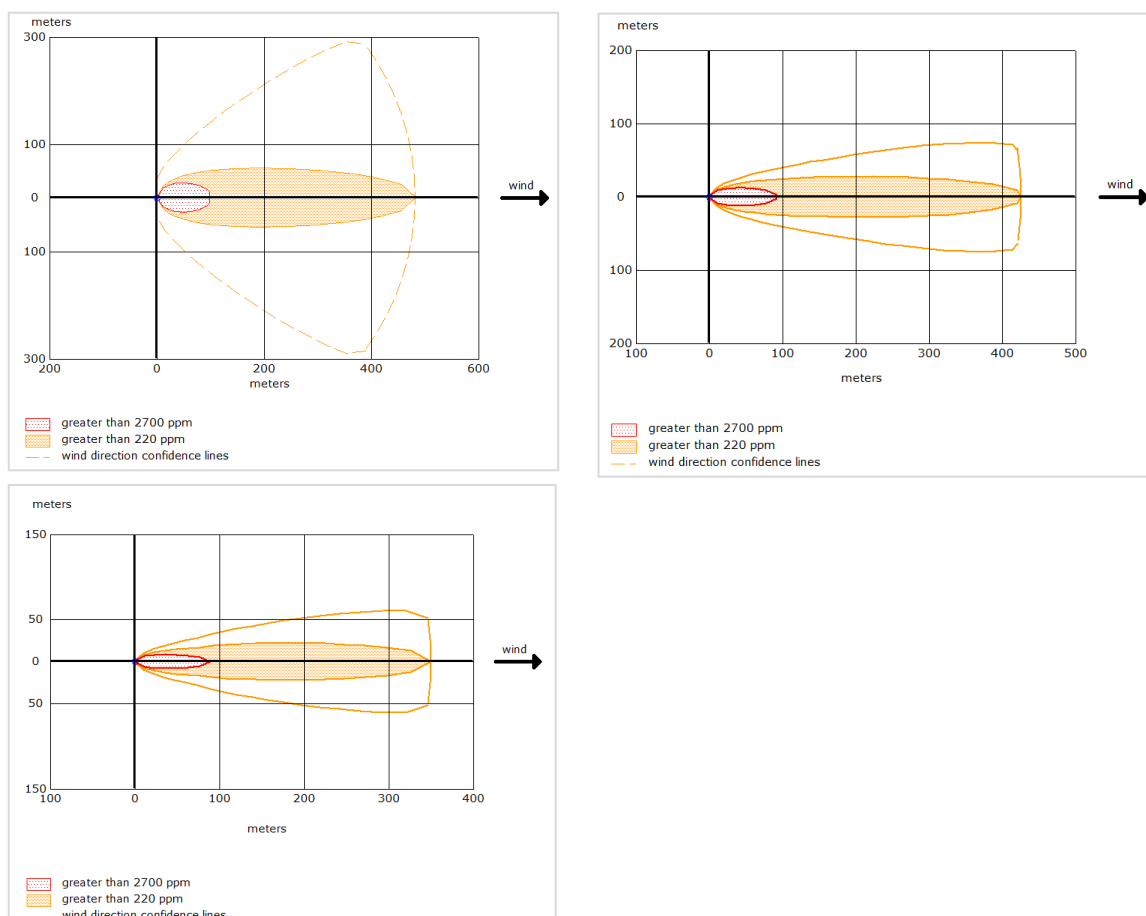
Tabell 16. Indata och resultat av simulering för litet läckage av ammoniak.⁷

Händelse	Litet läckage					
Källstorlek/Källflöde	Hål med 1 cm diameter					
Utsläppshöjd	0,25 m					
Väder	Halvklart			Halvklart		
Temperatur [°C]	15	15	15	0	0	0
Vindhastighet [m/s]	2	4	6	2	4	6
Stabilitetsklass	C	D	D	C	D	D
Utsläppets varaktighet	60 min					
Utsläppt mängd	4 803 kg			3 566 kg		
Gasspridningsmodell	Tunggasmodell					
	Område inom vilket koncentrationen för följande gränsvärden överskrids (b x l)					
AEGL-3 (10 min)	60x120	30x112	20x107	54x98	26x93	18x89
Genomsnitt, oberoende av temp	2 m/s		4 m/s		6 m/s	
	Område inom vilket koncentrationen för AEGL-3 (10 min) överskrids (b x l)					
	19x98		28x103		59x109	

⁷ Fetmarkerade värden används som dimensionerande i beräkningarna av konsekvenser.



Figur 39. Gasmoln vid utsläpp via hål med 1 centimeters diameter vid 2 m/s (vänster bild), 4 m/s (höger) och 6 m/s (nedre bild). Temperatur 15°C [31]



Figur 40. Gasmoln vid utsläpp via hål med 1 centimeters diameter vid 2 m/s (vänster bild), 4 m/s (höger) och 6 m/s (nedre bild). Temperatur 0°C [31]

B.4.2 Stort läckage

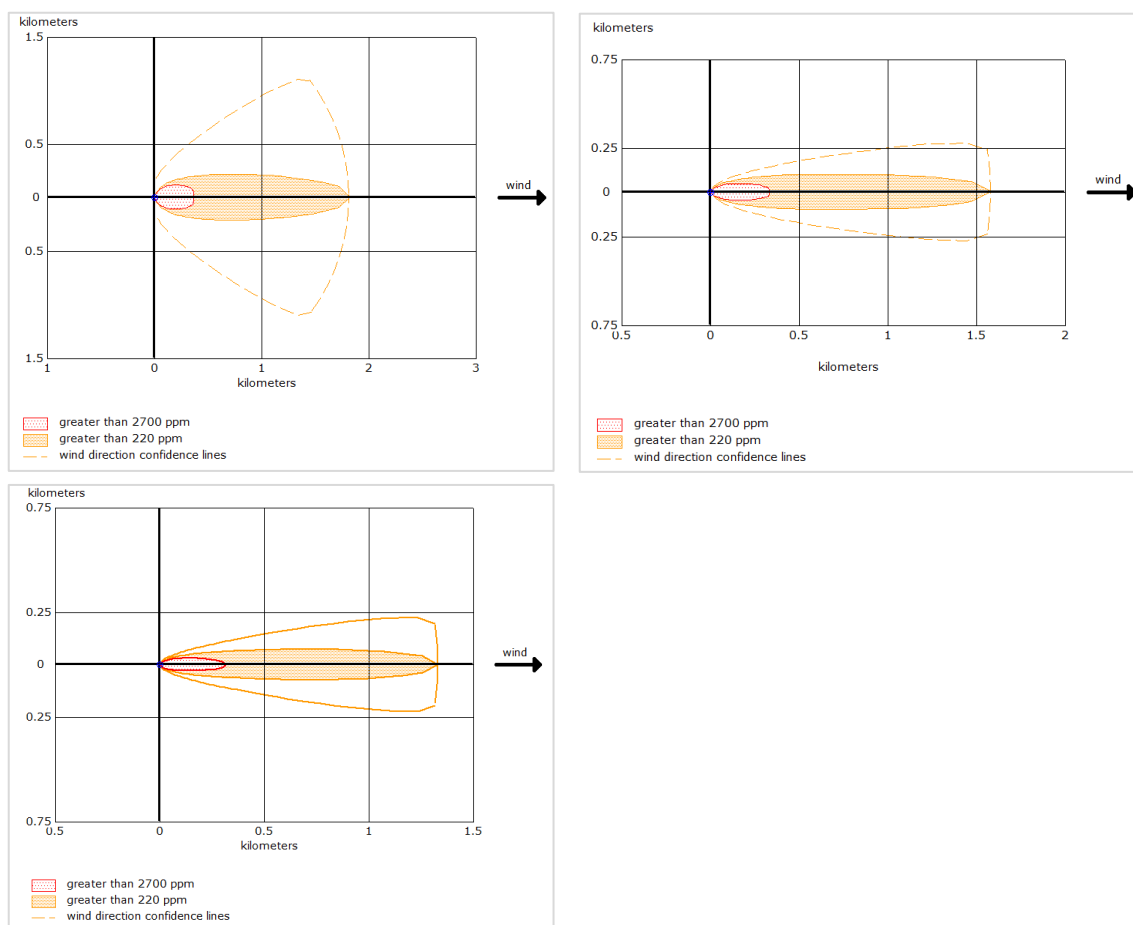
I Tabell 17 visas beräknade värden avseende litet läckage med vattenfri ammoniak. Det genomsnittliga värdet avseende både temperaturen 0 och 15 grader används i individriskberäkningen. Valt konsekvensområde markeras med fet text i tabellen. Beräknade gasmoln kan ses i Figur 41 och Figur 42.



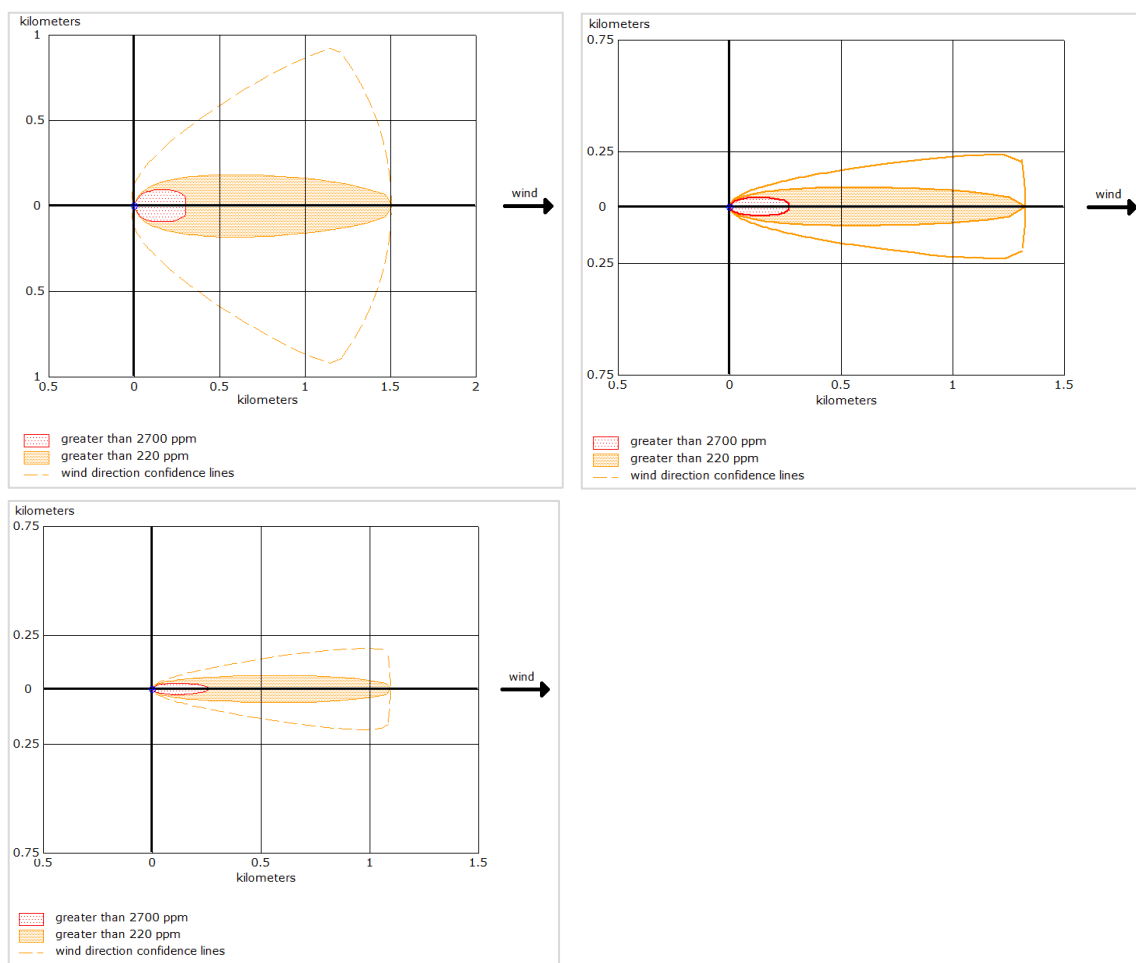
Tabell 17. Indata och resultat av simulering för stort läckage av ammoniak.⁸

Händelse	Stort läckage					
Källstorlek/Källflöde	Hål med 3 cm diameter					
Utsläppshöjd	0,25 m					
Väder	Halvklart			Halvklart		
Temperatur [°C]	15	15	15	0	0	0
Vindhastighet [m/s]	2	4	6	2	4	6
Stabilitetsklass	C	D	D	C	D	D
Utsläppets varaktighet	60 min					
Utsläppt mängd	23 816 kg			23 667 kg		
Gasspridningsmodell	Tunggasmodell					
	Område inom vilket koncentrationen för följande gränsvärden överskrids (b x l)					
AEGL-3 (10 min)	230x369	100x329	64x316	200x302	80x270	50x260
Genomsnitt, oberoende av temp	2 m/s		4 m/s		6 m/s	
	Område inom vilket koncentrationen för AEGL-3 (10 min) överskrids (b x l)					
	57x288		90x300		215x336	

⁸ Fetmarkerade värden används som dimensionerande i beräkningarna av konsekvenser.



Figur 41. Gasmoln vid utsläpp via hål med 3 centimeters diameter vid 2 m/s (vänster bild), 4 m/s (höger) och 6 m/s (nedre bild). Temperatur 15°C [31]



Figur 42. Gasmoln vid utsläpp via hål med 3 centimeters diameter vid 2 m/s (vänster bild), 4 m/s (höger) och 6 m/s (nedre bild). Temperatur 0°C [31]



B.4.3 Sammanställning

I Tabell 18 redovisas en sammanställning av individriskberäkningen kopplat till de olika scenarierna för klass 2.3.

Konsekvensberäkningarna tar inte hänsyn till skyddande hinder i terrängen.

Själva utbredningen av gasmolnet bedöms påverkas av bergspartiet. Att rent kvantitativt bedöma den riskreducerande effekten av bergspartiet mot spridning av tung giftig gas är dock mycket svårt. Det antas grovt att utbredningen av gasmoln vid beräknade scenarier reduceras med en faktor tre om det sprids i riktning mot bergspartiet och förskolan.

Tabell 18. Sammanställning av individriskberäkningar utomhus med giftig gas.

Scenario	Grund-frekvens [per år]	Slut-frekvens [per år]	Omskalnings-faktor	Konsekvens-avstånd, längd [m]
				Utan åtgärd
Litet läckage, hög vind	2,17E-07	8,24E-09	0,038	33
Litet läckage, normal vind	2,48E-07	1,39E-08	0,056	34
Litet läckage, låg vind	1,55E-07	1,83E-08	0,118	36
Stort läckage, hög vind	2,17E-07	2,47E-08	0,114	96
Stort läckage, normal vind	2,48E-07	4,46E-08	0,18	100
Stort läckage, låg vind	1,55E-07	6,66E-08	0,43	112



B.5 Olycka med brandfarlig vätska (klass 3)

Strålningen från pölen beräknas enligt beräkningsmodell från FOA [32]. Data har valts för bensen detta då bensen har högst energivärde och förbränningshastighet av de olika typer av bränsle som kan vara aktuella vilket gör beräkningen konservativ.

Konsekvenserna för två storlekar på utsläpp som antänds har beräknats. Dessa storlekar har antagits utifrån förutsättningarna angivna i Bilaga A. De pölstorlekar som beräknas är 100 m² och 20 m².

Följande data gäller för bensen [32]:

Förbränningshastighet $b' = 0,048 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$

Energivärde $h_c = 43,7 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

En cirkulär pöl antas vilket är ett konservativt antagande då en utsträckt pöl (rännil) förväntas ge lägre flammhöjd. Flammans geometri approximeras som en cylinder där flammans diameter, d_f är lika stor som pölens diameter, d_p . Flammans höjd, h_f , kan beräknas enligt:

$$h_f = d_p \cdot 42 \cdot \left(\frac{b'}{\rho_a \sqrt{g \cdot d_p}} \right)^{0,61} \quad \text{formel C1}$$

där $b' =$ förbränningshastigheten i $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{s}}$ enligt ovan,

$\rho_a =$ luftens densitet = $1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$g =$ tyngdaccelerationen = $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Denna formel gäller under förutsättning att $0,8 < h_f / d_f < 4$.

Flamman fluktuerar naturligt och den höjd som beräknas är den genomsnittliga flammhöjden under brandförloppet. Då pölen antas vara cirkulär och flamgeometrin är en cylinder är $d_f = d_p$ och beräknas utifrån grundläggande cirkelgeometri. Detta ger $d_f = d_p \approx 8,7 \text{ m}$ för en pölbrand om 20 m² och 15,2 m för en pölbrand om 100 m²

Strålningen per ytenhet från flamman beräknas enligt:

$$P = \frac{0,35 \cdot b' \cdot h_c}{1 + 4h_f / d_f} \quad \text{formel C2}$$

där $h_c =$ energivärdet i $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$ enligt ovan. Faktorn 0,35 utgör den andel av den totala energin som omsätts till strålningsvärme.

Vidare beräknas strålningen från en ideal svartkropp bli enligt Stefan-Boltzmanns lag:

$$P_s = \sigma \cdot T^4 \quad \text{formel C3}$$

där $P_s =$ utstrålad effekt $[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}]$,

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} [\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}^4}]$ (Stefan-Boltzmanns konstant) och

$T =$ temperaturen $[\text{K}]$.



Approximationen med strålning från svartkropp ger konservativa värden på värmestrålning. Vid större pölbränder antas strålningen normalt ha sitt ursprung i flammans mitt och här ligger emissionsfaktorn (ϵ) nära 1 varför denna approximation anses rimlig. Närmare flammans mantelyta minskar emissiviteten snabbt. En beräkning baserad på att all strålning kommer från flammans mitt är därför konservativt.

Värmestrålningen från en yta 1 som faller in mot en yta 2 på ett visst avstånd kan då beräknas som:

$$P_{12} = P_1 \cdot \tau_a \cdot F_{12} \quad \text{formel C4}$$

Där P_{12} = infallande strålning från 1 till 2 [$\frac{W}{m^2}$],

P_1 = strålningen från yta 1 [$\frac{W}{m^2}$]

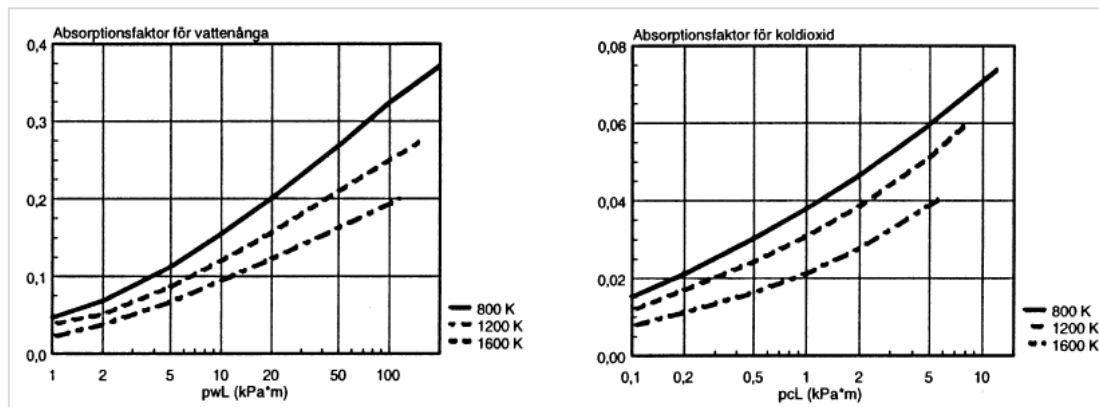
F_{12} = vinkelkoefficienten för 1 mot 2.

Den atmosfäriska transmissionsförmågan, τ_a , har att göra med det faktum att den utsända strålningen delvis absorberas av luften mellan strålkällan och mottagaren. Den atmosfäriska transmissionsförmågan kan skrivas enligt:

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c \quad \text{formel C5}$$

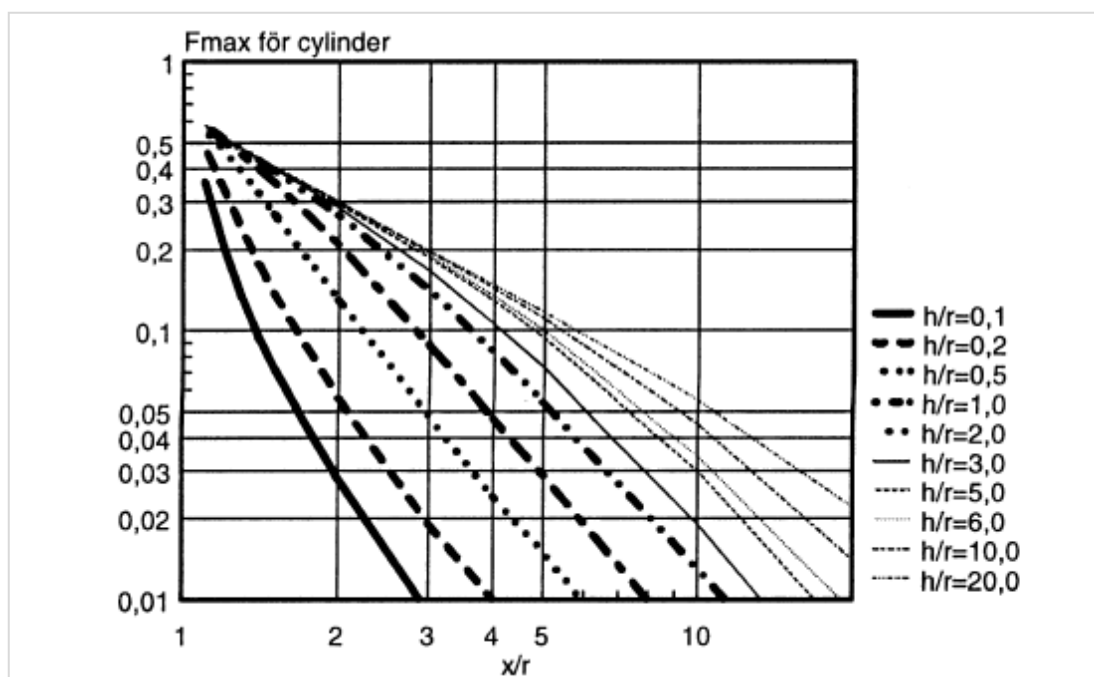
Där α_w = absorptionsfaktorn för vattenånga och α_c = absorptionsfaktorn för koldioxid.

Båda faktorerna beror på respektive ämnes partialtryck, avståndet som strålningen färdas från den strålände ytan till mottagaren, strålningens temperatur och omgivningens temperatur. α_w och α_c bestäms grafiskt utifrån flamtemperaturen och partialtryck från Figur 43.



Figur 43. Absorptionsfaktor för vattenånga och koldioxid som funktion av partialtryck (p_w resp. p_c), strålväg (L) och flamtemperatur. [32].

Vinkelkoefficienten (F) definieras som den andelen av strålningen från en yta i alla riktningar som träffar en annan yta (vid fullständig transmissionsförmåga). Den är en rent geometrisk faktor som kan bestämmas för varje ytkonfiguration. Vinkelkoefficienten bestäms grafiskt för en cylinder från Figur 44.



Figur 44. Maximal vinkelkoefficient vid strålning från en cylinder. [32]

Beräkningar utförs vidare utifrån ovanstående förutsättningar för de två olika pölareorna.

Flamhöjd enligt formel C1, utfallande strålning enligt formel C2 och temperatur enligt B3, resultaten samlas i Tabell 19.

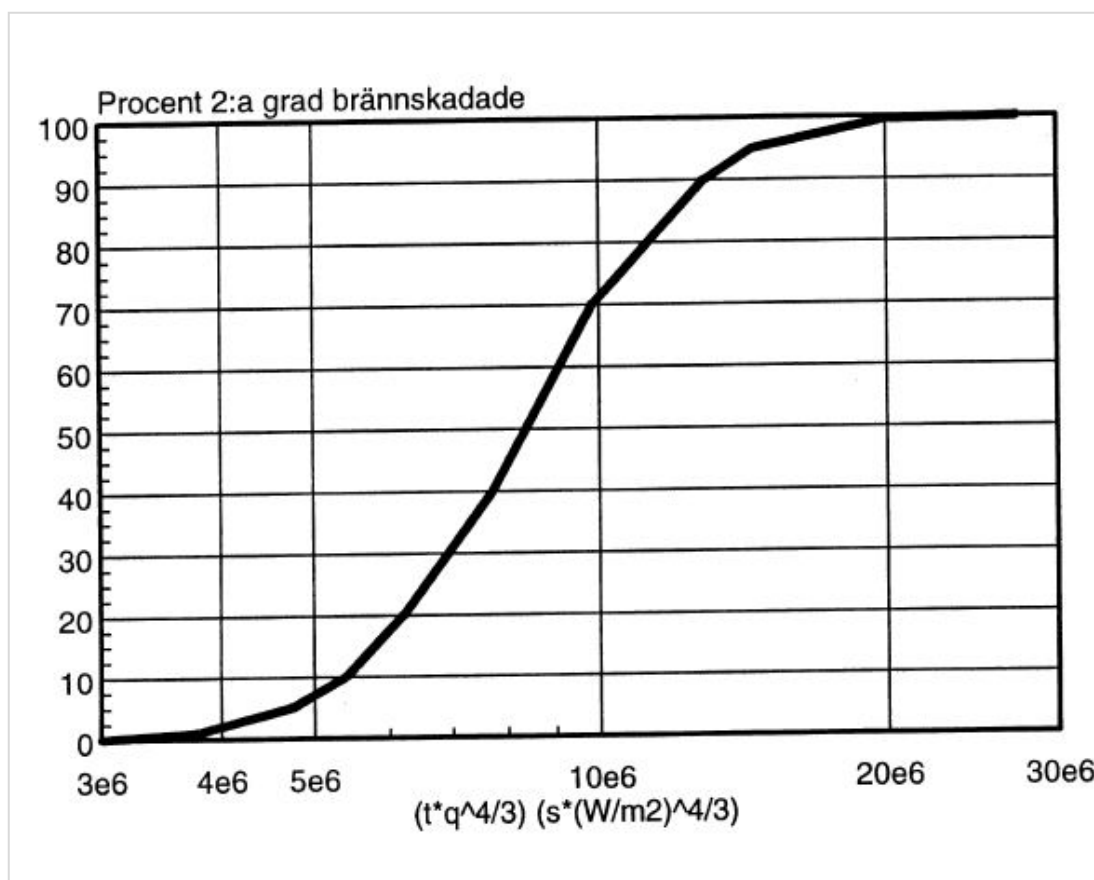
Tabell 19. Initial egenskapsberäkning för pölbrand

Pölbrandsarea	Flamhöjd (m)	Utfallande strålning (kW/m ²)	Temperatur på den strålande ytan/flammans mitt (K)
20 m ²	9	92	1130
100 m ²	15	114	1191

Mättad vattenångas tryck vid 100 % luftfuktighet och 20 °C är $p_w = 2340$ Pa. Luftfuktighet på 50 % antas vilket ger $p_w = 1170$ Pa. Absorptionsfaktorer och transmissionsförmåga bestäms för detta värde i kombination med flammans temperatur. Utifrån höjden på flammorna, pölens radie och avståndet till mottagaren bestäms ett antal olika vinkelkoefficienter. Värmestrålning på olika avstånd beräknas sedan enligt formel C4.

Skadenivån bestäms förutom av strålningsnivån även av strålningens varaktighet. För beräkning av skador på människor redovisas i Tabell 20 nedan en varaktighet på 10 s som en rimlig tid tills man satt sig i säkerhet.

Sambandet mellan strålningens varaktighet och skador på människan beskrivs av probitfunktionen $t \cdot P_3^4$. Om denna tidsvägda strålningsdos är över $3 \cdot 10^6$ finns en risk för 2:a gradens brännskador. Risken ökar sedan exponentiellt med ökad strålning. Sannolikheten för andra gradens brännskador utläses sedan ur Figur 45.



Figur 45. Sannolikhet för skada (2:a gradens brännskada) på människor (bar hud) av värmestrålning från kolvätebränder som funktion av strålningsnivå (q) och varaktighet (s) [32]

Den andel av människokroppen som är oskyddad vid normalt påklädda personer (huvud, nacke, händer och underarmar) är ca 20 %. I de fall då 20 % av kroppen får brännskador antas att ca 15 % av befolkningen med en jämn åldersfördelning dör av skadorna [32]. Således beräknas först andelen som får andra gradens brännskador, därefter antas 15 % av dessa omkomma av skadorna.

För individriskkurvan används dock värdet vid 10 kW/m². Beräkningsresultat sammanställs i Tabell 20.

Tabell 20. Beräkningsresultat strålning och konsekvens av pölbrand. Beräkningar utan åtgärder

Brand [m ²]	L	α_w	α_c	τ_a	$F_{\max}$	P_{12}	Dos	2:a	Andel omkomna
20	0*	0	0	1	1	92,0	41,8	100	15
	2,5	0,07	0,015	0,915	0,3	25,4	7,5	35	5
	7,5	0,11	0,018	0,872	0,1	8	1,6	0	0
	12,5	0,15	0,023	0,827	0,05	3,8	0,6	0	0
100	0*	0,10	0,01	0,89	1,00	101	47,0	100	100
	5	0,13	0,01	0,86	0,35	34,3	11,1	77	12
	10	0,15	0,02	0,83	0,21	19,8	5,35	10	1,5
	15	0,18	0,03	0,79	0,15	13,5	3,21	1	0,2
L, avstånd från flamfront, *är precis invid/inuti flamfronten [m] $\alpha_w, \alpha_c, \tau_a$, är luftens absorptionsfaktor $F_{\max}$, synfaktor									



	P_{12} Infallande strålning (kW/m ²) $Dos, t \cdot P^{4/3} \times 10^{-6}$ (s(W/m ²) ^{4/3}) 2:a, 2:a gradens brännskada i procent [%] Andel omkomna i procent [%]
--	--

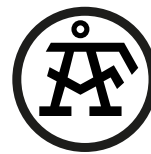
Sammanfattningsvis kan följande konstateras att det bortom 20 m från flamfronten (vägkant) inte föreligger risk för dödsfall vid händelse av pölbrand med 100 m² stor pöl. Redan vid 15 m understiger strålningen dessutom 15 kW/m² för den största pölbranden, vilket är tillåtet gränsvärde enligt förenklad dimensionering i Boverkets rekommendationer (BBRAD).

I Tabell 21 redovisas en sammanställning av individriskberäkningen kopplat till de olika scenarierna för klass 3.

Bergspartiet bedöms reducera effekten av all värmestrålning från och med avståndet 10 meter från vägkant.

Tabell 21. Sammanställning av individriskberäkningar utomhus med brandfarlig vätska.

Scenario	Grund-frekvens [per år]	Slut-frekvens [per år]	Omskalnings-faktor	Konsekvens-avstånd, längd [m]
				Utan åtgärd
Pölbrand, 20 m ²	1,18E-05	3,31E-07	0,028	7
Pölbrand, 100 m ²	5,90E-06	2,36E-07	0,04	10



B.6 Olycka med oxiderande ämnen (klass 5.1)

De två konsekvenserna av olycka med klass 5.1 är pölbrand och explosion. Tillgången på organiskt material som ämnet kan reagera med antas vara begränsat till mängden drivmedel i fordonet, vanligen inte mer än 400 kg.

B.6.1 Pölbrand

Pölbrand antas ge samma konsekvenser som en pölbrand från farligt gods klass 3 med area 100 m². För konsekvensberäkning se konsekvensberäkning för pölbrand ovan.

B.6.2 Explosion

Explosionsförloppet approximeras till detsamma för en mindre explosion av farligt gods klass 1. För konsekvensberäkning se konsekvensberäkning för explosion ovan.

B.6.3 Sammanställning

I Tabell 22 redovisas en sammanställning av individriskberäkningen kopplat till de olika scenarierna för klass 5.1.

Bergspartiet bedöms reducera effekten av all värmestrålning från och med avståndet 10 meter från vägkant.

Tabell 22. Sammanställning av individriskberäkningar utomhus med oxiderande ämnen.

Scenario	Grund-frekvens [per år]	Slut-frekvens [per år]	Omskalnings-faktor	Konsekvens-avstånd, längd [m]
				Utan åtgärd
Pölbrand	7,09E-07	2,83E-08	0,04	10
Explosion	9,21E-08	2,95E-09	0,032	8