

PM Risk

Fyra spår Uppsala

Söder Bergsbrunna – Uppsala Centralstation
Uppsala kommun, Uppsala län



Trafikverket

Postadress: Trafikverkets Ärendemottagning Fyra spår Uppsala, Box 810, 781 28 Borlänge

E-post: investeringsprojekt@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: PM Risk

Författare: Sweco

Dokumentnummer: FSUK003-03-025-0000-56_67-0005

Dokumentdatum: 2025-04-16

Ärendenummer: 2020/21139

Åtgärdsnummer: 8095

Uppdragsnummer: 168592

Version i TRV dokumenthanteringssystem (PDBi): _.11

Kontaktperson: Trafikverket, projektledare Malin Blåudd Lingh

Foto: Sweco, om inget annat anges

Illustration: Sweco, om inget annat anges

Innehåll

1	INLEDNING	5
1.1.	SYFTE OCH MÅL	5
1.2.	AVGRÄNSNINGAR	5
1.3.	BEGREPP OCH DEFINITIONER	6
2	BESKRIVNING AV JÄRNVÄGSANLÄGGNINGEN	8
2.1.	BESKRIVNING AV ALTERNATIV OCH SKEDEN	8
2.2.	TRAFIKFLÖDEN	8
2.3.	TRANSPORT AV FARLIGT GODS	8
3	BESKRIVNING AV OMGIVNINGEN.....	11
3.1.	BEFOLKNING.....	11
3.2.	TOPOGRAFI	11
4	RISKIDENTIFIERING	12
4.1.	URSPÅRNING	12
4.2.	TRANSPORTER AV FARLIGT GODS.....	12
4.2.1.	<i>Transportklasser (RID).....</i>	<i>12</i>
4.2.2.	<i>Val av olycksscenarier</i>	<i>15</i>
5	RISKUPPSKATTNING OCH RISKVÄRDERING	17
5.1.	VÄRDERINGSKRITERIER	17
5.2.	PROJEKTSPECIFIKA DATA FÖR BERÄKNINGAR AV RISKNIVÅER	19
5.2.1.	<i>Ursparning av vagn med farligt gods.....</i>	<i>19</i>
5.2.2.	<i>Frekvens för olycksscenarier för järnvägstrafik</i>	<i>19</i>
5.2.3.	<i>Befolkning</i>	<i>21</i>
5.3.	RISKNIVÅER FÖR OMGIVNINGEN UNDER BYGGSKEDET	21
5.4.	RISKNIVÅER FÖR OMGIVNINGEN UNDER DRIFTSKEDET	21
5.5.	JÄMFÖRELSE MELLAN NULÄGE OCH UTBYGGNADSLTERNATIV	25
6	SKYDDSÅTGÄRDER	28
6.1.	MÖJLIGA ÅTGÄRDER.....	28
6.1.1.	<i>Skyddsavstånd</i>	<i>28</i>
6.1.2.	<i>Skydd mot ursparning</i>	<i>28</i>
6.1.3.	<i>Skydd mot olyckor med farligt gods.....</i>	<i>28</i>
6.2.	PÅVERKAN PÅ OMGIVNINGEN.....	29
6.3.	EFFEKT AV SKYDDSÅTGÄRDER	30
6.3.1.	<i>Centrala Uppsala</i>	<i>30</i>
6.3.2.	<i>Boländerna.....</i>	<i>30</i>
6.3.3.	<i>Bergsbrunna.....</i>	<i>32</i>
6.4.	FÖRESLAGNA ÅTGÄRDER FÖR FASTIGHETER INOM OMRÅDE MED OACCEPTABEL OCH FÖRHÖJD RISK	33
6.4.1.	<i>Centrala Uppsala</i>	<i>33</i>
6.4.2.	<i>Boländerna.....</i>	<i>34</i>
6.4.3.	<i>Bergsbrunna.....</i>	<i>37</i>
6.5.	DETALJERADE GENOMGÅNG AV FASTIGHETER INOM OMRÅDE MED FÖRHÖJD RISK.....	38
7	DISKUSSION	46
8	SLUTSATSER	47
8.1.	BYGGSKEDET	47
8.2.	DRIFTSKEDET	47

9	REFERENSER	48
	BILAGA TILL PM RISK	49
A.	FREKVENSER FÖR OLYCKA MED FARLIGT GODS.....	50
B.	KONSEKVENSER AV OLYCKOR MED FARLIGT GODS	54
C.	FREKVENSER OCH KONSEKVENSER FÖR MEKANISK SKADA VID URSPÅRNING	67
D.	RISKNIVÅER.....	68
E.	DISKUSSION OM MODELL OCH INDATA	71
F.	SÄKERHETSHÖJANDE ÅTGÄRDER	73
G.	OMRÅDEN MED OACCEPTABEL OCH FÖRHÖJD RISKNIVÅ	75

1 Inledning

Området mellan Stockholm och Uppsala kännetecknas av en hög befolkningstillväxt och en ökad efterfrågan på hållbara resor. Samtidigt är trafiken på sträckan, som är en del av Ostkustbanan, så intensiv att kapaciteten slår i taket vid rusningstid. Därför ska Ostkustbanan mellan länsgränsen mot Stockholm och Uppsala Centralstation byggas ut i syfte att öka tillgängligheten, kapaciteten och robustheten.

Projekt fyra spår Uppsala har delats upp i två delsträckor; en från länsgränsen mellan Stockholm och Uppsala till söder om Bergsbrunna och en från söder om Bergsbrunna till Uppsala Centralstation. För respektive delsträcka kommer det att ta fram varsin järnvägsplan.

Detta dokument tillhör delsträckan mellan söder Bergsbrunna och Uppsala Centralstation. Planförslaget innebär att sträckan byggs ut från två till fyra spår, att Uppsala Centralstation byggs om samt en ny station byggs söder om Bergsbrunna, kallad Uppsala Södra. Plankorsningar ersätts med planskilda passager och nya tillkommer. Även en passage för vilt byggs (viltport).

Promemorian utgör ett underlag till den miljökonsekvensbeskrivning (MKB) som upprättas i samband med framtagande av järnvägsplanen för delsträckan. I detta inledande kapitel ges en kortfattad beskrivning av omfattning, syfte och mål för det uppdrag som Sweco har fått av Trafikverket avseende riskhantering i driftskedet. För uppgifter av generell karaktär för projektet hänvisas till järnvägsplan med tillhörande MKB.

1.1. Syfte och mål

Den riskbedömningen som redovisas i PM Risk syftar till att belysa vilka miljöeffekter och miljökonsekvenser som plötsligt inträffade händelser (olyckor) under bygg- och driftskedet kan skapa för människors hälsa längs den aktuella järnvägssträckningen.

Resultatet från riskbedömningen utgör ett underlag till järnvägsplan och MKB och ligger till grund för förslag till skyddsåtgärder. Därigenom ingår riskbedömningen som en del i det beslutsunderlag som ska möjliggöra en samlad bedömning av den planerade verksamhetens direkta och indirekta effekter på människors hälsa.

Riskbedömningen ska tydliggöra vilken riskexponering som föreligger för människor i järnvägsanläggningens närhet. I de fall värdering gentemot vedertagna riskvärderingskriterier visar på ej tolerabla risknivåer är målet att redovisa skyddsåtgärder för att järnvägstrafiken ska kunna bedrivas med en tolerabel risknivå.

1.2. Avgränsningar

Riskbedömningen avgränsas till att hantera plötsligt inträffade händelser (olyckor) som bedöms kunna resultera i en betydande påverkan på personer i järnvägsanläggningens närhet (tredje man). Bedömningen för driftskedet utgår från föreslaget utbyggnadsalternativ vid horisontår 2040, vilket jämförs mot nollalternativ samt nuläge.

De risker som beaktas utgörs i första hand av s.k. tekniska olycksrisker, vilket avser olyckor kopplade till verksamheter och transportsystem och som kan påverka tredje man. Således tas ingen hänsyn till olycksrisker förknippade med sabotage, naturolyckor eller liknande.

Hälsopåverkan orsakad av långvarig exponering för luftföroreningar, buller eller liknande beaktas inte.

Risker kopplat till byggskedet och arbetsmiljö beaktas inte.

Risker kopplat till höga flöden och skyfall beskrivs i PM Avvattning.

Risker kopplat till föroreningar av yt- och grundvatten beskrivs i Riskanalys yt- och grundvatten.

1.3. Begrepp och definitioner

I samband med hantering av risker används en rad olika begrepp (se beskrivningar nedan) vilka relaterar till den så kallade riskhanteringsprocessen som utgör ett systematiskt och kontinuerligt arbete för att kontrollera eller minska olycksrisker. Hanteringen kan delas in i tre delar: riskanalys, riskvärdering och riskreduktion. Dessa behandlar allt från identifiering av riskkällor och potentiella olyckshändelser till beslut om och genomförande av säkerhetshöjande åtgärder samt uppföljning av att besluten ger avsedd påverkan på riskbilden. Schematiskt kan processen beskrivas enligt Figur 1 där de två första delarna – riskanalys och riskvärdering omfattas av denna promemoria.



Figur 1. Metodik för riskhantering (Länsstyrelserna i Skåne län, Stockholms län, Västra Götalands län, 2006).

Risk avser påverkan som består av kombinationen av sannolikheten för en händelse och dess konsekvenser. Sannolikheten anger hur troligt det är att en viss händelse kommer att inträffa och kan beräknas om frekvensen (d.v.s. hur ofta något inträffar under en viss tidsperiod) är känd. Konsekvens anger möjlig negativ påverkan på människa. Risk är det som i en MKB innebär påverkan till följd av olyckshändelser.

Riskidentifiering utgör en delmängd av det som avses med riskanalys.

Riskidentifieringen omfattar en inventering av riskobjekt samt en identifiering av scenarier som kan medföra oönskade konsekvenser för det som definierats som skyddsvärt, d.v.s. det som påverkas.

Riskberäkning ingår också som en del i en riskanalys och utgör i detta fall en kvantitativ beräkning eller en kvalitativ uppskattning av sannolikhet och konsekvens för respektive scenario. Den risknivå som beräknas motsvarar det som i MKB-sammanhang ofta benämns som miljöeffekt, d.v.s. omfattning av identifierad påverkan.

Riskvärdering ingår tillsammans med riskanalysen i det som kallas riskbedömning. Riskvärderingen går ut på att avgöra om beräknade risker kan tolereras, om det finns behov av säkerhetshöjande åtgärder samt att verifiera olika alternativ. Utfallet av en riskvärdering är att likställa med den miljökonsekvens som plötsligt inträffade olyckor kan medföra för respektive skyddsvärt objekt som beaktats.

Riskreduktion/kontroll utgör tillsammans med riskbedömningen det som avses med riskhantering. Riskreduktion/kontroll innebär att utifrån riskvärderingen fatta beslut kring säkerhetshöjande åtgärder och kontrollera att de genomförs och följs upp. Dessutom ingår att bevaka eventuella förändringar i systemet som kan föranleda behov av ny riskanalys. Riskreduktion/kontroll motsvarar de krav på uppföljning som ställs i MKB-sammanhang. Detta utgör, precis som övriga delar av riskhanteringsprocessen, en metodik för att i MKB-processen identifiera, bedöma, värdera och följa upp de miljökonsekvenser som genereras av olyckshändelser.

2 Beskrivning av järnvägsanläggningen

Aktuell utbyggnad sträcker sig från Uppsala Centralstation till söder om Bergsbrunna. Sträckan har en längd på 9,5 kilometer och berör Uppsala kommun. För en beskrivning av anläggningen hänvisas till inledningen i kapitel 1 och därutöver till miljökonsekvensbeskrivningen.

2.1. Beskrivning av alternativ och skeden

Nuläget utgörs av dagens järnvägsanläggning och nuvarande trafikflöden. Nollalternativ är den järnvägsanläggning som skulle råda i framtiden om utbyggnaden inte genomförs.

Utbyggnadsalternativet innebär en utbyggnad av Uppsala centralstation med två nya södergående spår (spår 9 och 10) i östra delen av stationsområdet och två nya spår väster om befintliga spår, ett södergående (spår 0) och ett norrgående (spår 100). Ytterligare två spår anläggs från godsbangården till plangränsen i söder och en ny station Uppsala Södra uppförs vid Bergsbrunna. Godståg, pendeltåg och regionalpendeltåg framförs på de västra spåren, medan fjärrtåg, regionaltåg och direkttåg mot Stockholm framförs på de östra spåren.

2.2. Trafikflöden

Vid beräkningar av sannolikhet för och konsekvens av en olycka utgör antal och typ av tågtransporter per år grundläggande ingångsvärden. Samtliga tågtyper är aktuella att beakta vid uppskattning av exempelvis urspårningsolyckor, medan godståg med farligt gods även är av intresse för att bedöma olyckor med efterföljande brand, explosion eller utsläpp av giftiga ämnen. I Tabell 1 visas antal passagerartåg och godståg per dygn för de tre utredningsalternativen.

Tabell 1. Antal tåg per dygn (ÅDT) mellan genom Uppsala Centralstation och Bergsbrunna för de olika utredningsalternativen.

Utredningsalternativ	Passagerartåg	Godståg	Totalt antal tåg
Nuläge	214,6	8,8	223,4
Nollalternativ	221,7	8,3	230
Utbyggnadsalternativ	247,2	8,3	255,5

Utbyggnadsalternativet utgår från trafikprognos BAS 2040, medan nollalternativet utgår från en basprognos för 2040 som inte innehåller de åtgärder som det planeras för i Fyra spår Uppsala.

2.3. Transport av farligt gods

Farligt gods utgörs av flera olika ämnen vars fysikaliska och kemiska egenskaper varierar. I regelverket RID¹ delas farligt gods in i klasser beroende på vilka farliga egenskaper som ämnet har. Dessa beskrivs kortfattat nedan. Se avsnitt 4.2 för mer information.

- RID-klass 1 Explosiva ämnen och föremål
- RID-klass 2 Gaser

¹ RID är europeiska föreskrifter för transport av farligt gods på järnväg. I Sverige används den nationella anpassningen RID-S (MSBFS 2022:4).

- RID-klass 3 Brandfarliga vätskor
- RID-klass 4 Brandfarliga fasta ämnen
- RID-klass 5 Oxiderande ämnen och organiska peroxider
- RID-klass 6 Giftiga ämnen och smittförande ämnen
- RID-klass 7 Radioaktiva ämnen
- RID-klass 8 Frätande ämnen
- RID-klass 9 Övriga farliga ämnen

Specifik statistik om transport av farligt gods på en viss sträcka är vanligtvis svår att tillgå. Nationell statistik från förvaltningsmyndigheten Trafikanalys under perioden 2018-2021 visar att transporter med farligt gods utgjorde cirka 5 % av antalet godstransporter. För järnvägstransporter förändrades metoderna för inhämtning av statistik år 2018 och statistiken efter 2018 är därmed inte jämförbar med tidigare år. Statistiken baseras på registerdata samt svar på enkäter som skickas ut till företag och myndigheter i järnvägssektorn. Fördelningen av farligt gods enligt nationella värden (genomsnitt för åren 2018-2021) redovisas i Tabell 2. Notera att det redovisas inga transporter av RID-klass 1 i underlaget. För att ta hänsyn till sådana transporter och de olyckor som kan inträffa antas dessa ämnen utgöra 0,5 % av den mängd farligt gods som transporteras på järnväg.

Tabell 2. Nationella genomsnitt av farligt gods i olika huvudklasser för åren 2018-2021 (Trafikanalys).

RID-klass	Andel
1	0,5 %
2	33,6 %
3	27,9 %
4	2,3 %
5	14,3 %
6	1,7 %
7	-
8	18,6 %
9	1,0 %
Andel farligt gods	5,0 %

Transport av farligt gods på Ostkustbanan avviker från nationella värden då det transporteras flygbränsle från Gävle hamn till Brista. Enligt information från Gävle Hamn transporteras cirka 14 tågset med flygbränsle per vecka genom Uppsala (Trafikverket, 2020; Gävle Hamn, u.d.). Ett tåg med flygbränsle har 17 vagnar, vilket ger ett tillskott på cirka 12 400 vagnar med farligt gods i RID-klass 3.

Ett godståg har i genomsnitt 25 vagnar, vilket innebär att det för nuläget går det totalt 80 300 vagnar med gods genom Uppsala per år. Nollalternativet har ett årligt antal på 75 740 vagnar och utbyggnadsalternativet 164 250 vagnar. Av dessa utgör således 12 400 vagnar flygbränsle. Av resterande vagnar antas 5 % medföra farligt gods med en uppdelning i huvudklasser enligt Tabell 2.

För att kunna ta fram en specifik andel farligt gods samt en specifik uppdelning i olika huvudklasser som gäller för Ostkustbanan förbi Uppsala är det nödvändigt att vikta flygbränsletransporterna med de farligt gods-transporter som sker enligt nationellt genomsnitt. Viktningen redovisas i Tabell 3 för nuläget där den totala andelen farligt gods blir 19,6 %. Motsvarande viktning görs för nollalternativet och utbyggnadsalternativet. Resultatet för samtliga utredningsalternativ redovisas i Tabell 4.

Tabell 3. Specifik bedömning av andel farligt gods i respektive huvudklass för nuläget med utgångspunkt i årligt antal vagnar med farligt gods.

RID-klass	Godståg	Flygbränsle	Totalt	Andel
1	17	-	17	0,1 %
2	1 140	-	1 140	7,2 %
3	1 002	12 376	13 378	84,8 %
4	78	-	78	0,5 %
5	445	-	445	2,8 %
6	53	-	53	0,3 %
7	-	-	-	-
8	641	-	641	4,1 %
9	20	-	20	0,1 %
Summa	3 396	12 376	15 772	100 %

Tabell 4. Andel farligt gods och uppdelning i respektive huvudklass för de tre utredningsalternativen.

RID-klass	Nuläge	Nollalternativ	Utbyggnadsalternativ
1	0,1 %	0,1 %	0,1 %
2	7,2 %	6,8 %	6,8 %
3	84,8 %	85,6 %	85,6 %
4	0,5 %	0,5 %	0,5 %
5	2,8 %	2,7 %	2,7 %
6	0,3 %	0,3 %	0,3 %
7	-	-	-
8	4,1 %	3,8 %	3,8 %
9	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Andel farligt gods	19,6 %	20,5 %	20,5 %

3 Beskrivning av omgivningen

3.1. Befolkning

Utredningsområdet sträcker sig från centrala Uppsala till söder om Bergsbrunna. Centrala Uppsala karakteriseras av en hög befolkningstäthet där boende blandas med dagtidsvistelse på arbetsplatser i stationsnära lägen. I Boländerna domineras markanvändningen av verksamheter som upptar stora ytor, vilket innebär en betydligt lägre befolkningstäthet än de centrala delarna. I Bergsbrunna domineras bebyggelsen av småhus, vilket också innebär en lägre befolkningstäthet än de centrala delarna.

Uppgifter om befolkning i anslutning till järnvägsanläggningen är av betydelse när samhällsriskerna ska uppskattas. Den befolkningsstatistik som Statistiska centralbyrån (SCB) årligen sammanställer som öppen data kan hämtas i en regional indelning kallad DeSO – Demografiska statistikområden där indelningen i tätorter och valdistrikt återspeglar indelningen. Med hjälp av statistiken görs följande antaganden gällande befolkningen i utredningsområdet.

- I centrala Uppsala uppgår befolkningen för närvarande till kring 9 000 personer/km². Centrala Uppsala har en hög exploateringsgrad och utvecklingen till prognosåret 2040 bedöms vara begränsad. Riskuppskattningen för centrala Uppsala görs för 20 000 personer/km² dagtid för att ta hänsyn till det stora antalet arbetsplatser och för 10 000 personer/km² på kvällen och under natten.
- I Boländerna är antalet boende få. För verksamheter kan befolkningstätheten konservativt antas vara 2 000 personer/km² på dagen och 1 000 personer/km² på kvällen och under natten.
- I Bergsbrunna bor cirka 300 personer på en yta av 0,5 km², vilket ger en befolkningstäthet på 600 personer/km². Riskuppskattningen görs för 1 000 personer/km² under hela dygnet. I Bergsbrunna finns bebyggelse enbart på västra sidan om järnvägsanläggningen.

I kapitel 7 diskuteras bland annat betydelsen av antagande gällande befolkningstäthet och den grad av konservatism som riskuppskattningen utgår från.

3.2. Topografi

Från Uppsala Centralstation fram till norra Bergsbrunna ligger järnvägssträckan i ett lågområde där inga stora höjdskillnader kan noteras. Från Bergsbrunna och resterande sträcka korsar järnvägssträckan ett högområde där marken sluttar från sydväst till nordöst.

4 Riskidentifiering

Riskidentifieringen innebär en systematisk genomgång av de riskkällor som förekommer i järnvägsanläggningen för att fastställa vilka olyckor som kan inträffa. Olyckstyper som kan medföra allvarlig personskada är exempelvis plankorsningsolyckor, urspårning, sammanstötning, brand, farligt gods-olycka eller obehörigt intrång. Då PM Risk fokuserar på risker som kan resultera i en betydande påverkan på tredjeman har urspårning och transporter av farligt gods valts ut för fortsatt analys.

4.1. Urspårning

I samband med en urspårning finns en risk att urspårade vagnar orsakar mekanisk skada på intilliggande byggnader. Konsekvenserna till följd av urspårning kan medföra att människor omkommer antingen utomhus eller i intilliggande byggnader. Risken för mekanisk påverkan på människor och byggnader är oberoende av om det rör sig om passagerartåg eller godståg. Dock spelar hastigheten roll i bedömningen hur stort område som påverkas av en urspårning. Uppsala Centralstation är i dag en station där nästan alla tåg stannar för resandeutbyte eller tåg vänder, vilket medför att i princip endast godståg kör genomgående trafikering. Godstågens största tillåtna hastighet mellan Uppsala Centralstation och Bergsbrunna är i nuläget 100-120 km/h och samma gäller även i framtiden. I utformningen av spårnanläggningen har kapacitet, flexibilitet och redundans utifrån trafikeringen varit prioriterat vilket har påverkat objektplaceringar och växelförbindelser. Spårutformningen har medfört att största tillåtna hastighet (STH) för passagerartåg från infartssignalen vid Kungsängsleden är 160 km/h och genom Uppsala centralstation är STH max 120 km/h. Från Kungsängsleden till söder om tätortsbebyggelsen vid Bergsbrunna är STH för passagerartågen 200 km/h och därifrån in mot Stockholm är STH 250 km/h.

Alla urspårningar leder inte till negativa konsekvenser för omgivningen. Konsekvenserna av en urspårning är direkt beroende av hur långt ifrån spåret som tåget hamnar. Vanligen hamnar urspårade vagnar i omedelbar anslutning till spåret, men det är också möjligt att de når avstånd upp till 25 meter från spåret. Risken för mekanisk påverkan på omgivningen vid händelse av urspårning bedöms endast föreligga på de sträckor där spåren ligger i nivå med omgivningen. På de sträckor där spåren går nedsänkta eller längs med en plattform bedöms risken för mekanisk påverkan på omgivningen vara försumbar på grund av nivåskillnaden mellan spår och omgivning.

4.2. Transporter av farligt gods

4.2.1. Transportklasser (RID)

Farligt gods utgörs av flera olika ämnen vars fysikaliska och kemiska egenskaper varierar och i RID² delas farligt gods in i klasser beroende på vilka farliga egenskaper som ämnet har, se Tabell 5.

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

Tabell 5. Kortfattad beskrivning av respektive RID-klass.

Klass	Kategori	Beskrivning	Konsekvenser
1	Explosiva ämnen och föremål	Sprängämnen, tändmedel, ammunition, etcetera.	Orsakar tryckpåverkan, brännskador och splitter. Stor mängd massexplösiva ämnen ger skadeområde med 100 meter radie (orsakat av tryckvåg). Personer kan omkomma både inomhus och utomhus. Övriga explosiva ämnen och mindre mängder massexplösiva ämnen ger enbart lokala konsekvenser.
2	Gaser	Inerta gaser, oxiderande gaser, brandfarliga gaser (gasol) och giftiga gaser (klor, svaveldioxid).	Förgiftning, brännskador och i vissa fall tryckpåverkan till följd av giftigt gasmoln, jetflamma, gasmolnsexplosion eller BLEVE. Konsekvensområden över hundratals meter. Omkomna både inomhus och utomhus.
3	Brandfarliga vätskor	Bensin och diesel (majoriteten av klass 3) transporteras i tankar som rymmer maximalt 50 ton.	Brännskador och rökskador till följd av pölbrand, värmestrålning eller giftig rök. Konsekvensområden för brännskador utbreder sig vanligtvis inte mer än omkring 20 meter från en pöl. Rök kan spridas över betydligt större område. Bildandet av vätskepöl beror på vägutformning, underlagsmaterial och diken etcetera.
4	Brandfarliga fasta ämnen	Kiseljärn (metallpulver), karbid och vit fosfor.	Brand, strålning och giftig rök. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till närområdet kring olyckan.
5	Oxiderande ämnen. Organiska peroxider	Natriumklorat, väte-peroxider, kaliumklorat, ammoniumnitrat, etcetera.	Tryckpåverkan och brännskador. Självantändning, explosionsartat brandförlopp vid kontakt med brännbart organiskt material. Konsekvensområden för tryckvågor uppemot 100 meter.
6	Giftiga ämnen. Smittförande ämnen	Arsenik-, bly- och kvicksilversalter, bekämpningsmedel, etcetera.	Giftigt utsläpp. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till kontakt med själva olycksfordonet eller dess omedelbara närhet.

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

I tabellen ovan kan fyra olika typer av konsekvenser härledas:

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

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

Utöver den uppdelningen i olika klasser som redovisas i avsnitt 2.3 krävs kännedom om fördelningar inom respektive klass för att kunna göra korrekta beräkningar av risken. Exempelvis omfattar klass 2 "gaser", vilka kan vara brandfarliga, giftiga eller sakna någon av dessa egenskaper. Likaså spelar det stor roll vilken av underklasserna 1.1-1.3 alternativt 1.4 som explosivämnena i klass 1 tillhör. Klass 1.4 kan inte ge upphov till skador som påverkar omgivningen.

I Tabell 6 redovisas uppdelningen inom respektive RID-klass. Uppdelningen har beräknats genom att vikta nationella data med uppgifter om flygbränsletransporter, vilka alla tillhör RID-klass 3 "Brandfarligt" (ej giftigt). På nationell nivå sker uppdelningen utifrån vissa antaganden. För RID-klass 1, 5 och 6 har underklasser hämtats från Länsstyrelsen i Skåne läns riktlinjer (Länsstyrelsen i Skåne län, Rapport "Skåne i utveckling" 2007:06, 2007) i brist på annan information. För klass 3 har det antagits förekomma ämnen med både brandfarliga och giftiga egenskaper i 5 % av fallen. När det gäller RID-klass 2 kommer uppgifterna från den kartläggning Statistiska centralbyrån genomförde på uppdrag åt MSB (tidigare Räddningsverket) under september 2006.

Tabell 6. Andel inom respektive underklass för de tre utredningsalternativen.

RID-klass	Underklass	Nuläge	Utbyggnadsalternativ
1	Explosivt	25 %	25 %
	Övrigt	75 %	75 %
2	Giftigt	10 %	10 %
	Brännbart	30 %	30 %
	Övrigt	60 %	60 %
3	Brandfarligt	99,6 %	99,2 %
	Giftigt	0,4 %	0,8 %
5	Explosivt	5 %	5 %
	Övrigt	95 %	95 %
6	Flytande	72 %	72 %
	Övrigt	28 %	28 %

4.2.2. Val av olycksscenarier

Vid transport av farligt gods utgör nedanstående olycksförlopp de dimensionerande olycksscenarierna som utgör underlag till beräkning av individ- och samhällsrisknivåer (se även Tabell 7):

- Detonation av massexplosiva ämnen som orsakar tryckskador och brännskador.
- Detonation till följd av blandning av oxiderande ämne med brandfarlig vätska.
- Utsläpp och antändning av kondenserad brännbar gas som kan ge upphov till BLEVE³, gasmolnsexplosion (UVCE⁴), gasmolnsbrand och jetflamma, vilket leder till brännskador och i vissa fall även tryckskador.
- Utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor vilka orsakar pölbrand med efterföljande brännskador.
- Utsläpp av kondenserad giftig gas som orsakar förgiftning vid inandning.
- Utsläpp av giftiga brandfarliga vätskor vilka orsakar förgiftning vid inandning när de driver i väg som gasmoln.
- Utsläpp av giftiga vätskor som orsakar förgiftning vid inandning när de driver i väg som gasmoln.
- Utsläpp av frätande vätskor vilka orsakar frätskador vid hudkontakt.

³ Boiling Liquid Expanding Vapour Cloud Explosion.

⁴ Unconfined Vapour Cloud Explosion.

Tabell 7. Sammanfattning av dimensionerande olycksscenarier vid transport av farligt gods

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

5 Riskuppskattning och riskvärdering

I avsnitt 2.2 visas att skillnaderna i trafikflöde är små mellan nuläge och nollalternativ. Dessa alternativ kommer grupperas i riskuppskattningen och data för nuläget bedöms vara representativa för dem båda.

5.1. Värderingskriterier

Bedömningen av aspekten olycksrisk kan inte göras likt andra miljöaspekter då det är svårt att översätta olycksriskbedömningens värderingskriterier till de storleksgraderingar (stör-måttlig-liten) som används för övriga miljöaspekter. För att beskriva graden av risk används i stället värderingskriterierna oacceptabel, förhöjd, eller acceptabel risknivå.

Länsstyrelsen i Uppsala län har tagit fram en vägledning om riskhantering vid transportleder för farligt gods (Länsstyrelsen i Uppsala län, 2023:10). Länsstyrelsen förespråkar ett bebyggelsefritt avstånd på 30 meter och definierar ett område inom 150 meter från en transportled för farligt gods som ett riskhanteringsområde. Inom riskhanteringsområdet ska alltid en riskbedömning göras för att klara ut om det krävs särskilda skyddsåtgärder. För att värdera risker anger Länsstyrelsen att de kriterier som Det Norske Veritas (DNV) tagit fram på uppdrag av MSB (Räddningsverket, 1997) och som omfattar såväl individ- som samhällsrisk. Det är även praxis att använda dessa kriterier i Trafikverkets projekt i riskbedömning av olyckors omgivningspåverkan. De anses därför vara lämpliga för att beskriva och utvärdera risk för tredje man för aktuell utbyggnad. Den utbyggda anläggningen ska klara kriterier som är i linje med DNV:s rekommendation.

Kriterierna från DNV är utformade så att det finns en övre och en undre gräns. Ligger risknivån under den lägre gränsen är risknivån att betrakta som acceptabel, medan en risknivå över den övre gränsen är att betrakta som oacceptabel. Området mellan den övre och undre gränsen kallas ALARP-området (As Low As Reasonably Practicable). De risker som hamnar inom detta område betraktas som förhöjda. De värderas dock som acceptabla om alla rimliga åtgärder är vidtagna, till exempel om kostnaden för åtgärden är rimlig i förhållande till den erhållna riskreduktionen. Nedan återges de kriterier för individrisk som används i bedömningen, se även Figur 2.

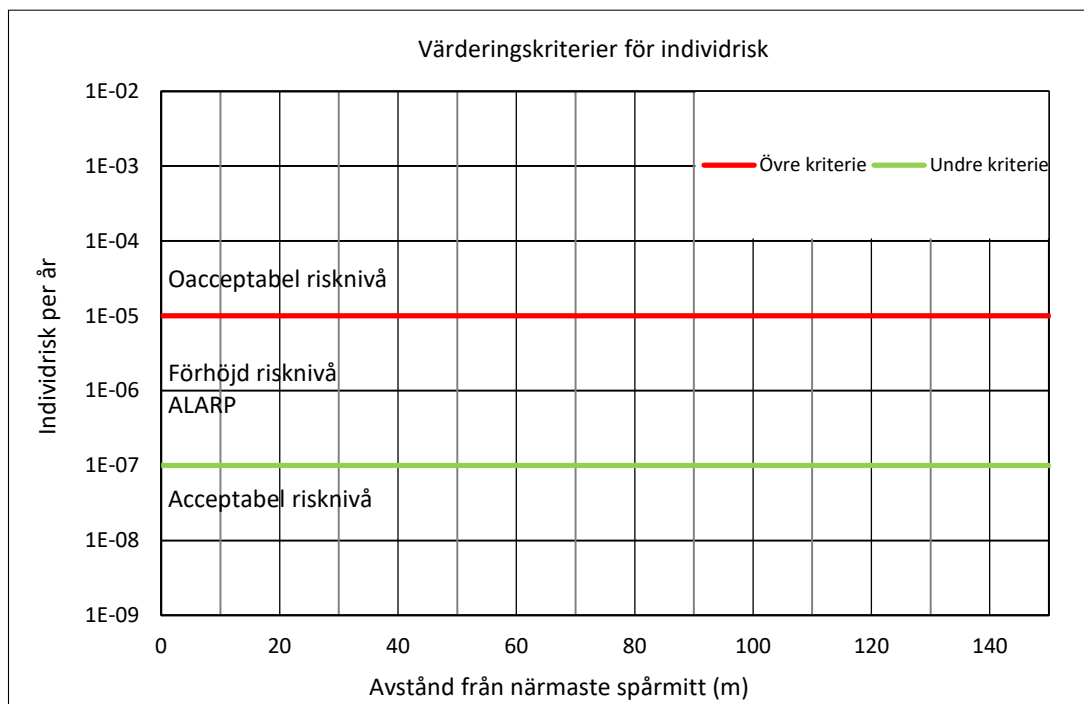
- Oacceptabel risknivå är en individrisk som är högre än 10^{-5} per år.
- Förhöjd risknivå är en individrisk mellan 10^{-5} till 10^{-7} per år.
- Acceptabel risknivå är en individrisk som är mindre än 10^{-7} per år.

För samhällsrisk föreslog DNV följande kriterier, se även Figur 3:

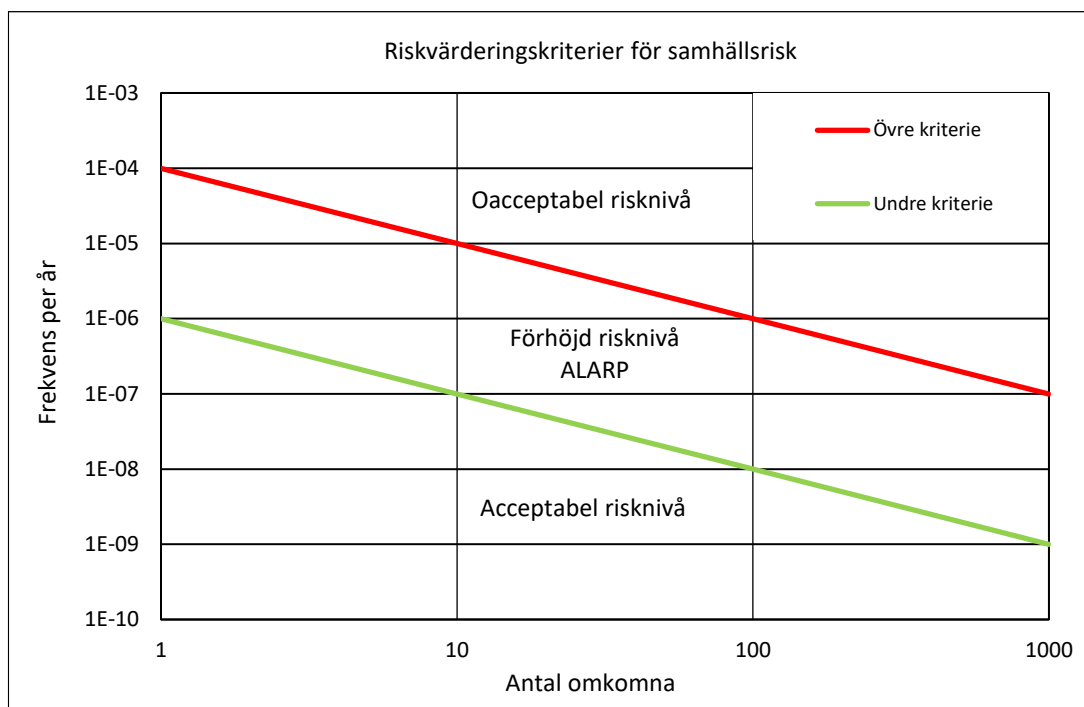
- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras: $F=10^{-4}$ per år för $N=1$ med lutning på F/N -kurva: -1.
- Övre gräns för område där risker kan kategoriseras som låga: $F=10^{-6}$ per år för $N=1$ med lutning på F/N -kurva: -1.

Samhällsrisk avser 1 km² med den tillkommande bebyggelsen placerad i mittpunkt och beräknas med frekvenser för 1 kilometer transportled.

Att en risk är beskrivs som "oacceptabel" ska tolkas så att den ligger till grund för att göra åtgärder i de fall att man bygger en ny järnvägsanläggning, men inte att det är en oacceptabel risk att bo invid järnvägen inom det avståndet idag.



Figur 2. Illustration av värderingskriterierna för individrisk.



Figur 3. Illustration av värderingskriterierna för samhällsrisk.

5.2. Projektspecifika data för beräkningar av risknivåer

5.2.1. Urspårning av vagn med farligt gods

För nuläge bedöms 19,6 % av godsvagnarna antas medföra farligt gods. För utbyggnadsalternativet är andelen farligt gods 20,5 %. I genomsnitt deltar 3,5 vagnar i en urspårning. Sannolikheten att en eller flera av dessa vagnar medför farligt gods beräknas nedan.

- Nuläge: $1 - (1 - 0,196)^{3,5} = 54 \%$.
- Utbyggnadsalternativ: $1 - (1 - 0,205)^{3,5} = 55 \%$.

Tabell 8. Indata för nuläge för beräkning av olycksfrekvens på järnväg.

Parameter	Nuläge Passagerartåg	Nuläge Godståg
Totalt antal tåg per år	78 475	3 212
Totalt antal vagnar per år	235 425	80 300
Totalt antal vagnaxlar per år	470 850	281 050
Hastighet, km/tim	200	130

Tabell 9. Indata för utbyggnadsalternativet för beräkning av olycksfrekvens på järnväg.

Parameter	Utbyggnadsalternativ Passagerartåg	Utbyggnadsalternativ Godståg
Totalt antal tåg per år	90 228	3 030
Totalt antal vagnar per år	270 684	75 738
Totalt antal vagnaxlar per år	541 368	265 081
Hastighet, km/tim	200	130

5.2.2. Frekvens för olycksscenarier för järnvägstrafik

I Tabell 10 och Tabell 11 sammanställs de olika olyckstyperna, intensitetsfaktorerna, exponering och frekvens per år enligt Fredéns modell (Fredén, 2001).

Tabell 10. Beräkning av olycksfrekvens för nuläget.

Parameter	Intensitetsfaktor	Exponering	Frekvens/år
Rälsbrott	$5,0 \cdot 10^{-11}$ / vagnaxelkm	751 024	$3,8 \cdot 10^{-5}$
Solkurva	$1,0 \cdot 10^{-5}$ / spårkm	1	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Spårlägesfel	$5,9 \cdot 10^{-10}$ / vagnaxelkm	751 024	$5,7 \cdot 10^{-4}$
Vagnfel	$3,1 \cdot 10^{-9}$ / vagnaxelkm	751 024	$2,3 \cdot 10^{-3}$
Lastförskjutning	$4,0 \cdot 10^{-10}$ / vagnaxelkm	751 024	$3,0 \cdot 10^{-4}$
Annan orsak	$5,7 \cdot 10^{-8}$ / tågkm	81 541	$4,6 \cdot 10^{-3}$
Okänd orsak	$1,4 \cdot 10^{-7}$ / tågkm	81 541	$1,1 \cdot 10^{-2}$

Tabell 11. Beräkning av olycksfrekvens för utbyggnadsalternativet.

Parameter	Intensitetsfaktor	Exponering	Frekvens/år
Rälsbrott	$5,0 \cdot 10^{-11}$ / vagnaxelkm	806 449	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Solkurva	$1,0 \cdot 10^{-5}$ / spårkm	1	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Spårlägesfel	$5,9 \cdot 10^{-10}$ / vagnaxelkm	806 449	$6,3 \cdot 10^{-4}$
Vagnfel	$3,1 \cdot 10^{-9}$ / vagnaxelkm	806 449	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Lastförskjutning	$4,0 \cdot 10^{-10}$ / vagnaxelkm	806 449	$3,2 \cdot 10^{-4}$
Annan orsak	$5,7 \cdot 10^{-8}$ / tågkm	93 258	$5,3 \cdot 10^{-3}$
Okänd orsak	$1,4 \cdot 10^{-7}$ / tågkm	93 258	$1,3 \cdot 10^{-2}$

I Tabell 12 visas en sammanställning av urspårningsfrekvenser för utredningsalternativen. I riskmodellen används frekvenserna tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna för att beräkna risknivåer.

Tabell 12. Sammanställning av olycksfrekvenser.

Olycksfrekvens per år	Nuläge	Utbyggnadsalternativ
Urspårning (totalt)	0,0193	0,0218
Urspårning (passagerartåg)	0,0175	0,0202
Urspårning (godståg)	0,0017	0,0016
Urspårning (farligt gods)	0,0009	0,0009

De enskilda scenariernas frekvenser i Tabell 13 avser olyckor med farligt gods och är den data som frekvensmodellen lämnar över till riskmodellen som redovisas i bilagan. I riskmodellen används frekvenserna tillsammans med resultatet av konsekvensberäkningarna för att beräkna risknivåer.

Tabell 13. Frekvenser per år för respektive scenario.

Olycksfrekvens per år	Nuläge	Utbyggnadsalternativ
Klass 1 detonation	$4,3 \cdot 10^{-9}$	$4,2 \cdot 10^{-9}$
Klass 2 BLEVE	$1,9 \cdot 10^{-9}$	$1,9 \cdot 10^{-9}$
Klass 2 jetflamma	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$
Klass 2 UVCE	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$
Klass 2 giftmoln	$3,9 \cdot 10^{-9}$	$3,8 \cdot 10^{-9}$
Klass 3 pölbrand (direkt)	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$
Klass 3 pölbrand (fördröjd)	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
Klass 3 giftmoln	$7,8 \cdot 10^{-8}$	$7,6 \cdot 10^{-8}$
Klass 5 detonation	$1,9 \cdot 10^{-9}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$
Klass 6 giftmoln	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-8}$
Klass 8	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-6}$
Summa	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$

5.2.3. Befolkning

Med känd befolkningstäthet (se avsnitt 3.1) krävs information om hur många människor som vistas utomhus under dagtid respektive på natten. En holländsk vägledning anger att 93 % befinner sig inomhus under dagtid och 99 % är inomhus på natten (TNO, 2005). Ett antagande som bedöms rimligt för aktuella områden. Dagtid antas råda mellan 08:00-18:30 och natt mellan 18:30-08:00. Vidare antas följande bebyggelsefria avstånd gälla i respektive studerat område:

- 20 meter i centrala Uppsala
- 10 meter i Boländerna
- 20 meter i Bergsbrunna

5.3. Risknivåer för omgivningen under byggskedet

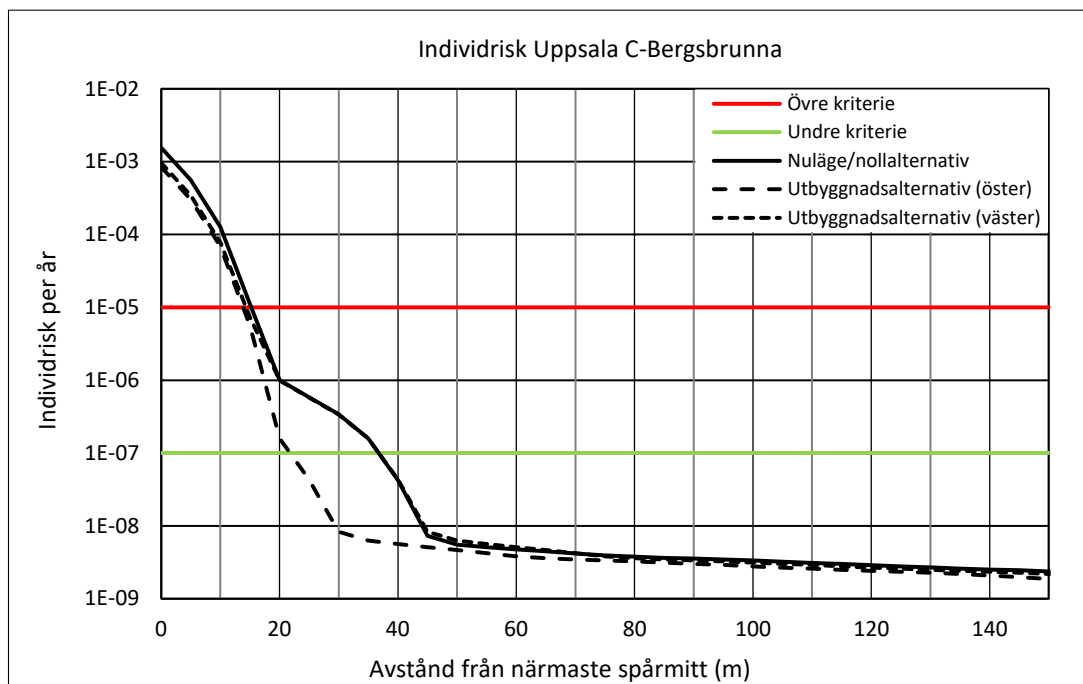
Eftersom byggskedet inte innebär några tillfälliga spår, annat än enstaka kortare sträckor, kommer risknivån för byggskedet vara mycket lik den för nuläget. I Boländerna, kommer risknivån öka under byggskedet och närma sig den för driftskedet då de nya spåren placeras närmre befintlig bebyggelse. Det är därför av vikt att eventuella skyddsåtgärder som föreslås för driftskedet (se kapitel 6) implementeras efterhand som de nya spåren tas i bruk.

I Bergsbrunna kommer risknivån tillfälligtvis att sänkas eftersom nya spår placeras längre bort från befintlig bebyggelse. Här behöver eventuella skyddsåtgärder vara färdigställda först när järnvägsanläggningen i sin helhet tas i bruk.

5.4. Risknivåer för omgivningen under driftskedet

I detta avsnitt redovisas den riskpåverkan som den driftsatta utbyggda anläggningen medför på tredje man, det vill säga personer som finns i järnvägsanläggningens närhet. Risknivåer för tredje man bedöms utifrån de kriterier som redovisas i avsnitt 5.1.

Risknivåer för nuläge och utbyggnadsalternativ redovisas i Figur 4. För utbyggnadsalternativet skiljer sig individrisknivåerna åt mellan östra och västra sidan om anläggningen. Anledningen till detta är att godstrafiken är förlagd på de västra spåren, vilket innebär att eventuella olyckor med farligt gods inträffar på kortare avstånd till den västra sidan i jämförelse med den östra.



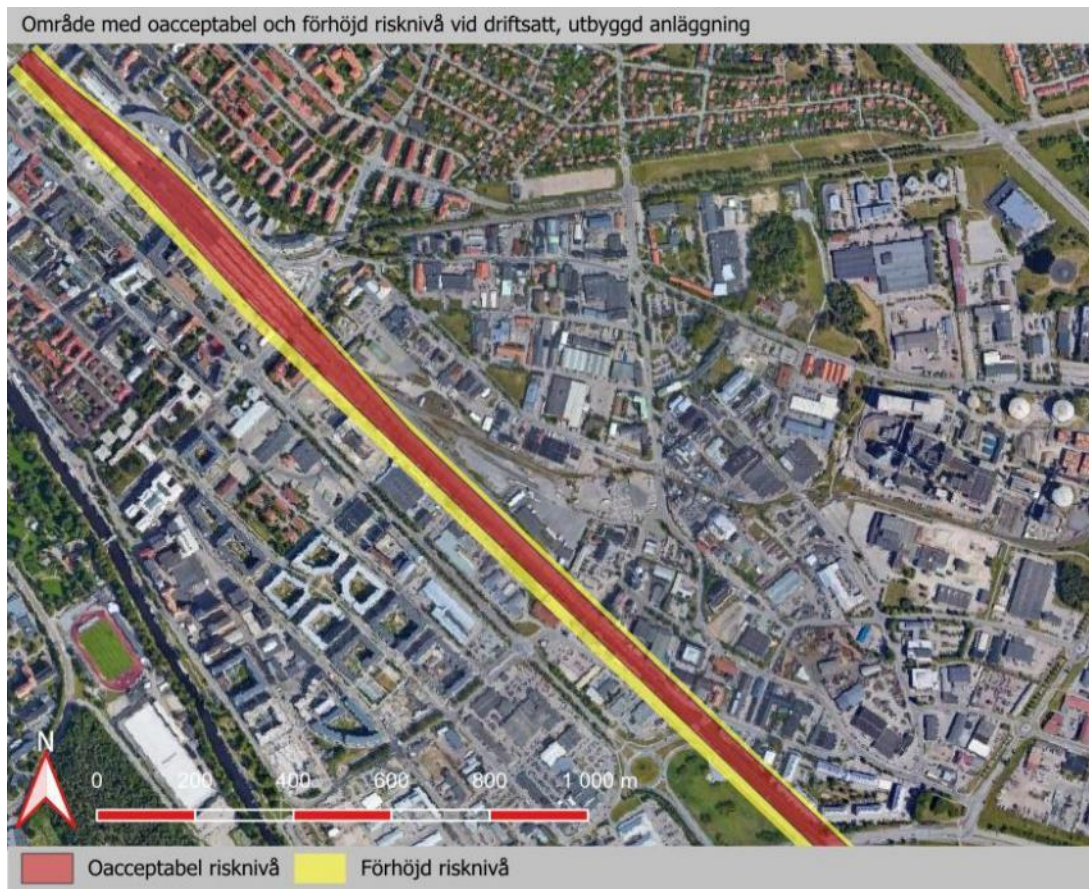
Figur 4. Individrisk för sträckan Uppsala C-Bergsbrunna utan hänsyn till skyddsåtgärder.

Skillnaderna i trafikering mellan nuläge och utbyggnadsalternativ är små, och risknivån ändras därför inte påtagligt för utbyggnadsalternativet. Figur 4 kan i sammanhanget uppfattas som missvisande då det på korta avstånd verkar som risknivån minskar. Risknivån redovisas som avstånd till närmsta spårmitt och en breddning av järnvägsanläggningen innebär att avståndet till bebyggelse minskar. Samtidigt innebär breddningen att järnvägstrafiken fördelas över en större yta och att faktiskt avstånd från en olycksplats också kan bli längre än vad det är i nuläget.

Eftersom det tillkommer spår i planförslaget och spårområdet breddas sker en viss riskökning för fastigheter intill de yttre spåren. Samtidigt sker en riskminskning för vissa fastigheter när spåren placeras längre från dem och när godstrafiken kommer att förläggas på de västra spåren. Avståndet från yttre spårmitt inom vilket det råder oacceptabel individrisknivå är 15 meter på ömse sidor om anläggningen. På östra sidan är individrisknivån förhöjd inom 25 meter och på västra sidan är den förhöjd inom 40 meter.

I anslutning till Uppsala centralstation där det finns plattformar mellan järnvägsanläggningen och omgivningen blir risknivån lägre. Det är endast spår 0 i utbyggnadsalternativet där plattform saknas. Godståg passerar på spår 1 och spår 2, vilka båda har en plattform. Plattformen fungerar i detta sammanhang som ett urspårningsskydd samtidigt som de begränsar utbredningen av farligt gods i vätskeform. I anslutning till Uppsala centralstation är individrisknivån aldrig oacceptabel. Den är dock förhöjd inom 10 meter från spår 0.

I Figur 5 och Figur 6 visas område med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning. I bilaga G redovisas mer detaljerade kartor över hela den utbyggda anläggningen.

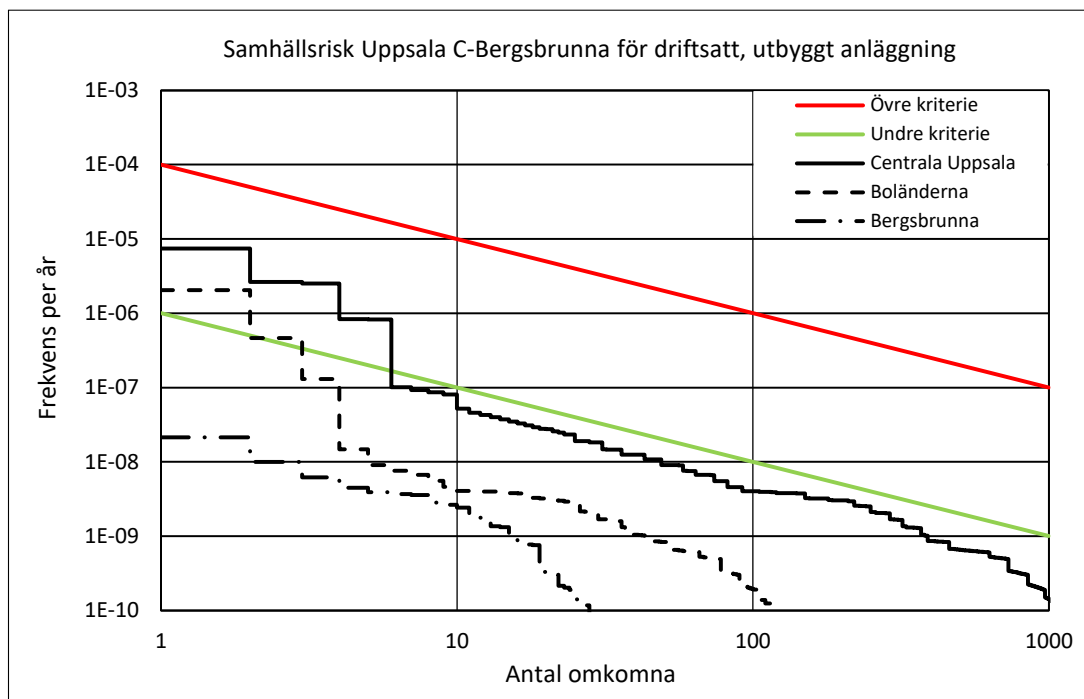


Figur 5. Område i centrala Uppsala och Boländerna med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning. Se bilaga G för mer en mer detaljerad karta.



Figur 6. Område i Bergsbrunna med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning. Se bilaga G för mer en mer detaljerad karta.

I Figur 7 redovisas samhällsriskerna för tre delar av järnvägsanläggningen, centrala Uppsala, Boländerna och Bergsbrunna, visas i. Riskuppskattningen i Figur 7 är gjord utan hänsyn till befintliga skyddsåtgärder som plattformarna i vid Uppsala centralstation.



Figur 7. Samhällsrisk längs med 1 kilometer av järnvägsanläggningen i centrala Uppsala, Boländerna och Bergsbrunna, utan hänsyn till skyddsåtgärder.

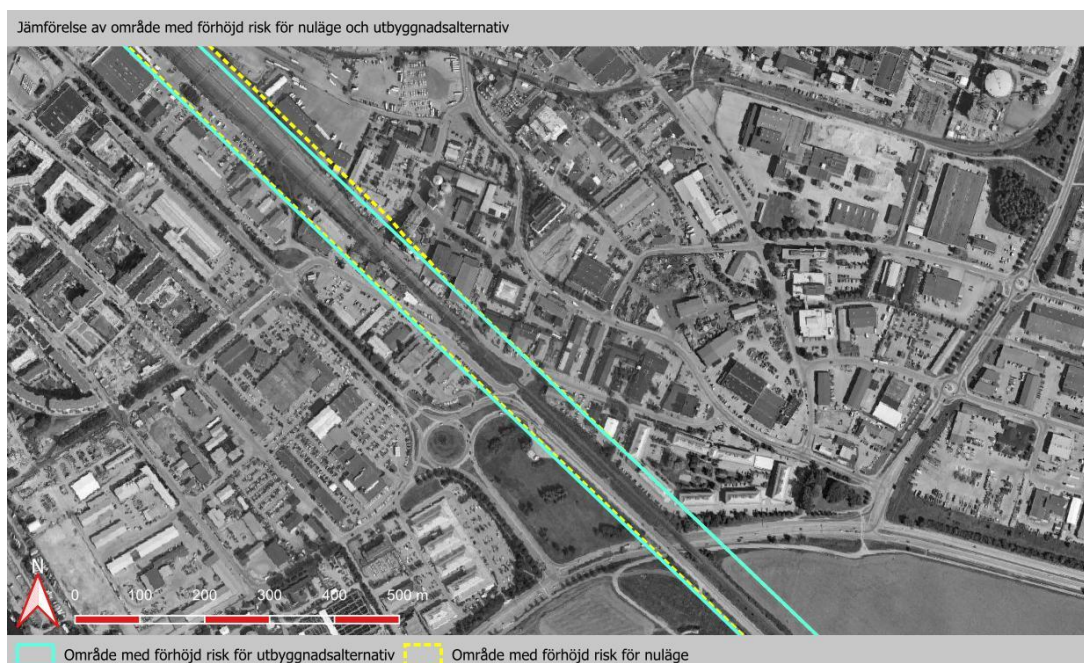
Med avseende på individrisk visar Figur 4 att det utan skyddsåtgärder finns det en risk för att en eventuell urspårning och eventuella olyckor med farligt gods utmed järnvägsanläggningen vid genomförandet av utbyggnadsalternativet resulterar i betydande personskador och fysiska skador på byggnader. Samhällsriskerna i Figur 7 visar ett liknande resultat, med undantag för Bergsbrunna där samhällsrisknivån är acceptabelt. Vilka åtgärder som kan bli aktuella längs med järnvägsanläggningen och vilken effekt de har utreds i kapitel 6.

5.5. Jämförelse mellan nuläge och utbyggnadsalternativ

Skillnaderna i risknivå mellan nuläge och utbyggnadsalternativ har konstaterats att i stort vara marginell. I Figur 8-Figur 10 visas en jämförelse mellan område med förhöjd risk för utbyggnadsalternativ och nuläge. Figurerna syftar till att illustrera i vilka lägen som det sker förändringar samt påvisa att risknivån i stort sett är oförändrad längs med anläggningen. Att godstrafiken förläggs på de västra spåren är den huvudsakliga anledningen att området med förhöjd risk för utbyggnadsalternativet är mindre på östra sidan om anläggningen och något större på västra sidan.



Figur 8. Jämförelse av område med förhöjd risk för nuläge och utbyggnadsalternativ i centrala Uppsala.



Figur 9. Jämförelse av område med förhöjd risk för nuläge och utbyggnadsalternativ i Boländerna.



Figur 10. Jämförelse av område med förhöjd risk för nuläge och utbyggnadsalternativ i Bergsbrunna.

6 Skyddsåtgärder

6.1. Möjliga åtgärder

Möjliga skyddsåtgärder utgörs av skyddsavstånd, skydd mot urspårning och åtgärder som skyddar mot olyckor med farligt gods. I avsnitt 6.1.1-6.1.3 ges en översiktlig genomgång av dessa skyddsåtgärder.

6.1.1. Skyddsavstånd

Skyddsavstånd är en effektiv och robust åtgärd för att minska risker till följd av urspårningar. Trafikverket⁵ anser att ny bebyggelse generellt inte bör tillåtas inom ett område på 30 meter från järnvägen, (räknat från spårmitt på närmaste spår). Ett sådant avstånd ger utrymme för räddningsinsatser om det skulle ske en olycka, och det möjliggör en viss utveckling av järnvägsanläggningen. Användningen av mark i direkt anslutning till järnvägsanläggningen behöver regleras så att exploatering inte möjliggörs utan att skyddsåtgärder införs. Skyddsavstånd är dock inte en praktiskt genomförbar skyddsåtgärd för befintlig bebyggelse. Om en utbyggnad av järnvägsanläggningen innebär en förhöjd risknivå behöver andra lösningar än skyddsavstånd väljas för befintlig bebyggelse.

6.1.2. Skydd mot urspårning

Skyddsräl är ett exempel på en skyddsåtgärd som skyddar mot urspårning. Skyddsräler ska utföras enligt krav i TRVINFRA-00012 (Banöverbyggnad Spårssystem) och TRVINFRA-00018 (Banöverbyggnad Spårkomponenter). Skyddsräler bedöms vara effektiva vid hastigheter upp till 160 km/tim. För högre hastigheter än så är effektiviteten osäker enligt uppgifter från UIC som bygger på resultat från simuleringar och inträffade olyckor (UIC, 2013). Som ett alternativ till skyddsräl kan skyddsmur uppföras. Skyddsmurar ska dimensioneras i enlighet med SS-EN 1991-1-7:2006 (Allmänna laster – Olyckslast).

6.1.3. Skydd mot olyckor med farligt gods

Skyddsåtgärder mot olyckor med farligt gods på järnväg utgörs i första hand av något som begränsar utbredning av vätskor och hindrar dem att rinna mot närliggande bebyggelse. Spårområdet är försett med makadam som bärlager, vilket innebär att ett vätskeutsläpp kommer att tränga ner i bärlagret och hindras från att lämna spårområdet.

Konsekvenserna av en brand vid utsläpp på makadam begränsas eftersom brandens intensitet reduceras kraftigt. Försök med brandfarlig vätska på järnvägsakadam visar att brandens effekt minskar med upp till 95 % när vätskenivån befinner sig 10 centimeter under makadambäddens yta (Lönnermark & Bobert, 2008).

Makadam är en effektiv skyddsåtgärd så länge marken inte är snötäckt, vilket begränsar den uppsamlade effekten. Genom att skapa en kant mot spårområdet som vätskor inte kan rinna förbi kan skyddseffekten vid dessa förhållanden förbättras. En vall, låg mur eller annan konstruktion med en höjd på cirka 0,2 meter ovan makadamnivån i spårområdet är tillräcklig för att uppnå önskad skyddseffekt. I Figur 11 visas hur grundläggningen till en bullerskärm kan utformas för att även begränsa utbredning av vätskor.

⁵ Se <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/samhallsplanering/Sakerhet-och-konflikter/Sakerhetsavstand-mellan-infrastruktur-ny-bebyggelse-samt-ovriga-anordningar/sakerhetsavstand-vid-byggande-intill-jarnvag/>

Begränsad utbredning i makadam eller vid en förhöjd kant fyller sin funktion om en urspårad vagn lämnar spårområdet. Därför behöver åtgärder av detta slag kombineras med ett urspårningsskydd (se avsnitt 6.1.2) för att uppnå det ska vara möjligt att begränsa utbredningen. Urspårningsskyddet ska uppföras mellan närmsta spår och den förhöjda kanten.



Figur 11. Tät grundläggning till bullerskärm kan säkerställa att utsläpp av vätskor inte kan lämna spårområdet. Exempel från Bergsbrunna.

Brandskyddsåtgärder i fasad är en skyddsåtgärd som kan erbjudas till särskilt utsatta fastigheter. Brandskyddsåtgärder i fasad beror på byggnadens utformning och användning. Vanliga åtgärder är att utföra fönster i brandteknisk klass och brandskyddstäta takfötter. Att förstärka ytterväggen med isolering eller ändra fasadbeklädnad är mindre vanliga åtgärder. Brandskyddsåtgärder i fasad lämpar sig bäst för annan bebyggelse än bostäder. I bostäder, framför allt i småhus, är det svårt att uppnå god skyddseffekt utan att ge avkall på boendekvaliteter kopplat till både gestaltning och funktion. För bostäder rekommenderas i första hand en kombination av urspårningsskydd och uppsamling.

6.2. Påverkan på omgivningen

För att skydda befintlig bebyggelse utmed de delar av spåren där individrisken bedöms bli oacceptabel föreslås åtgärder mot urspårning i form av skyddsåtgärder. I vissa lägen exempelvis där plattform finns mellan spår och närliggande byggnader krävs ingen extra åtgärd för att skydda mot urspårning.

I de områden där risknivån är förhöjd görs i riskvärderingen skillnad mellan verksamheter och bostäder. Verksamheter där risknivån ligger inom ALARP låg (individrisknivån mellan 10^{-6} och 10^{-7} per år) föreslås inga skyddsåtgärder då personer som vistas där förväntas vara vakna personer och möjligheten för dem att sätta sig i säkerhet bedöms vara god. För bostäder och annan känslig användning föreslås alltid skyddsåtgärder om risknivån är förhöjd.

I riskvärderingen används begreppet ”stadigvarande”, vilket i sammanhanget ska tolkas som att vistelse i området eller byggnad är varaktig och inte tillfällig. Exempel på ej stadigvarande vistelse är garage, förrådsbyggnader och trädgårdar där människor vistas tillfälligt. Verkstäder, kontor, försäljningslokaler, bostäder, etcetera utgör i sammanhanget platser för stadigvarande, varaktig vistelse.

Befintliga fastigheter som föreslås få skyddsåtgärder redovisas i avsnitt 6.4.

6.3. Effekt av skyddsåtgärder

Skyddsåtgärderna motverkar att urspårade fordon får en påverkan utanför spårområdet samt att bränder vid olyckor med farligt gods påverkar närliggande byggnader.

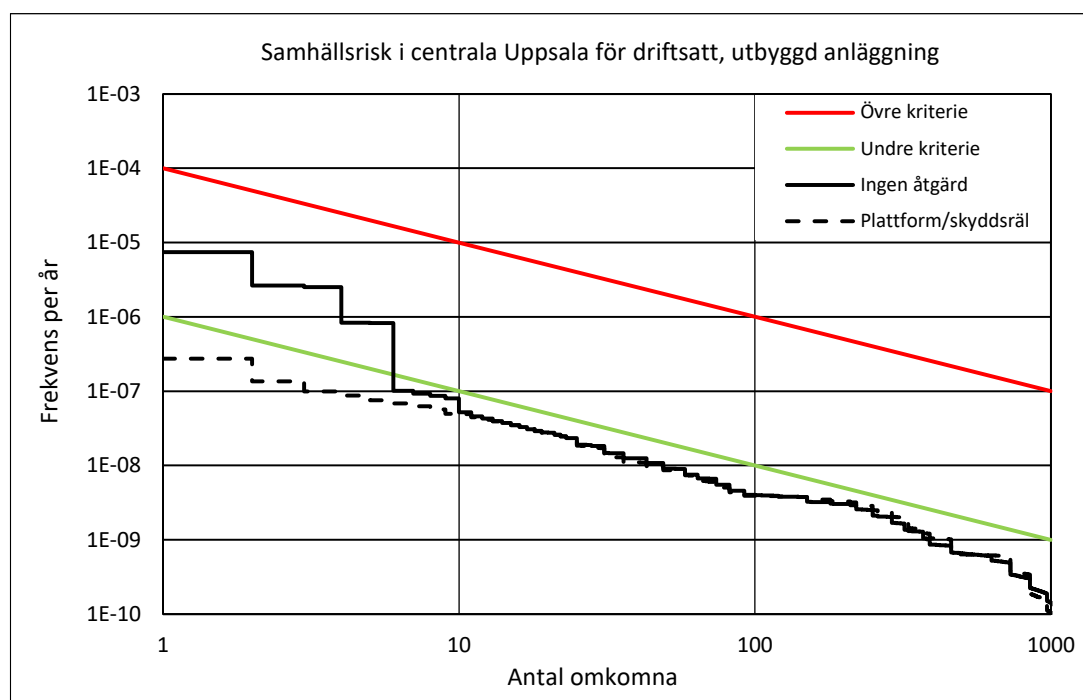
Skyddsåtgärderna har en positiv effekt för både individ- som samhällsrisk. I avsnitt 6.3.1-6.3.3 redovisas åtgärdernas effekt i detalj.

6.3.1. Centrala Uppsala

I centrala Uppsala ligger flertalet fastigheter inom område med förhöjd risk till följd av en breddning av järnvägsanläggningen. För flertalet av dem har nyligen antagna detaljplaner utformats med hänsyn till att järnvägen, vilket innebär att skyddsåtgärder har reglerats med planbestämmelser i respektive plankarta.

För verksamheter där risknivån ligger lågt i ALARP föreslås inga skyddsåtgärder då personer som vistas där förväntas vara vakna personer och möjligheten för dem att sätta sig i säkerhet bedöms vara god. För fastigheter med byggnader inom förhöjd individrisknivå kan det bli aktuellt med åtgärd för skydd mot urspårning i form av skyddsräl, vilket är fallet längs med spår o. Genom Uppsala Centralstation är största tillåtna hastighet idag 130 km/tim och i utbyggnadsalternativet är den 120 km/tim. Det innebär att skyddsräler bedöms vara effektiva här.

Då farligt gods transporteras på spår 1 och spår 2, vilka båda har en plattform som skyddar mot urspårning och olyckor med farligt gods är risknivån låg på både östra och västra sidan om järnvägsanläggningen. I Figur 12 visas samhällsrisk efter hänsyn till skyddsåtgärder.



Figur 12. Samhällsrisk i centrala Uppsala för driftsatt, utbyggd anläggning med plattform eller skyddsral, samt utan sådana åtgärder.

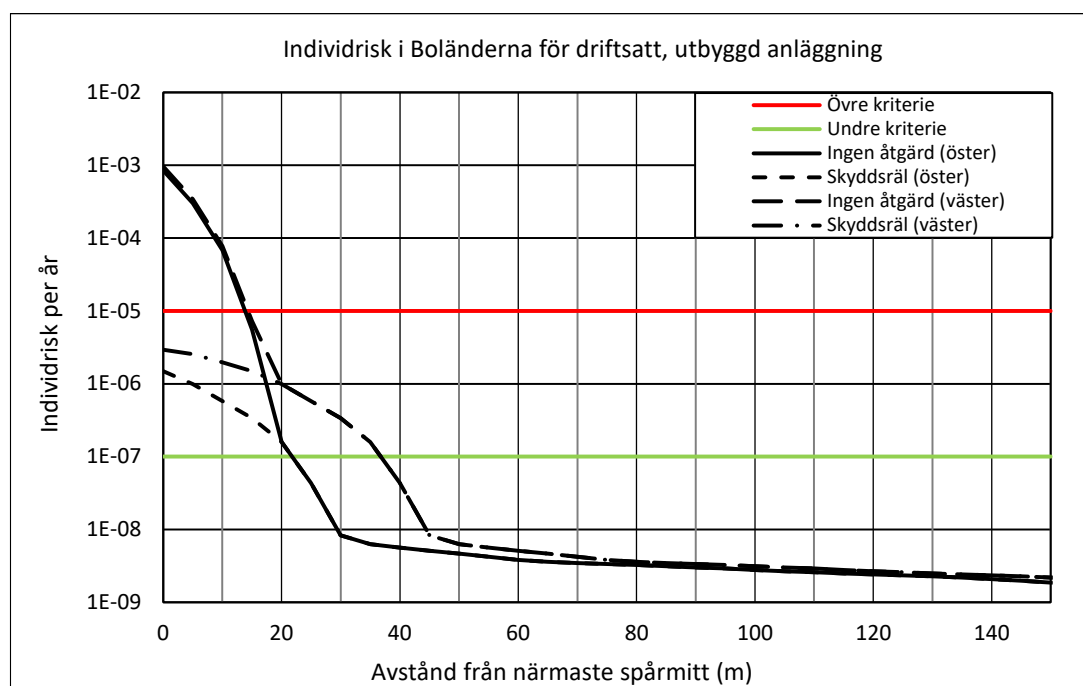
6.3.2. Boländerna

I Boländerna breddas järnvägsanläggningen, vilket innebär att risknivån ökar i jämförelse med nuläget. Samtidigt kommer godståg trafikera de västra spåren, vilket innebär en riskminskning på den östra sidan. Järnvägens markanspråk medför att enstaka fastigheter kommer att rivas. För fastigheter med byggnader tillhörande verksamheter vilka ligger inom oacceptabel risknivå föreslås åtgärder för skydd mot urspårning i form av skyddsral. Största

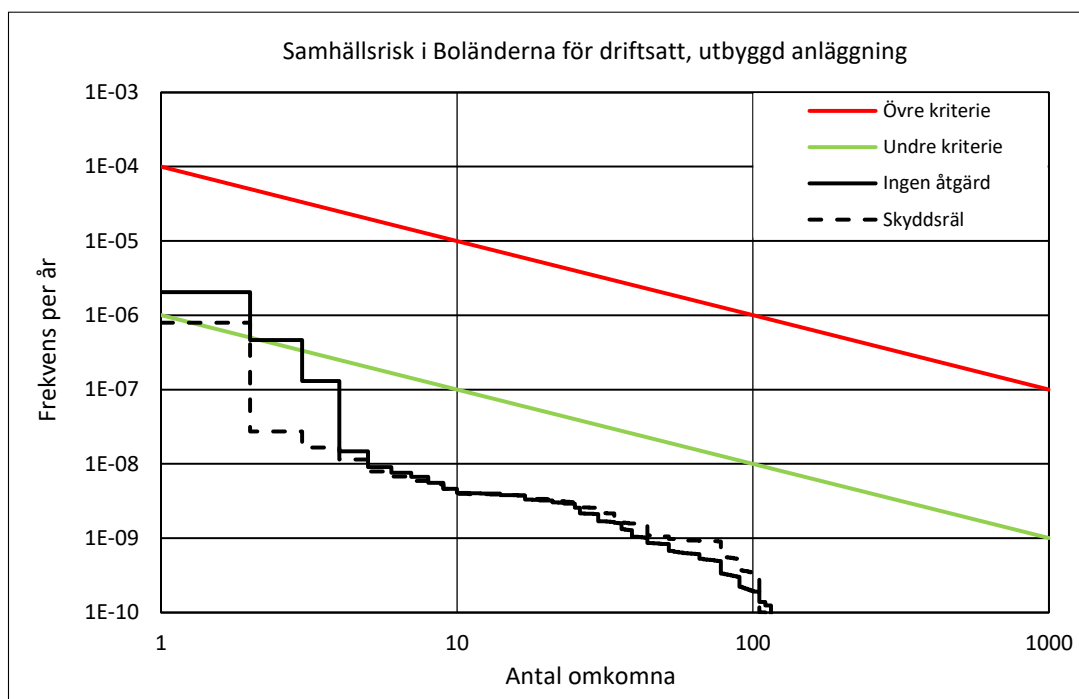
tillåtna hastighet för utbyggnadsalternativet är 160 km/h längs denna sträcka. Skyddsriäl kan därför antas vara en effektiv åtgärd för skydd mot urspärning.

För de fall där det finns byggnader tillhörande verksamheter med förhöjd risknivå (högt inom ALARP) kan det bli aktuellt att erbjuda fasadåtgärder för skydd mot brandspridning vid olyckor med farligt gods. Fasadåtgärder ger i första hand ett förstärkt brandskydd för egendom. Personer i byggnaderna bör sannolikt kunna sätta sig själv i säkerhet, oavsett om fasadåtgärder vidtas eller inte. För verksamheter där risknivån ligger lågt i ALARP föreslås inga skyddsåtgärder då personer som vistas där förväntas vara vakna personer och möjligheten för dem att sätta sig i säkerhet bedöms vara god.

Åtgärderna medför att risknivån blir acceptabel i Boländerna, se Figur 13 och Figur 14. Samhällsrisk i Figur 14 visar visserligen inte explicit effekten av fasadåtgärder, men då dessa innebär att bränder inte sprider sig till byggnader kommer personer som vistas där vara säkra. Med skyddsriäl kommer individrisknivån aldrig vara oacceptabel, den är dock förhöjd och ligger högt inom ALARP upp till 5 meter från yttre spårmitr mot öster och 20 meter från yttre spårmitr åt väster och sedan lågt inom ALARP till och med 25 meter från yttre spårmitr mot öster och 40 meter från yttre spårmitr åt väster.



Figur 13. Individrisk i Boländerna för driftsatt, utbyggd anläggning med eller utan föreslagna åtgärder.



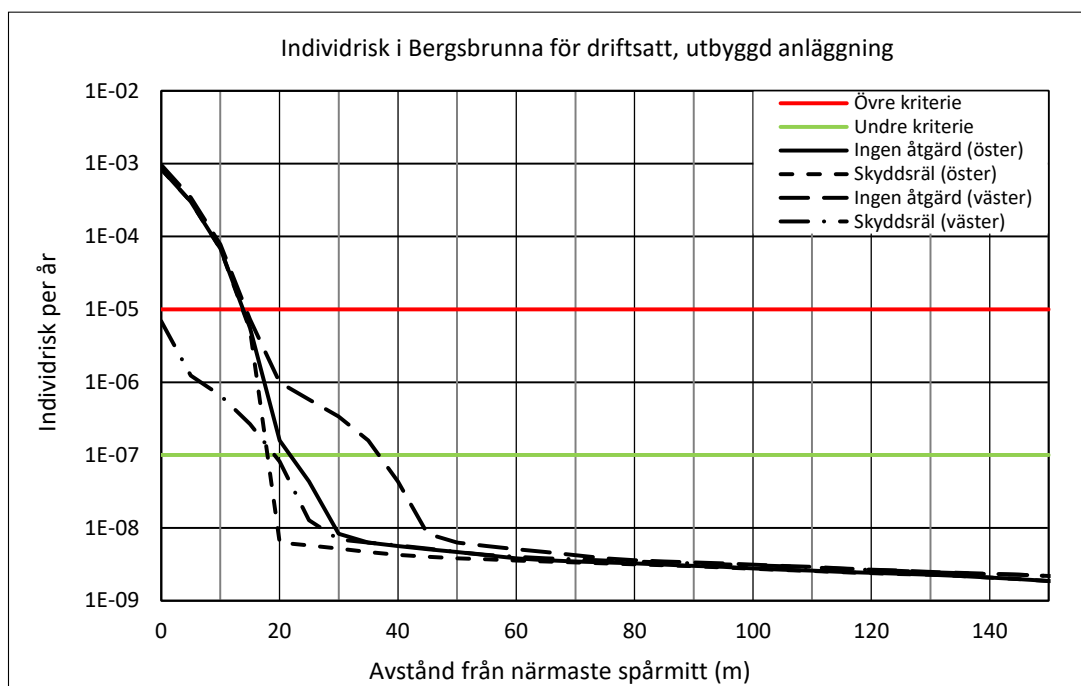
Figur 14. Samhällsrisk i Boländerna för driftsatt, utbyggd anläggning med eller utan föreslagna åtgärder.

6.3.3. Bergsbrunna

I Bergsbrunna finns ett flertal fastigheter med småhus inom område med förhöjd risknivå, vilket innebär att åtgärder för skydd mot urspärning och åtgärder för skydd mot olyckor med farligt gods kan bli aktuella. För de fastigheter med småhus där byggnader för stadigvarande vistelse ligger bortom område med förhöjd risk föreslås inga skyddsåtgärder. Genomgången av respektive fastighet som redovisas i Tabell 14 visar att det inte finns byggnader för stadigvarande vistelse som behöver skydd mot urspärning, men skydd mot olyckor med farligt gods.

I Bergsbrunna rekommenderas att skydd mot olyckor med farligt gods utgörs av skyddsrärl som i kombination med spårområdets makadamfyllning begränsar utbredning av vätskor. Skyddsrärl säkerställer att godståg kvarstannar på spårområdet som bedöms vara effektiv för godståg vars hastighet är maximalt 120 km/tim för utbyggnadsalternativet.

Makadamfyllningen i spårområdet kommer i kombination med skyddsrärlen att begränsa utbredningen av brandfarliga vätskor vid olyckor med farligt gods. Bullerskärmens grundläggning förstärker den uppsamlade effekten. På den östra sidan om järnvägsanläggningen blir individrisknivån i Bergsbrunna med hänsyn till dessa åtgärder oacceptabel inom 15 meter och förhöjd inom 20 meter från yttre spårmittpunkt. Åt väster är individrisknivån aldrig oacceptabel men förhöjd inom 20 meter från yttre spårmittpunkt. Individrisknivåerna redovisas i Figur 15. Samhällsrisknivån är acceptabel i Bergsbrunna utan skyddsåtgärder och redovisas inte (se Figur 7).



Figur 15. Individrisk i Bergsbrunna för driftsatt, utbyggd anläggning med eller utan föreslagna åtgärder.

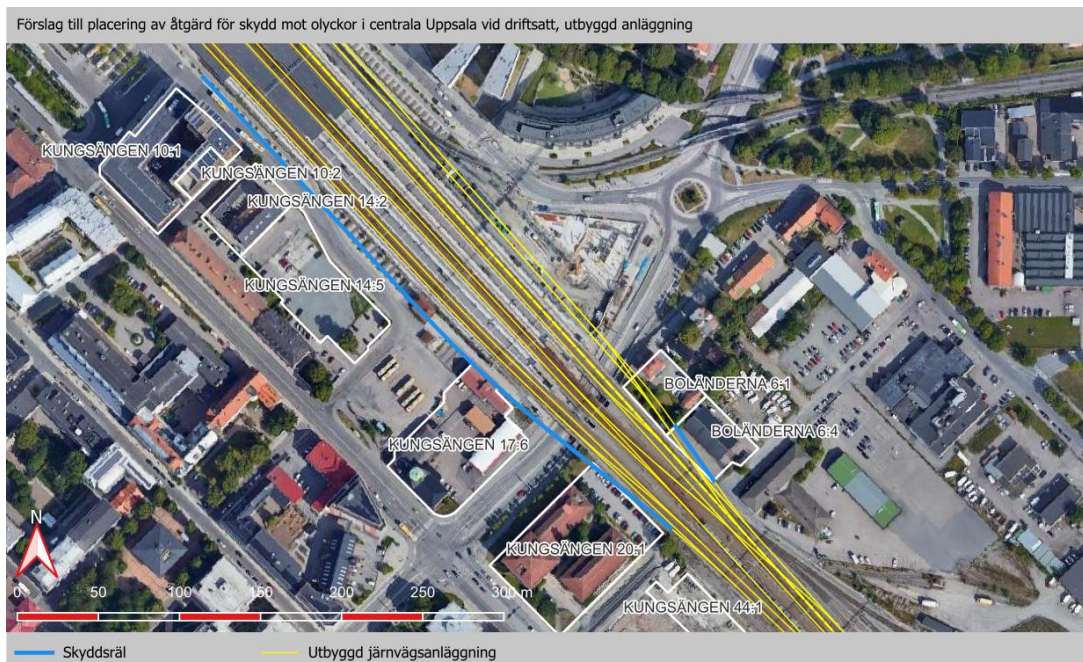
Öster om järnvägsanläggningen finns några fastigheter med verksamheter där risknivån är förhöjd (långt inom ALARP). För dessa fastigheter föreslås inga skyddsåtgärder då personer som vistas där förväntas vara vakna personer och möjligheten för dem att sätta sig i säkerhet bedöms vara god.

6.4. Föreslagna åtgärder för fastigheter inom område med oacceptabel och förhöjd risk

I detta avsnitt redovisas föreslagna åtgärder för fastigheter inom område med oacceptabel och förhöjd risk för människor som befinner sig i järnvägsanläggningens närhet givet de avgränsningar som redovisas i avsnitt 1.2. Andra utredningar, exempelvis Riskanalys yt- och grundvatten kan ställa krav på liknande skyddsåtgärder. Utbredning och utformning av dessa skyddsåtgärder redovisas inte i detta avsnitt.

6.4.1. Centrala Uppsala

För att minska risken för fastigheter inom område med förhöjd risk i centrala Uppsala föreslås skyddsåtgärder, se Figur 16. Som skydd mot urspärning rekommenderas skyddsriäl.



Figur 16. Förslag till placering av åtgärd för skydd mot olyckor i centrala Uppsala.

6.4.2. Boländerna

För att minska risken för fastigheter inom område med förhöjd risk i Boländerna föreslås skyddsåtgärder, se Figur 17 och Figur 18. Som skydd mot urspårning rekommenderas skyddsräll.



Figur 17. Förslag till placering av åtgärd för skydd mot olyckor i del av Boländerna.



Figur 18. Förslag till placering av åtgärd för skydd mot olyckor i del av Boländerna.

Byggnader på tre fastigheter – Dragarbrunn 32:4, Kungsängen 36:3 och Boländerna 33:1 – ligger inom område med förhöjd risk efter att skydd mot urspärning med skyddsåtgärder ordnats. Dessa byggnader har inventerats för att undersöka om de ska erbjudas fasadåtgärder för att begränsa brandspridning i händelse av en olycka vid järnvägen.

Dragarbrunn 32:4

Dragarbrunn 32:4 (se Figur 19) har en fasad och tak av korrugerad plåt med synlig träkonstruktion vid takfot. Mot järnvägen finns cirka tio fönster och en otät takfot. Byggnaden rekommenderas att erbjudas riskreducerande åtgärd i fasad.

Yterväggen mot järnvägen bedöms uppfylla tillräcklig brandteknisk klass och behöver ej åtgärdas. Fönster behöver bytas till fönster i brandteknisk klass EI 30 och takfoten bedöms behöva förse med motsvarande brandskydd. Fasad mot sydost och fasad mot nordväst saknar fönster inom område där skydd mot brandspridning föreslås, och behöver inte åtgärdas. Dock kan takfot på dessa fasader behöva skyddas likt ovan.



Figur 19. Illustration av del av Dragarbrunn 32:4 där olycksrisken är förhöjd (röd linje).

Kungsängen 36:3

Kungsängen 36:3 (se Figur 20) är utförd i obrännbara material med en fasad av plåt. Mot järnvägen finns inga fönster eller ventilationsöppningar och takfoten är tät. Fasad mot sydost saknar fönster inom område med förhöjd risk och fasad mot nordväst ligger utanför detta område. Byggnaden bedöms uppfylla tillräcklig brandteknisk klass och behöver inte erbjudas fasadåtgärder.



Figur 20. Illustration av del av Kungsängen 36:3 där olycksrisken är förhöjd (röd linje).

Boländerna 33:1

Boländerna 33:1 (se Figur 21) har en fasad av korrugerad plåt. Det finns inget takutsprång och takfoten är tät. Inom område med förhöjd risk finns 2 fönster. Byggnaden bör erbjudas riskreducerande åtgärd i fasad.

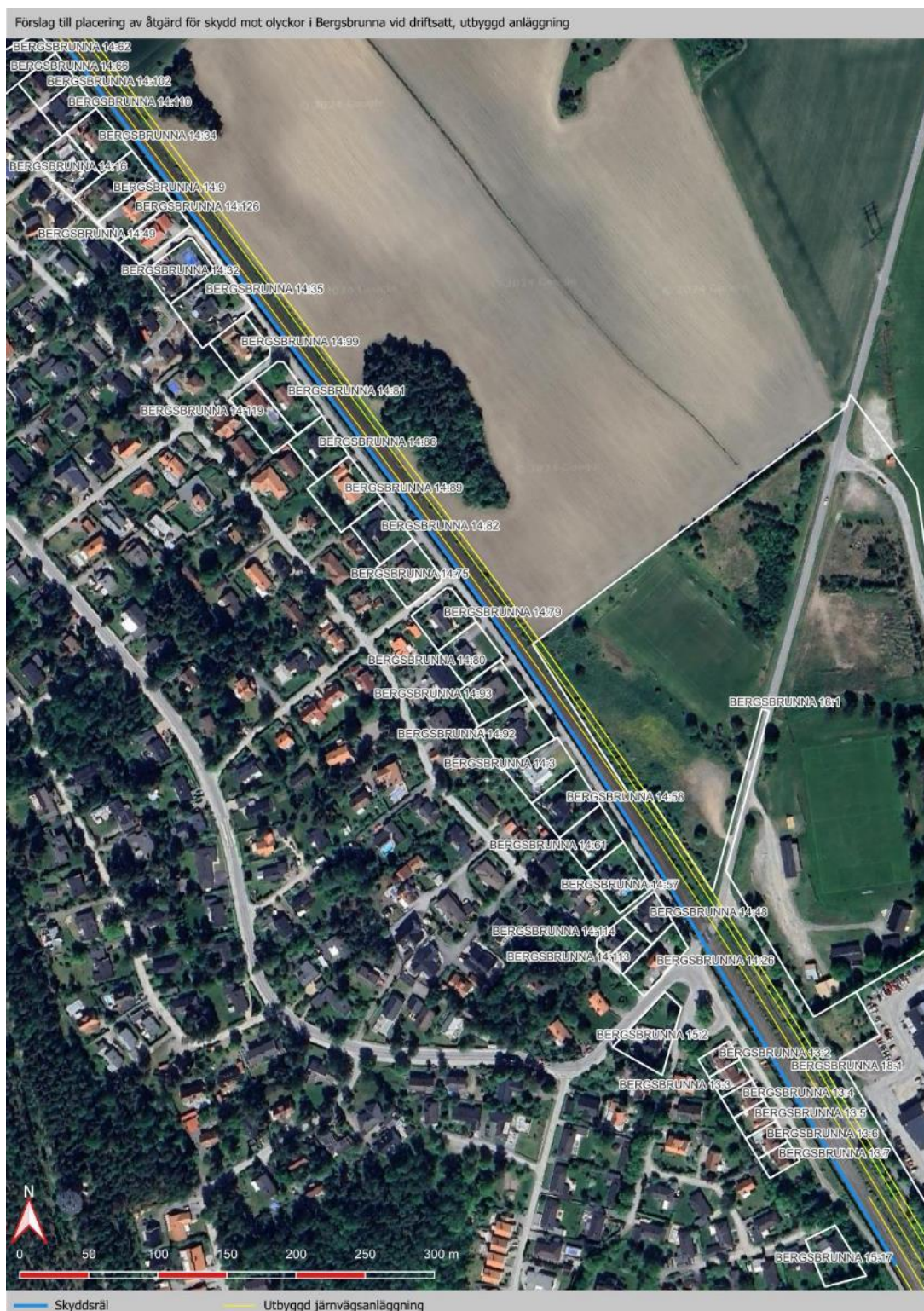
Ytterväggen bedöms uppfylla tillräcklig brandteknisk klass. Ett fönster på fasad mot järnvägen och ett fönster på fasad mot nordväst behöver bytas till fönster i brandteknisk klass EI 30.



Figur 21 Illustration av del av Boländerna 33:1 där olycksrisken är förhöjd (röd linje).

6.4.3. Bergsbrunna

För att minska risken för fastigheter inom område med förhöjd risk i Boländerna föreslås skyddsåtgärder, se Figur 22. Som skydd mot urspärning rekommenderas skyddsräll.



Figur 22. Förslag till placering av åtgärd för skydd mot olyckor i Bergsbrunna.

6.5. Detaljerade genomgång av fastigheter inom område med förhöjd risk

I Tabell 14 redovisas en genomgång av samtliga fastigheter med oacceptabel eller förhöjd risk. Genomgången avser avstånd till närmsta spår, vad fastigheten används till, bedömd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning samt en bedömning om åtgärder rekommenderas.

Tabell 14. Bedömning och rekommendation för fastigheter inom område med förhöjd risk.

Fastighet	Bedömning och rekommendation
Fålhagen 3:1 Dragarbrunn 25:1	Fastigheterna används för kontor, hotell och handel. Avstånd till närmsta spår är 7 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel risk. Gällande detaljplaner ^{6,7} specificerar skyddsåtgärder mot urspårning och brandspridning. Inga åtgärder rekommenderas.
Dragarbrunn 32:6	Nu gällande plan för Dragarbrunn 32:6 är trafikantservice samt användning kopplat till bebyggelsens kulturvärde. PM risk behandlar inte resenärers säkerhet. Inga åtgärder rekommenderas.
Kungsängen 10:1	Fastigheten används för hotell. Avstånd till närmsta spår är 27 meter. Risknivån på delar av fastigheten är förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP hög). Skydd mot urspårning rekommenderas vid spår o.
Kungsängen 10:2 Kungsängen 14:2 Kungsängen 14:5	Fastigheterna används för hotell, kontor och handel. Avstånd till närmsta spår är cirka 25 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP låg). Byggnaderna rymmer många personer som kan vara sovande. Skydd mot urspårning rekommenderas vid spår o.
Boländerna 6:1	Fastigheten avses att lösas in för att möjliggöra utbyggd anläggning. Inga åtgärder rekommenderas.

⁶ Detaljplan för kv Siv, Uppsala kommun, 0380K-P2022/12, laga kraft 2022-09-08.

⁷ Ändring av detaljplanen för Bussterminal vid Uppsala C, Uppsala kommun, 0380-P2019/1, laga kraft 2019-01-12.

Fastighet	Bedömning och rekommendation
Boländerna 6:4	Fastigheten används för lagerhållning och försäljning av reservdelar. Avstånd till närmsta spår för persontåg är 3,5 m och avstånd till närmsta spår med genomgående trafik är 16 m. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel risk. Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår⁸.
Kungsängen 17:6	Fastigheten används för industri. Avstånd till närmsta spår är 13 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel risk. Skydd mot urspårning rekommenderas vid spår o.
Kungsängen 20:1	Fastigheten används för kontor. Avstånd till närmsta spår är 6 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP hög). Skydd mot urspårning rekommenderas vid spår o.
Kungsängen 44:1 Kungsängen 29:6 Kungsängen 29:3 Kungsängen 29:7	Fastigheterna används för bostäder, centrum och parkering. Avstånd till närmsta spår är 10 till 15 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP låg). Gällande detaljplan⁹ specificerar skyddsåtgärder mot brandspridning. Skydd mot urspårning hanteras med skyddsavstånd till byggnader med stadigvarande vistelse. Inga åtgärder rekommenderas.
Kungsängen 29:2 Kungsängen 29:1	Fastigheterna används för bilservice och kontor. Avstånd till närmsta spår är 10 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Inga byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.
Boländerna 22:9 Boländerna 22:2	Fastigheterna används för logistik och bilservice. Avstånd till närmsta spår är cirka 20 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är förhöjd. Inga byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.

⁸ Om skydd mot urspårning ordnas minskas risknivån till ALARP (låg) för byggnader på fastigheten. Då det endast finns ett fåtal, vakna personer i berörda byggnader erfordras inte ytterligare åtgärder.

⁹ Detaljplan för kv Vävstolen, Uppsala kommun, 0380-P2014/26, laga kraft 2014-11-24.

Fastighet	Bedömning och rekommendation
Dragarbrunn 32:4 Kungsängen 36:2	Fastigheterna används för tryckeri. Avstånd till närmsta spår är cirka 17 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP hög). Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (U1). Skydd mot brandspridning i form av erbjudande om fasadåtgärd rekommenderas ¹⁰ .
Kungsängen 36:1	Fastigheten avses att lösas in för att möjliggöra utbyggd anläggning. Inga åtgärder rekommenderas.
Boländerna 22:1	Fastigheterna används för spannmålshantering och fodertillverkning. Avstånd till närmsta spår är 0 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel risk. Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (N2) ¹¹ .
Kungsängen 36:3	Fastigheten används för handel. Avstånd till närmsta spår är 17 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel risk. Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (U1).
Kungsängen 35:3 Kungsängen 35:4	Fastigheterna används för handel, industri och bilservice. Avstånd till närmsta spår är 30 till 33 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är förhöjd. Inga byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.
Boländerna 22:7	Fastigheten används för återvinning. Avstånd till närmsta spår är 0 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel risk. Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (N2) ¹¹ .
Boländerna 23:1	Fastigheten används för bilservice. Avstånd till närmsta spår är 5 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. En mindre del av byggnad för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel risk. Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (N2) ¹¹ .

¹⁰ Rekommendationen gäller ej Kungsängen 36:2 där risknivån efter att skydd mot urspårning ordnats är inom ALARP (låg).

¹¹ Om skydd mot urspårning ordnas minskas risknivån till ALARP (låg) för byggnader på fastigheten. Då det endast finns ett fåtal, vakna personer i berörda byggnader erfordras inte ytterligare åtgärder.

Fastighet	Bedömning och rekommendation
Boländerna 23:14	Fastigheten används för bilservice. Avstånd till närmsta spår är 5 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Byggnad för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP låg). Inga åtgärder rekommenderas.
Kungsängen 35:7	Fastigheten används för drivmedelsförsäljning. Avstånd till närmsta spår är 30 meter. Risknivån på delar av fastigheten är förhöjd. Det finns inga byggnader inom område med förhöjd risk. Kortaste avstånd från avluftning/lossningsplats till järnvägen är cirka 90 m. Från pumpöar är det som kortast 80 meter. Inga åtgärder rekommenderas.
Boländerna 33:1	Fastigheten används för verksamheter. Avstånd till närmsta spår är 5 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Byggnad för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel risk. Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (N2) ¹² . Skydd mot brandspridning i form av erbjudande om fasadåtgärd rekommenderas.
Boländerna 33:3	Fastigheten används för verksamheter. Avstånd till närmsta spår är 6 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Byggnad för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel risk. Ett fåtal, vakna personer bedöms finnas i byggnader närmst järnvägen. Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (N2) ¹² .
Boländerna 33:4	Fastigheten används för verksamheter. Avstånd till närmsta spår är 5 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Inga byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel eller förhöjd risk (ALARP hög). Inga åtgärder rekommenderas.
Boländerna 33:2	Fastigheten används för kontor. Avstånd till närmsta spår är 5 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Byggnad för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel risk. Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (N2) ¹³ .

¹² Om skydd mot urspårning ordnas minskas risknivån till ALARP (låg) för byggnader på fastigheten. Då det endast finns ett fåtal, vakna personer i berörda byggnader erfordras inte ytterligare åtgärder.

¹³ Avstånd till de västra spåren där farligt gods transporteras är 25 meter, vilket är betryggande utifrån risk för brandspridning vid olycka med farligt gods.

Fastighet	Bedömning och rekommendation
Danmarks-Säby 3:8	Fastigheten används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 5 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Det finns inga byggnader för stadigvarande vistelse inom område med oacceptabel eller förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.
Danmarks-Säby 3:5	Fastigheten används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 5 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Det finns inga byggnader för stadigvarande vistelse inom område med oacceptabel eller förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.
Danmarks-Säby 3:39	Fastigheten används för verksamheter. Avstånd till närmsta spår är 7 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inte inom område med oacceptabel eller förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.
Sävja 12:5 Sävja 12:6	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 22 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inte inom område med förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.
Sävja 12:4	Fastigheten används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 20 meter. Risknivån på delar av fastigheten är förhöjd. Mycket liten del av byggnad för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP låg). Inga åtgärder rekommenderas.
Bergsbrunna 14:78 Bergsbrunna 14:77 Bergsbrunna 14:76	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 15 till 19 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Inga byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel eller förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.
Bergsbrunna 14:64 Bergsbrunna 14:63	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 11 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är förhöjd. Mycket liten del av byggnad för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP låg). Inga åtgärder rekommenderas.
Bergsbrunna 14:62 Bergsbrunna 14:66	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 10 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Inga byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel eller förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.

Fastighet	Bedömning och rekommendation
Bergsbrunna 14:102 Bergsbrunna 14:110 Bergsbrunna 14:34	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 9 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område förhöjd risk (ALARP hög). Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (U1).
Bergsbrunna 14:9 Bergsbrunna 14:126	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 6 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP låg). Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (U1) ¹⁴ .
Bergsbrunna 14:49	Fastigheten används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 6 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område förhöjd risk (ALARP hög). Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (U1).
Bergsbrunna 14:32	Fastigheten används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 11 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP låg). Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (U1) ¹⁴ .
Bergsbrunna 14:35 Bergsbrunna 14:99 Bergsbrunna 14:81	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 5 till 13 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område förhöjd risk (ALARP hög). Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (U1).
Bergsbrunna 14:119	Fastigheten används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 35 meter. Risknivån på delar av fastigheten är förhöjd. Inga byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel eller förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.
Bergsbrunna 14:86 Bergsbrunna 14:89 Bergsbrunna 14:82 Bergsbrunna 14:75 Bergsbrunna 14:79 Bergsbrunna 14:80 Bergsbrunna 14:93 Bergsbrunna 14:92	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 11 till 14 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område förhöjd risk (ALARP hög). Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (U1).

¹⁴ Risknivån i sig motiverar inte åtgärden, utan rekommendationen följer av att skapa en sammanhållande skyddsåtgärd mot urspårning för fastigheterna i Bergsbrunna.

Fastighet	Bedömning och rekommendation
Bergsbrunna 14:3 Bergsbrunna 14:58 Bergsbrunna 14:61	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 11 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP låg). Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (U1) ¹⁵ .
Bergsbrunna 14:57 Bergsbrunna 14:48 Bergsbrunna 14:26	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 11 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område förhöjd risk (ALARP hög). Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (U1).
Bergsbrunna 14:114 Bergsbrunna 14:113 Bergsbrunna 15:2	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är cirka 35 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är förhöjd. Inga byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel eller förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.
Bergsbrunna 16:1	Fastigheten används för idrottsändamål. Avstånd till närmsta spår är 0 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Inga byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med oacceptabel eller förhöjd risk. Inga åtgärder rekommenderas.
Bergsbrunna 13:2 Bergsbrunna 13:3 Bergsbrunna 13:4 Bergsbrunna 13:5 Bergsbrunna 13:6 Bergsbrunna 13:7 Bergsbrunna 15:17	Fastigheterna används för bostad. Avstånd till närmsta spår är 21 till 23 meter. Risknivån på delar av fastigheterna är oacceptabel och förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område förhöjd risk (ALARP hög). Skydd mot urspårning rekommenderas vid närmsta spår (U1).
Bergsbrunna 18:1	Fastigheten används för verksamheter. Avstånd till närmsta spår är 13 meter. Risknivån på delar av fastigheten är oacceptabel och förhöjd. Mycket liten del av byggnad för stadigvarande vistelse finns inom område förhöjd risk (ALARP hög). Inga åtgärder rekommenderas
Bergsbrunna 10:1	Fastigheten används för verksamheter. Avstånd till närmsta spår är 31 meter. Risknivån på delar av fastigheten är förhöjd. Byggnader för stadigvarande vistelse finns inom område med förhöjd risk (ALARP låg). Inga åtgärder rekommenderas.

¹⁵ Risknivån i sig motiverar inte åtgärden, utan rekommendationen följer av att skapa en sammanhållande skyddsåtgärd mot urspårning för fastigheterna i Bergsbrunna.

Fastighet	Bedömning och rekommendation
Danmarks-Vallby 10:1 Danmarks-Söderby 13:7 Danmarks-Söderby 3:14	Fastigheterna har köpts av Uppsala kommun och avses inte användas för stadigvarande vistelse. Inga åtgärder rekommenderas.

7 Diskussion

Riskbedömningar är alltid förenade med osäkerheter, i större eller mindre utsträckning. Osäkerheterna har olika karaktär och kan exempelvis beröra kunskap kopplat till underlagsmaterial och beräkningsmodeller. Några antaganden och förutsättningar som är belagda med osäkerheter är:

- Framtida trafikflöden
- Information om transport av farligt gods på järnvägen
- Konsekvensområden vid olyckor med farligt gods
- Befolkningstäthet

Riskbedömningen är i grunden gjord med konservativa antaganden där mer precisa uppgifter inte har funnits tillgängliga. Genom att konsekvent anta konservativa värden görs bedömningen att osäkerheterna inte påverkar riskvärderingen. Antaganden om framtida transporter av farligt gods utgår från den nuvarande andelen av det totala godsflödet och skalas således upp med den ökade godstrafiken som utbyggnadsalternativet medför. Nationell statistik från förvaltningsmyndigheten Trafikanalys visar att transporter med farligt gods utgör kring 5 % av antalet godstransporter. Denna andel har varit förhållandevis konstant under den senaste 10-årsperioden. Genom Uppsala tillkommer transporter av flygbränsle till Arlanda. Uppgifter om dessa transporter bygger på det miljötillstånd som flygplatsen har.

Konsekvensområden för olyckor med farligt gods beräknas med empiriska uttryck och flera antagande gällande utläppsstorlekar, väder- och vindförhållanden samt värden på olika fysikaliska variabler. Den modell för beräkning av konsekvenser som riskuppskattningen bygger på omfattar en direkt hantering av variation och osäkerheter genom att statistiska fördelningar används i stället för punktskattningar. Konkret innebär det indata varierar och kombineras på ett sätt där gynnsamma, troliga och ogynnsamma olycksförlopp beaktas. I bilagan (kapitel E) förs en fördjupad diskussion om osäkerheter i modeller och indata.

De antagande om befolkningstäthet som ligger till grund för uppskattningen av samhällsrisk i centrala Uppsala, Boländerna och Bergsbrunna har medvetet valts särskilt konservativt. I centrala Uppsala antas att antalet personer fördubblas dagtid i jämförelse med kvällstid. Ingen hänsyn tas till att boende i anslutning till centralstationen i stor utsträckning befinner sig på sin arbetsplats under dagtid. Samma antagande har gjorts för Bergsbrunna.

Sammantaget är bedömningen att riskuppskattningen i sin helhet beaktar osäkerheter på ett sådant sätt att riskvärderingen och förslag på åtgärder bedöms vara robust.

8 Slutsatser

8.1. Byggskedet

Byggskedet kräver inga särskilda skyddsåtgärder utöver de som föreslås för driftskedet. Inga tillfälliga spår kommer att uppföras som påtagligt ändrar avståndet mellan bebyggelse och järnvägsanläggningen på ett annorlunda sätt än vad driftskedet gör. I Boländerna är det av särskild vikt att föreslagna skyddsåtgärder införs när trafiken flyttas över till de nya spåren. I övrigt kan skyddsåtgärderna vara iordningställda i samband med att den utbyggda anläggningen tas i bruk.

8.2. Driftskedet

De skyddsåtgärder som föreslås utmed spåren innebär att individrisken blir acceptabel utmed hela sträckan. Samhällsrisknivån förbättras. Mot bakgrund av allt detta bedöms utbyggnaden medföra en förbättring vad gäller olycksrisker för tredje man utmed sträckan. Konsekvenserna för de boende i Bergsbrunna bedöms bli stora positiva och obetydliga till små positiva längs sträckningen i övrigt.

9 Referenser

- Fredén, S. (2001). *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen*. Banverket.
- Gävle Hamn. (u.d.). *Flygbränsle från Gävle Hamn till Bromma Flygplats*. Hämtat från <https://gavlehamn.se/News/13146/Flygbransle-fran-Gavle-Hamn-till-Bromma-Flygplats> den 09 07 2021
- Länsstyrelsen i Skåne län. (Rapport "Skåne i utveckling" 2007:06, 2007). *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen (RIKTSAM) - bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods*.
- Länsstyrelsen i Uppsala län. (2023:10). *Riskhantering vid transportleder för farligt gods*. ISSB 1400-4712.
- Länsstyrelserna i Skåne län, Stockholms län, Västra Götalands län. (2006). *Riskhantering i detaljplaneprocessen – Riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods*.
- Lönnermark, A., & Bobert, M. (2008). Makadam i tunnlar begränsar vätsebränders intensitet. *BrandPosten*, s. 34.
- Räddningsverket. (1997). *Värdering av risk*. Karlstad: Statens Räddningsverk.
- TNO. (2005). *Guideline for quantitative risk assessment (CPR 18E)*.
- Trafikverket. (2020). *Funktionsutredning: Uppsala C - framtida utformning och anpassning till fyra spår (TRV 2020/90043, Rev 1.0)*.
- UIC. (2013). *Guardrails, final report*. ISBN 978-2-4761-2370-0.

Bilaga till PM risk

Denna bilaga omfattar indata, metodik, modeller som använts för den riskuppskattning som gjorts av järnvägsanläggningen. I bilagan redovisas:

- A. Frekvenser för olycka med farligt gods
- B. Konsekvenser av olyckor med farligt gods
- C. Frekvenser och konsekvenser för mekanisk skada vid urspårning
- D. Risknivåer
- E. Diskussion om modell och indata
- F. Säkerhetshöjande åtgärder
- G. Kartor över områden med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning

A.Frekvenser för olycka med farligt gods

A.1. Generella indata

A.1.1. Olycksriktning

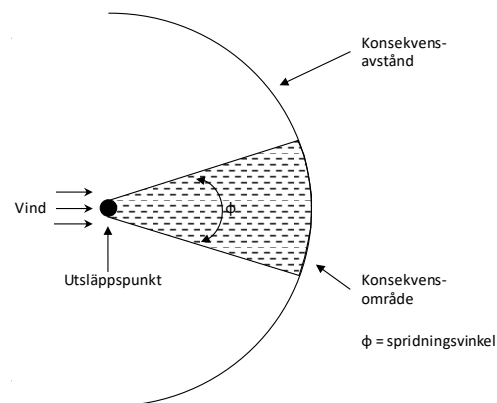
Med "olycksriktning" menas att hänsyn måste tas i vilken riktning som olyckan breder ut sig. Flertalet av scenarierna som kan inträffa är beroende av omgivningsförhållanden som vindriktning, men även olycksförloppets karakteristiska gör att den inte har en cirkulär påverkan. I Tabell 15 redovisas vilken reduktion som görs i samband med beräkning av risk.

Tabell 15. Korrektur för olyckans riktning.

Scenario	Beskrivning	Korrigerings
Giftmoln	Utbredning i vindriktningen ¹⁶ (22°)	$22 / 360 = 0,06$
BLEVE	Cirkulär utbredning	1,0
UVCE	Utbredning i vindriktningen ¹⁶ (22°)	$22 / 360 = 0,06$
Jetflamma	Riktning uppåt, mot eller bort ¹⁷	$2/3 = 0,67$
Pölbrand	Cirkulär utbredning	1,0
Frätande ämne	Riktning mot eller bort ¹⁸	$1/2 = 0,50$
Urspårning	På båda sidor om spåret	1,0

A.1.2. Spridningsvinkel

Giftmoln driver i väg med vinden. Gasen sprids i huvudsak längs med vindriktningen, men även till viss del i sidled. Spridningen i sidled bestäms av en spridningsvinkel, vilken i första hand beror på vindhastigheten. I Figur 23 visas en schematisk bild av spridningsförloppet. Spridningsvinkeln kan beräknas med en metod som visas i Figur 24.



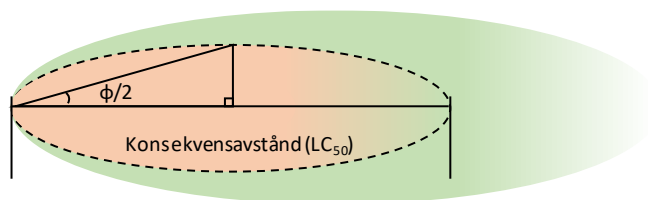
Figur 23. Illustration av konsekvensavstånd, konsekvensområde och spridningsvinkel vid spridning av giftmoln.

¹⁶ I avsnitt A.1.2 redovisas hur spridningsvinkeln beräknats.

¹⁷ Jetflamman antas kunna vara riktad mot området, bort från området eller uppåt. Flammor som är riktade bort från området tas inte med i analysen.

¹⁸ Utsläpp av frätande ämne antas kunna ske mot eller bort från området. Utsläpp som riktas bort tas inte med i analysen.

Vid halva avståndet till LC50 (se Figur 24) längs utsläppets centrumlinje mäts avståndet i sidled ut till samma koncentration. Denna sträcka är den motstående kateten till halva spridningsvinkeln.



Figur 24. Illustration hur spridningsvinkeln kan beräknas med utgångspunkt i gasspridningsmodellen.

Spridningsvinkeln har beräknats för olika väder- och vindförhållanden och redovisas i Tabell 16. Beräkningar har utförts med metodiken redovisad i avsnitt B.

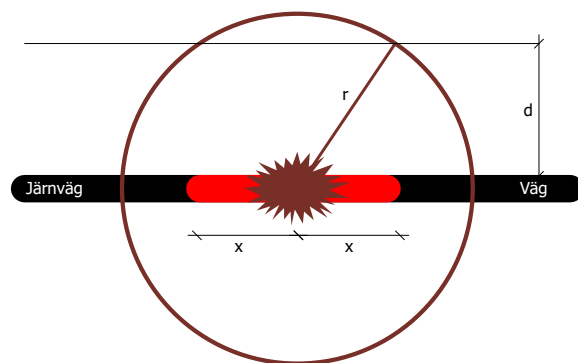
Tabell 16. Sammanställning av spridningsvinkel för olika väder- och vindförhållanden.

Stabilitetsklass	Vindhastighet	Spridningsvinkel
Instabil	1–4 m/s	29–31°
Neutral	2–8 m/s	15–29°
Stabil	1–4 m/s	11–33°

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

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

Olycksfrekvenserna som beräknas utgår från en sträcka på 1 km. Eftersom de flesta olyckor endast påverkar en liten del av denna sträcka är det nödvändigt att korrigera för hur ofta en olycka som har en given utbredning, påverkar en punkt på ett visst avstånd från transportleden. Detta kan göras med en modell som bygger på den som redovisas i Figur 25.



Figur 25. Modell för beräkning av frekvensen att en olycka påverkar ett visst avstånd från transportleden.

Om olyckan har utbredningen r så måste olyckan inträffa på sträckan $2x$ för att ge en påverkan på avståndet d från transportleden. Notera att det endast är intressant att studera de fall där $d \leq r$, eftersom om $d > r$ blir det ingen konsekvens. Med hjälp av Pythagoras sats¹⁹ kan x beräknas och sannolikheten att olyckan med utbredningen r påverkar avståndet d vid en olycksfrekvens angiven per kilometer blir således:

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

A.2. Scenarier

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

Explosivämnen (RID-klass 1)

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

Gaser (RID-klass 2)

Gaser delas in i tre huvudgrupper – de som är brännbara, de som är giftiga och de som inte utgör någon fara för omgivningen. För brännbara gaser behövs kännedom om vilka olyckor som inträffar. Om utsläpp av brännbara gaser sker kan följande inträffa^{20,21}:

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

Brandfarliga vätskor (RID-klass 3)

Följande olyckor beaktas vid utsläpp av brandfarliga vätskor^{20,21}:

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

Oxiderande ämnen och organiska peroxider (RID-klass 5)

Ämnen i RID-klass 5 är delas in i två huvudgrupper – oxiderande ämnen och organiska peroxider. Oxiderande ämnen är brandbefrämjande ämnen som vid avgivande av syre (oxidation) kan initiera eller understödja brand i andra ämnen, samt i vissa fall sönderfalla explosivt genom detonation. Detta kan ske genom ett brandförlopp där ämnet är inneslutet och värms upp under tryckupbyggnad, eller om det blandas med organiskt material. Organiska peroxider är föreningar med instabila peroxidbindningar. Till följd av den kemiska strukturen är organiska peroxider mycket reaktiva, och dess termiska instabilitet

¹⁹ Pythagoras sats anger sambandet mellan sidorna i en rätvinklig triangel där kvadraten på hypotenusan är lika med summan av kvadraterna på kateterna.

²⁰ Purdy, G., Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail, Journal of Hazardous Materials, 33, pp 229-259, 1993.

²¹ CPQRA, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.

kan medföra att ämnet sönderfaller, i vissa fall explosionsartat. Sönderfallet kan initieras av så väl värme och friktion som kontakt med främmande ämne.

De ämnen inom RID-klass 5 som kan leda till kraftiga brand- och explosionsförlopp är i huvudsak ej stabiliserade väteperoxider, vattenlösningar av väteperoxider med över 60 % väteperoxid samt organiska peroxider. Det uppskattats att oxiderande ämne och brandfarlig vätska kommer i kontakt med varandra i 50 % av olyckorna och att det är en sannolikhet på 10 % att explosion sker efter kontakt²², givet att de oxiderande ämnen och organiska peroxider kan orsaka en explosion vid blandning med brännbar vätska.

Giftiga ämnen (RID-klass 6)

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

Frätande ämnen (RID-klass 8)

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

A.3. Olyckor på järnväg

A.3.1. Olycksfrekvens

Fredén²³ har utvecklat en modell för att uppskatta frekvensen för tågurspårning och kollision. Modellen bygger på trafikintensiteten ofta uttryckt i antal vagnaxelkilometer, tåg hastigheten och spårkvaliteten med mera. I genomsnitt antas 3,5 vagnar delta i en urspårning. I Tabell 17 sammanställs de olika olyckstyperna och intensitetsfaktorerna enligt Fredéns modell²³. I huvudrapporten redovisas den beräknade frekvensen för respektive olyckstyp.

Tabell 17. Beräkning av olycksfrekvens för järnvägstrafik.

Olyckstyp	Intensitetsfaktor
Rälsbrott	$5,0 \cdot 10^{-11}$ / vagnaxelkm
Solkurva	$1,0 \cdot 10^{-5}$ / spårkm
Spårlägesfel	$5,9 \cdot 10^{-10}$ / vagnaxelkm
Växel sliten	$5,0 \cdot 10^{-10}$ / passage
Vagnfel	$3,1 \cdot 10^{-9}$ / vagnaxelkm
Lastförskjutning	$4,0 \cdot 10^{-10}$ / vagnaxelkm
Annan orsak	$5,7 \cdot 10^{-8}$ / tågkm
Okänd orsak	$1,4 \cdot 10^{-7}$ / tågkm
Kollision i plankorsning	$5,0 \cdot 10^{-8}$ / tågpassage

²² Riskanalysen i den fördjupade översiktsplanen för Göteborg använder en sannolikhet för explosion på 0,8 %, i jämförelse med 5,0 % som används i denna analys. Kunskapsunderlaget är litet och därför är det nödvändigt med konservativa antaganden.

²³ Fredén, S., Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Rapport 2001:5, Miljösektionen, Banverket, 2001.

A.3.2. Index för farligt godsolycka

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

Explosivämnen i RID-klass 1 kan inte hanteras på samma sätt som övrigt farligt gods. Detta beror på att sannolikheten för en detonation inte är direkt relaterad till det faktum att det sker en olycka där farligt gods läcker ut. Detonation av explosivämnen kan ske antingen genom vagnbrand, genom kollisionsvåld eller genom defekt material/förpackning. Statistik från Storbritannien visar på en frekvens för detonation på $1,1 \cdot 10^{-9}$ per vagnkilometer²⁴.

A.3.3. Sammanställning av frekvenser för enskilda scenarier

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

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

där:

OF	Olycksfrekvensen per år, som beräknas genom att en intensitetsfaktor multipliceras med exponeringen, och summeras för respektive olyckstyp. Se huvudrapporten för specifika data.
$N_{\text{RID-X}}$	Andelen av farligt gods i huvudklass RID-klass 1–9.
$N_{\text{RID-X,X}}$	Andelen inom respektive RID-klass.
$I_{\text{FaGo-olycka}}$	Index för farligt godsolycka.
$P_{\text{kons RID-X,X}}$	Sannolikheten att ett visst scenario inträffar givet utsläpp i en specifik underklass.
K_{riktn}	Korrigeringsfaktor som tar hänsyn till i vilken riktning olyckan breder ut sig.

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

En tabell över beräknade frekvenser redovisas i huvudrapporten.

B. Konsekvenser av olyckor med farligt gods

B.1. Beräkning av konsekvenser

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

Fischer, S. med flera, Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker. Forsvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1998.

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

²⁴ HMSO, Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

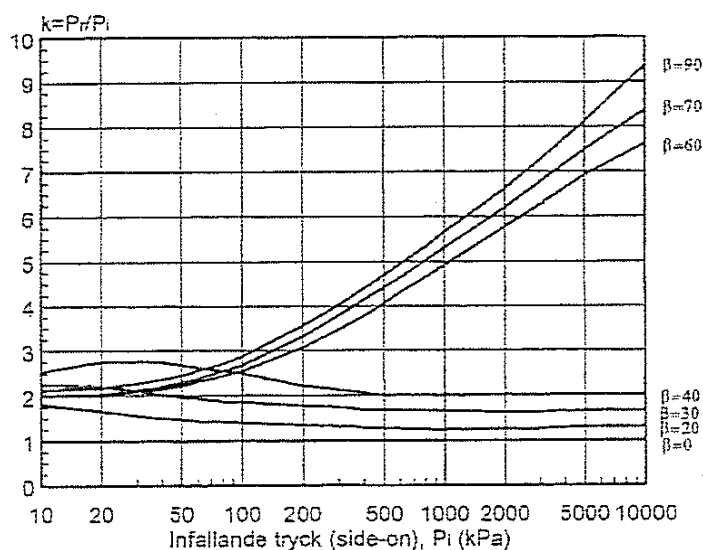
B.1.1. Detonation

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

Inledningsvis beräknas laddningsvikten, vilken är en statistisk fördelning relaterat till förekommande transporter av farligt gods. Laddningsvikten ökas 1,8 gånger för att ta hänsyn till att explosionen sker nära mark (och ej fritt i luften).

Det skalade avståndet ($r/Q^{1/3}$) beräknas där r är avståndet till laddningen och Q är den omräknade laddningsvikten.

Med hjälp av information i Figur 26 kan det infallande fria trycket på ett givet avstånd beräknas. Det fria trycket används sedan för att uppskatta skador på människor och egendom.



Figur 26. Maximalt övertryck respektive kvot mellan reflekterat- och infallande tryck där $\beta = 90$ innebär vinkelrätt tryckinfall (dimensionerande värde).

B.2. Avdunstning

Massflödet vid avdunstning behöver bedömas för att kunna uppskatta effekterna av spridning i luft vid utsläpp av giftig brandfarlig vätska i RID-klass 3. Massflödet beror på karakteristiska för utsläppt ämne (ångtryck, densitet, molekylvikt), vind samt utsläppets area. Beräkningen av massflödet görs genom att utnyttja det dimensionslösa masstransporttalet B med ekvationer²⁵ enligt nedan. Traditionellt används alternativa metoder inom andra ingenjörsciensdiscipliner, men jämförande beräkningar visar att de olika metoderna överensstämmer väl. Nedanstående ekvationer gäller för vätskor vars kokpunkt är högre än omgivningens temperatur.

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

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

²⁵ Andersson, B., *Introduktion till konsekvensberäkningar, några förenklade typfall*, Institutionen för Brandteknik, Lunds universitet, Lund, 1992.

$$Re = \frac{u \cdot D_{eq}}{v} \quad (3)$$

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

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

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

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

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

där

Y_{FW}	Massfraktion bränsle vid ytan i gasfas.
$Y_{F\infty}$	Massfraktion bränsle i luften ovanför bränsleytan.
Y_{FR}	Massfraktion bränsle i vätskepoLEN.
p	Lufttryck = 101,3 kPa.
p_F	Ångtryck för bränsle i kPa.
M_{luft}	Molekylvikt för luft = 28,85 g/mol.
M_F	Molekylvikt för bränsle i g/mol.
B	Dimensionslöst masstransporttal.
Re	Reynolds tal, dimensionslöst.
Nu	Nusselts tal, dimensionslöst.
Pr_{luft}	Prandtls tal för luft, dimensionslöst = 0,71.
u	Vindhastighet, m/s.
D_{eq}	PöLEns ekvivalenta diameter ²⁶ , meter.
A	PöLEns area, meter.
v	Kinematisk viskositet för luft = $15,08 \cdot 10^{-6}$ m ² /s.
h	Konvektivt värmeövergångstal, W/m ² K.
k_{luft}	Konduktivitet för luft = 0,02568 W/mK.
Q''	Massflöde från ytan, kg/m ² s.
Q	Massflöde från ytan, kg/s.
$C_{P_{luft}}$	Värmekapacitet för luft = 1 J/gK.

Det är även möjligt att beräkna hur lång tid det tar för hela pöLEn att förångas.

Förångningshastigheten (massflödet) används sedan som indata till spridningsmodellen.

Om den avdunstande vätskan antänds gäller inte denna modell, utan modellen för beräkning av konsekvensen av en pölbrand (se avsnitt B.2.5).

B.2.1. Utströmning av gas (i vätskefas)

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

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

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

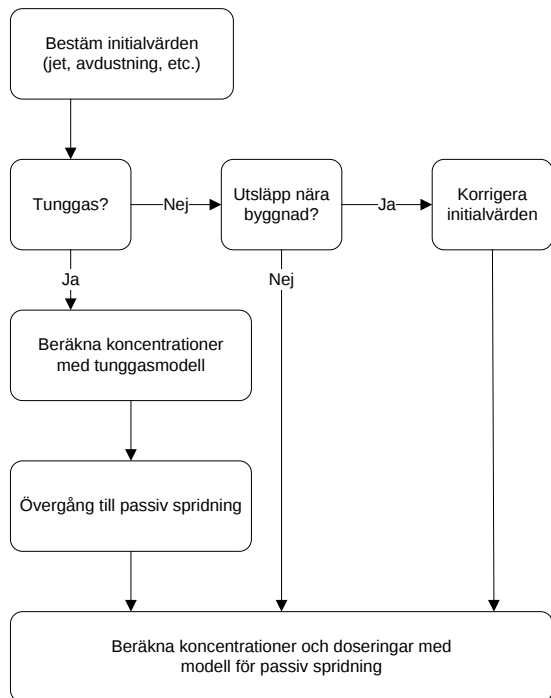
²⁶ Den ekvivalenta diametern används för att skapa en cirkel med samma area som själva vätskepoLEN.

Där

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

B.2.2. Spridning i luft

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



Figur 27. Flödesschema för kontinuerliga utsläpp.

Källmodell

Källmodellen kan antingen vara modellen för avdunstning i avsnitt B.2 eller modellen för bestämning av källstyrka vid utsläpp av tryckkondenserade gaser i avsnitt B.2.1.

Bestäm initialvärden

Värden för den initiala utspädningsprocessen bestäms med följande ekvationer:

Avdunstning

$X = 0$ i pölens kant uppströms i vindriktningen

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

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

Där

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

Tryckkondenserad gas

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

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

Tunggas?

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

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

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

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

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

Där

X	Horisontell koordinat; parallell med vindhastigheten, m
L_b	Längdskala för tunggasutsläpp, meter.
σ_{yp}	Dispersionskoefficientderivata för passiv spridning.
β	0,08 för stabilitetsklass A-D, 0,06 för klass E och 0,04 för klass F.
z_0	Skrovlighetslängd (ytråhet), meter.
z_{03}	Referenslängd för skrovlighet (ytråhet) = 0,03 meter.
g	Tyngdacceleration = 9,81 m/s ² .
M_{Feff}	Effektiv molekylvikt hos bränslet efter hänsyn till temperatur innan utsläpp.
T_a	Lufttemperaturen, K
T_{go}	Gasens temperatur före luftinblandning, K

Eftersom gasens temperatur innan inblandning av luft är densamma som efter luftinblandning är $M_{Feff} = M_F$. Tunggasmodellen ska tillämpas i intervallet $0 \leq x \leq x_{max}$ varefter en övergång till modell för passiv spridning ska göras. Om x_{max} är mindre än noll så ska tunggasmodellen överhuvudtaget inte användas.

Beräkning av koncentrationer med tunggasmodell

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

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

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

Där

X_{max}	Maximal koncentration i vindriktningen, kg/m ³ .
K_r	Korrektionsfaktor för skrovlighet (ytråhet).
K_s	Korrektionsfaktor för atmosfärsstabilitet.

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

Plymens bredd- och höjdmått beräknas med följande ekvationer.

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

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

Där

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

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

Övergång till passiv spridning

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

Beräkning av koncentrationer med modell för passiv spridning

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

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

där

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

Q Utsläppets källstyrka, kg/s.

σ_y, σ_z Dispersionskoefficienter i sid- och höjddled

u Vindhastigheten, m/s.

H Utsläppets höjd, m

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

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

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

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

Tabell 18. Konstanter för olika stabilitetsklasser.

Stabilitetsklass	a_y	b_y	γ_y	a_z	b_z	γ_z
A	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5
B	0,32	0,0004	0,5	0,24	0,001	-0,5
C	0,22	0,0004	0,5	0,20	0	0

Stabilitetsklass	a_y	b_y	γ_y	a_z	b_z	γ_z
D	0,16	0,0004	0,5	0,14	0,0003	0,5
E	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5
F	0,11	0,0004	0,5	0,08	0,0015	0,5

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

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

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

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

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

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

σ_{y0} och σ_{z0} är de initiala dispersionskoefficienterna, vilka väljs utifrån riktlinjerna i avsnitt B.2.2

B.2.3. BLEVE

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

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

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

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

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

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

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

Där

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

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt B.3.3. Sedan har eldklotets radie lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

B.2.4. Jetflamma

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

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

Där

$R_{s,50}$ RiskAvstånd från fastighetsgräns till 50 % dödlighet, meter.

t Exponeringstid vid strålningspåverkan, s.

Q Utsläppets källstyrka, kg/s (se avsnitt B.2.1).

B.2.5. Pölbrand

Strålningen från en pölbrand kan beräknas med nedanstående ekvationer.

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

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

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

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

där:

Q Brandens effekt, kW.

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

Δh_c Förbränningsvärme, kJ/kg.

A_p Pölens area, m².

q_r Avgiven strålning, kW/m².

X_e Strålningsandel.

F_{12} Synfaktor.

X Avstånd mellan eldklotets yta och mottagande föremål, meter.

q_x Mottagen strålning, kW/m².

τ Andel av strålningen som transmittteras genom luften.se avsnitt B.2.3.

Avståndet till 50 % dödlighet beräknas genom att bestämma det avstånd där mottagande strålning är lika med gränsvärdet för kritisk strålningspåverkan enligt avsnitt B.3.3. Sedan har pölens diameter lagts till detta avstånd för att få en korrekt angivelse i förhållande till platsen där olyckan inträffar.

B.2.6. Stänk

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

B.3. Indata

B.3.1. Väder- och vindförhållanden

Väder- och vindförhållanden har betydelse när konsekvenserna av utsläpp av gaser (brännbara eller giftiga) ska bedömas. I Tabell 19 redovisas de värden som använts vid konsekvensberäkningarna.

Tabell 19. Dimensionerande väder- och vindförhållanden.

Stabilitetsklass	Sannolikhet	Vindhastighet (medelvärde)
Instabil	10 %	1,7 m/s
Neutral	50 %	4,4 m/s
Stabil	40 %	2,4 m/s

B.3.2. Ämnesspecifika data

I nedanstående tabeller ges väsentliga indata.

Tabell 20. Generella indata till konsekvensberäkningarna.

Variabel	Enhet	Värde
Atmosfärstryck	[Pa]	101 325
Flödeskoefficient	[-]	Likformig (0,65;0,80)
Höjd på vätskepelare	[m]	Likformig (1,0;2,0)

Tabell 21. Fördelning av hålstorlek. Källstyrkan avser utsläpp av gasol.

Håltyp	Håldiameter	Källstyrka	Sannolikhet, järnväg
Litet	10 mm	1 kg/s	62,5 %
Medel	30 mm	12 kg/s	20,8 %
Stort	110 mm	160 kg/s	16,7 %

Sannolikheten för de olika hålstorlekarna kommer från Räddningsverket²⁷, medan de olika hålstorlekarna bygger på uppskattningar från bland annat Cox²⁸ och CPQRA²⁹.

²⁷ Räddningsverket, Farligt Gods – riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg, 1996.

²⁸ Cox, A.W., Lees, F.P., Ang, meter.L., Classification of Hazardous Locations, ISBN 0-85295-258-9, Institution of Chemical Engineers, Warwickshire 1990.

²⁹ Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, New York, 1989.

Tabell 22. Ämnesspecifika indata.

Variabel	Enhet	Propyle n-oxid	Dimety l-sulfat	Svavel- dioxid	Gasol	Bensi n
Molvikt	[g/mol]	58,1	126	64	76,53	
Densitet vätska	[kg/m ³]	830	1330	1460	605	750
Utsläppt mängd	[ton]	15-25	15-25	15-25	15-25	15-25
Förbränningsvärme	[kJ/kg]	34 845	-	-	46 000	45 000
Strålningsandel	[-]	0,30	-	-	0,30	0,30
Ångtryck	[kPa]	60	0,067		833	
Kokpunkt	[°C]	34	188			
Tanktryck	[kPa]			230	535	
Förbränningshastighet	[m/s]					0,0001
Förbränningshastighet	[kg/m ² /s]					0,048

Trotyl, vilket är det representativa ämnet för explosioner i RID-klass 1 och RID-klass 5 har ett värmevärde på 4,2 MJ/kg och den massa som deltar i explosionen är hämtad från HMSO³⁰ och antar en fördelning enligt Tabell 23 nedan.

Tabell 23. Massa som deltar i explosion i RID-klass 1.

Massa, kg	Ack. sannolikhet	Massa, kg	Ack. sannolikhet
50	1,1 %	1 047	21,4 %
61	1,2 %	1 095	22,3 %
126	1,2 %	1 778	86,5 %
204	3,8 %	2 399	86,8 %
316	20,8 %	16 000	100,0 %
562	21,3 %		

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

³⁰ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

B.3.3. Skadekriterier

Risikanalysen berör skador på människor och de skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck som används redovisas i Tabell 24 nedan. Skadekriterierna representerar LC₅₀-värden, det vill säga den koncentration där 50 % av en population förväntas omkomma, vilka beräknats med probitfunktion för angiven exponeringstid.

Tabell 24. Skadekriterier för giftiga gaser, värmestrålning och tryck.

Skadeverkan	Kritisk påverkan
Explosion – tryck ³¹	260 kPa
Explosion – värmestrålning ³²	43 kW/m ²
Värmestrålning – BLEVE ³²	31 kW/m ²
Värmestrålning – brandfarliga varor ³²	14 kW/m ²
Toxicitet – giftig gas ³³	2 200 mg/m ³ (860 ppm)
Toxicitet – lättflyktig, giftig vätska ³⁴	4 900 mg/m ³ (2 000 ppm)
Toxicitet – giftig vätska ³⁵	186 mg/m ³ (35 ppm)

B.4. Resultat

Modeller, indata, skadekriterier samt väder- och vindförhållanden används för att beräkna konsekvensen av ett utsläpp. Konsekvensen antas inträffa i det område där koncentrationen, trycket eller värmestrålningen överskrider ett visst gränsvärde för dödlighet. Gränsvärdet för dödlighet bestäms av den påverkan som bedöms orsaka en dödlighet på 50 % av en population. För att avgöra vid vilket avstånd detta inträffar översätts 50 % dödlighet med hjälp av så kallade probitfunktioner till en fysikalisk parameter (toxisk koncentration (LC₅₀) eller kritisk värmestrålning).

Ytterligare en förenkling är nödvändig för att kunna genomföra beräkningarna. Det ansätts att inom området 100 till 50 % dödlighet omkommer alla människor och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Denna förenkling är nödvändig för att kunna ta fram de olika riskmått. Vid en verklig olycka kan människor som befinner sig inom riskområdet komma att överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt och följer principerna i CPQRA³⁶.

³¹ HMSO, *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices*, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

³² Eldklotets varaktighet för explosion är cirka 7 sekunder och för BLEVE cirka 11 sekunder. För värmestrålning från pölbränder gäller en exponeringstid på 30 s. Beräkningar av kritisk strålning sker enligt metodik redovisas i "CPR 16E, *Methods for the determination of possible damage*. Committee for the prevention of disasters, The Netherlands, 1992".

³³ Representeras av svaveldioxid, 30 minuters exponering.

³⁴ Representeras av propylenoxid, 30 minuters exponering.

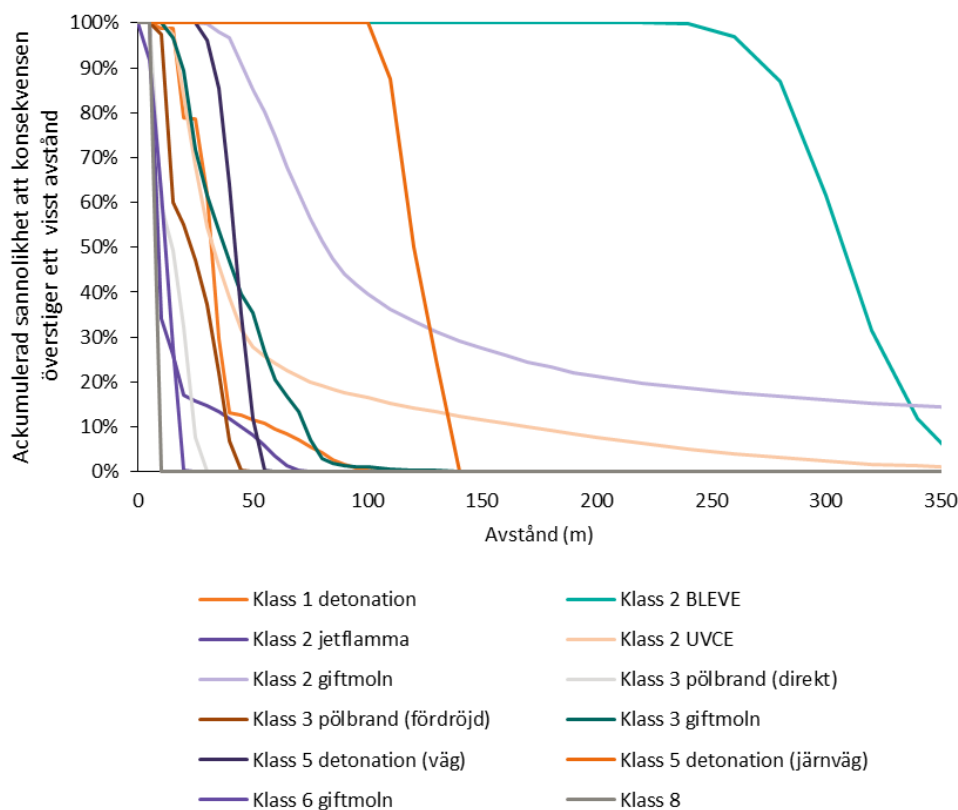
³⁵ Representeras av dimetylsulfat, 30 minuters exponering (TEEL-3).

³⁶ CPQRA, *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1989.

Ytterligare en nödvändig förenkling är att förutsätta att samtliga personer befinner sig oskyddade, i fri siktlinje med olycksplatsen. Då flertalet av variablerna beskrivs med sannolikhetsfördelningar i stället för punktvärden, utgör också resultatet statistiska fördelningar.

B.4.1. Konsekvensområde, enbart skyddsavstånd

I Figur 28 visas konsekvensområdet i form av en statistisk fördelning när olyckans utbredning inte påverkas av någon säkerhetshöjande åtgärd.



Figur 28. Konsekvensområde vid olycka med farligt gods. Figuren visar en fördelning av konsekvensområdet vid olyckor av en viss typ. Exempelvis ger en BLEVE alltid ett skadeutfall som överstiger 240 meter och 10 % av olyckorna som orsakar en BLEVE når 340 meter eller längre.

Informationen i Figur 28 kan översättas till ett medelvärde för olyckan samt med ett konfidensintervall, inom vilket det är 95 % säkerhet att konsekvens inträffar. I Tabell 25 redovisas dessa värden.

Tabell 25. Medelvärde, samt en bedömning av konfidensintervallets övre gräns för de olika olycksscenariernas utbredning.

Scenario	Riskområde i meter	
	50 %	95 %
Klass 1 detonation → tryck	35	80
Klass 2 BLEVE → brännskada	320	360
Klass 2 jetflamma → brännskada	10	60
Klass 2 UVCE → brännskada	35	260

Scenario	Riskområde i meter	
	50 %	95 %
Klass 2 giftmoln → förgiftning	85	1 000
Klass 3 pölbrand (direkt) → brännskada	15	30
Klass 3 pölbrand (fördröjd) → brännskada	25	45
Klass 3 giftmoln → förgiftning	40	80
Klass 5 detonation (väg) → tryck	45	55
Klass 5 detonation (järnväg) → tryck	120	140
Klass 6 giftmoln → förgiftning	15	20
Klass 8 → frätskada	10	10

Syftet med Tabell 25 är endast att beskriva spridningen i konsekvensens utbredning på ett tydligare sätt. Störst avvikelse från medelvärde (50 %) har olyckor som medför spridning till luft (UVCE och giftmoln). Detta beror på att koncentrationen i en given punkt kan variera mycket beroende på källstyrka, vindhastighet och atmosfärsförhållanden.

B.4.2. Konsekvensområde vid begränsning av vätskeutbredning

I Tabell 26 redovisas hur den ackumulerade sannolikhetsfördelningen ändras när en säkerhetshöjande åtgärd som begränsar utbredningen av vätskor används. Informationen i Tabell 26 används för att ta fram sannolikhetsfördelningar lika de som redovisas i avsnitt B.4.1, vilka sedan används för att beräkna risknivåer.

Tabell 26. Jämförelse av konsekvensområde utan och med säkerhetshöjande åtgärd som begränsar utbredningen av vätskor.

Avstånd	Klass 3 pölbrand direkt		Klass 3 pölbrand fördröjd		Klass 3, giftmoln		Klass 6, giftmoln	
	Utan	Med	Utan	Med	Utan	Med	Utan	Med
0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	22%
5	100%	63%	100%	99%	100%	100%	92%	-
10	59%	40%	98%	57%	100%	94%	62%	-
15	49%	4%	60%	43%	97%	81%	28%	-
20	32%	-	55%	19%	89%	60%	-	-
25	8%	-	47%	1%	72%	48%	-	-
30	-	-	37%	-	62%	39%	-	-
35	-	-	22%	-	54%	30%	-	-
40	-	-	7%	-	47%	25%	-	-
45	-	-	-	-	40%	20%	-	-
50	-	-	-	-	35%	14%	-	-
55	-	-	-	-	27%	8%	-	-

	Klass 3 pölbrand direkt		Klass 3 pölbrand fördröjd		Klass 3, giftmoln		Klass 6, giftmoln	
Avstånd	Utan	Med	Utan	Med	Utan	Med	Utan	Med
60	-	-	-	-	21%	3%	-	-
65	-	-	-	-	17%	2%	-	-
70	-	-	-	-	13%	2%	-	-
75	-	-	-	-	7%	1%	-	-
80	-	-	-	-	3%	1%	-	-
85	-	-	-	-	2%	1%	-	-
90	-	-	-	-	1%	1%	-	-
95	-	-	-	-	1%	1%	-	-
100	-	-	-	-	1%	-	-	-
105	-	-	-	-	1%	-	-	-

C.Frekvenser och konsekvenser för mekanisk skada vid urspårning

Sannolikheten för att ett tåg som har spårat ur ska kollidera med något beräknas med ekvationen nedan, som används för enkelspår³⁷:

$$P_{2,Enkel} = [(b - a)/b]^2 \times 0,5 \times c/d$$

Där

- b* maximal lateral urspårningssträcka mätt från spårmit, vilken kan beräknas med $V^{0,55}$ där V är hastighet vid urspårning i km/tim.
- a* vinkelrätt avstånd (m) från spårmit till studerat avstånd.
- c* avståndet parallellt med spåret som löper risk att bli påkört av ett urspårat tåg på avståndet a . Beräknas för $a = 0, 1 \dots 14, 15$ meter med:
 $c = (d / b) \times (b - a)$ om $b > a$. Om $b < a$ blir $c = 0$
- d* längsta urspårningssträckan parallellt med spåret, vilken beräknas genom $V^2/80$ där V är hastigheten vid urspårning i km/tim.

Beräkning av P_2 görs separat för gods- och passagerartåg.

I Tabell 27 redovisas värden för parametern c givet olika hastigheter samt olika vinkelräta avstånd från spåret (parameter a). Vid ökat avstånd från spåret minskar sträckan som löper risk att träffas av tåget.

³⁷ UIC, "UIC Code 777-2, Structures built over railway lines, 2nd edition," International Union of Railways, 2002.

Tabell 27. Sträcka parallell med spåret som påverkas beroende på hastighet och avstånd från spåret.

Avstånd	70 km/tim	100 km/tim	160 km/tim	200 km/tim	250 km/tim
5	32	75	222	364	594
10	2	26	124	229	406
15	-	-	26	93	219
20	-	-	-	-	31
25	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-

I Tabell 28 redovisas sannolikheten att påverkas av en urspårning (P_2) beroende på hastighet och avstånd från spåret (parameter α).

Tabell 28. Sannolikhet att påverkas av en urspårning beroende på hastighet och avstånd från spåret.

Avstånd	70 km/tim	100 km/tim	160 km/tim	200 km/tim	250 km/tim
5	6,9%	11,0%	16,7%	19,3%	22,0%
10	0,002%	0,4%	2,9%	4,8%	7,0%
15	-	-	0,03%	0,3%	1,1%
20	-	-	-	-	0,003%
25	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-

Värden i Tabell 28 används tillsammans med olycksfrekvenser och antalet gods- respektive passagerartåg för att beräkna riskbidrag med avseende på urspårning.

D. Risknivåer

D.1. Individrisk

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

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

Urspårningsolyckor

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

Olyckor med farligt gods

Frekvenserna för respektive scenario finns angivna i avsnitt A.3.3. Dessa frekvenser kombineras med sannolikhetsfördelningen för konsekvensens utbredning redovisad i avsnitt B och sannolikheten att ett område påverkas från avsnitt A.1.3. Beräkningsgången exemplifieras i avsnitt D.1.1 och D.1.2.

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

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

D.1.2. Beräkning av individrisk

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

D.2. Samhällsrisk

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

D.2.1. Indata

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

Befolkningstäthet (befolkning)

Uppgifter om befolkning redovisas i huvudrapporten.

Påverkansområde

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

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

Påverkansområdet (m^2) vid cirkulär utbredning bestäms genom att använda olyckans utbredning som radie och därefter beräkna den yta ($A = \pi r^2$) som påverkas. Om det finns ett bebyggelsefritt område ska beräknat påverkansområde minskas med ytan som detta område

upptar. Vid konformad utbredning beräknas konsekvensområdet på liknande sätt efter kännedom om spridningsvinkeln³⁸ ($A = \varphi \pi r^2$).

D.2.2. Beräkning av samhällsrisk

Beräkningen av samhällsrisk sker med hjälp av statistisk simulering där värden slumpas fram från de fördelningar som representerar indata till modellen. Modellen består av ett antal ”frågor”, vilka besvaras med hjälp av de fördelningar som beskriver indata, se Tabell 29. En iteration består av att samtliga frågor i Tabell 29 besvaras.

Tabell 29. Modell för beräkning av samhällsrisk.

Fråga	Svarsalternativ	Kommentar
Vilken tidpunkt?	Dag Natt	Bestämmer hur många människor som är utomhus. Se avsnitt D.
Vilket scenario?	Urspårning Klass 1 detonation Klass 2 BLEVE Klass 2 jetflamma Klass 2 UVCE Klass 2 giftmoln Klass 3 pölbrand (direkt) Klass 3 pölbrand (fördröjd) Klass 3 giftmoln Klass 5 detonation Klass 6 giftmoln Klass 8	Se avsnitt A.3.3 för information om frekvenser.
Riskområde?	0 - 1 000 m	Bestämmer hur långt från olycksplatsen som dödsfall kan inträffa. Information finns i avsnitt B.
Påverkansområde?	Cirkulärt Konformat Rektangulärt	Avgör hur stor yta som påverkas av olyckan. Se avsnitt D.

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

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

³⁸ Mer information om spridningsvinkeln (φ) finns i avsnitt A.1.2.

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

Samtliga personer som vistas utomhus inom påverkansområdet antas omkomma. För personer som befinner sig inomhus omkommer en viss andel av personerna. I Tabell 30 redovisas de bedömningar som använts för att uppskatta andelen omkomna inomhus^{39,40}.

Tabell 30. Andel av personer inomhus som omkommer vid viss skadeverkan.

Skadeverkan	Andel inomhus som omkommer
Urspråring	50 %
Tryckskada	50 %
Brännskada	10 %
Förgiftning	10 %
Frätskada	0 %

E. Diskussion om modell och indata

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

E.1. Beräkningsmodeller

Modellerna som används för att beräkna konsekvenser av olyckor bygger i huvudsak på information som finns tillgänglig i den så kallade FOA-handboken⁴¹, som utgör praxis vid beräkningar av konsekvenser. Alla modeller är förknippade med osäkerheter, men innehållet i FOA-handboken frekvent används vid riskbedömningar för dessa osäkerheter mindre betydelse när resultatet jämförs med praxis för riskvärdering. Någon ytterligare diskussion om modellosäkerheter görs inte.

³⁹ TNO, Guideline for quantitative risk assessment, CPR 18E.

⁴⁰ Stadsbyggnadskontoret i Göteborg. Översiktsplan för Göteborg - Fördjupad för sektorn transporter av farligt gods, Bilagor 1-5. 1997.

⁴¹ Fischer, S. m.fl., Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor. Metoder för bedömning av risker. Forsvarets Forskningsanstalt, Stockholm, 1997.

E.2. Indata

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

Väder- och vindförhållanden

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

Generella indata och ämnesspecifika uppgifter

Exempel på generella indata är flödeskoefficienter och höjd på vätskepelare (i tanken), samt de hålstorlekar som kan uppkomma vid en olycka. Hålstorlekarna är de samma som använts i RIKTSAM, med sannolikheter från VTI⁴²:

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

Dessa hålstorlekar är betydligt större än de som redovisas av Räddningsverket⁴³ där håldiametrar på 3, 9 respektive 31 mm används, vilket ger källstyrkor på 0,1–20 kg/s. En brittisk studie⁴⁴ använder 2 respektive 35 kg/s i sina beräkningar.

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

Det är tre variabler som har störst betydelse för konsekvensområdet för gasutsläpp som driver i väg med vinden – hålstorleken, vindhastigheten och stabilitetsklassen. Variablernas inbördes betydelse är 7 – 2 – 1, vilket innebär att det är hålstorleken som dominerar konsekvensområdets storlek. Kunskapsunderlaget för val av källstyrkor är sparsamt, men valda värden är konservativa i förhållande till andra modeller och riktlinjer.

Skadekriterier

Riskanalysen berör skador på människor och använder olika skadekriterier för exponering av giftiga gaser, värmestrålning och tryck. Konsekvensområdet bestäms av avståndet från utsläppskällan till en punkt där en dödlighet på 50 % inträffar. En förenkling som görs i enlighet med metodik redovisad i CPQRA⁴⁵ är att anta att alla människor omkommer inom området 100 till 50 % dödlighet och i området 50 till 0 % omkommer ingen. Vid en verklig

⁴² Väg- och Trafikforskningsinstitutet, Konsekvensanalys av olika olycksscenarier vid transport av farligt gods på väg och järnväg, rapport nr 387:4, 1994.

⁴³ Räddningsverket, Farligt gods – riskbedömning vid transport, 1996.

⁴⁴ HMSO, Major hazard aspects of the transport of dangerous substances – report and appendices, Advisory Committee on Dangerous Substances, Health & Safety Commission, London, 1991.

⁴⁵ Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, New York, 1989.

olycka kan människor som befinner sig inom konsekvensområdet överleva samtidigt som människor utanför kan omkomma. Användningen av 50 % dödlighet skall därför ses som ett genomsnitt.

Den exponering som ger 50 % dödlighet kallas även för LC_{50} -värde. LC_{50} -värdet kan bestämmas med kännedom om exponering och tid. CPR 18E46 har använts som inspiration för de exponeringstider som används, vilka är 30 minuter för giftig gas och 30 sekunder för brännskada.

E.3. Slutsatser

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

F. Säkerhetshöjande åtgärder

F.1. Skydd mot urspårning

Skydd mot urspårning kan ordnas med skyddsräl, skyddsmur eller vall. Under förutsättning att de utformats enligt gällande regelverk bedöms de ha en effektivitet enligt nedan:

- Skyddsräler har en effektivitet på 100 % för hastigheter upp till 160 km/tim. För hastigheter som överstiger 160 km/tim antas effektiviteten vara 0 %.
- Skyddsmur och vall har en effektivitet på 100 % oavsett hastighet.

F.2. Skydd mot brandspridning

En pölbrand uppkommer vid utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor. Strålningsvärmen från dessa bränder är intensiv samtidigt som den avtar exponentiellt med avståndet. strålningsnivån ska understiga det värde på 14 kW/m² som ger upphov till 2:a gradens brännskador respektive det värde på 15 kW/m² som ger brandspridning till byggnader⁴⁷.

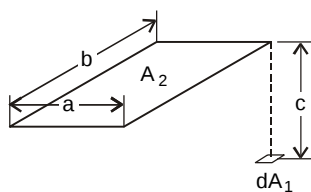
För att kunna bedöma på vilket avstånd som det finns risk för brandspridning görs beräkningar av värmestrålning för en dimensionerande pölbrand⁴⁸ på 200 m², vilket ger en flamma som är 21 meter hög och 16 meter bred. Utgående strålning från branden är 43 kW/m² och för att brandspridning/brännskador inte ska ske måste synfaktorn understiga 0,33. Synfaktorn understiger detta värde på cirka 15 meters avstånd från branden.

⁴⁶ TNO, Guideline for quantitative risk assessment, CPR 18E.

⁴⁷ Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av brandskydd i byggnader, BBRAD3, BFS 2011:27 med ändringar t.o.m. 2013:12.

⁴⁸ Brandens yta på 200 m² motsvarar ytan som ett stort läckage av en hel tank, cirka 20 m³, resulterar i. Kolväten brinner med en förbränningshastighet på 0,1 kg/m²s, vilket ger en effektutveckling på cirka 370 MW för en pöl på 200 m².

Beräkningarna redovisas nedan och gäller för motstående ytor (fasader parallella med spårområdet). Notera att avståndet (c) är det som söks för att synfaktorn (F_{d1-2}) inte ska överstiga 0,33.



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

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

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

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

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

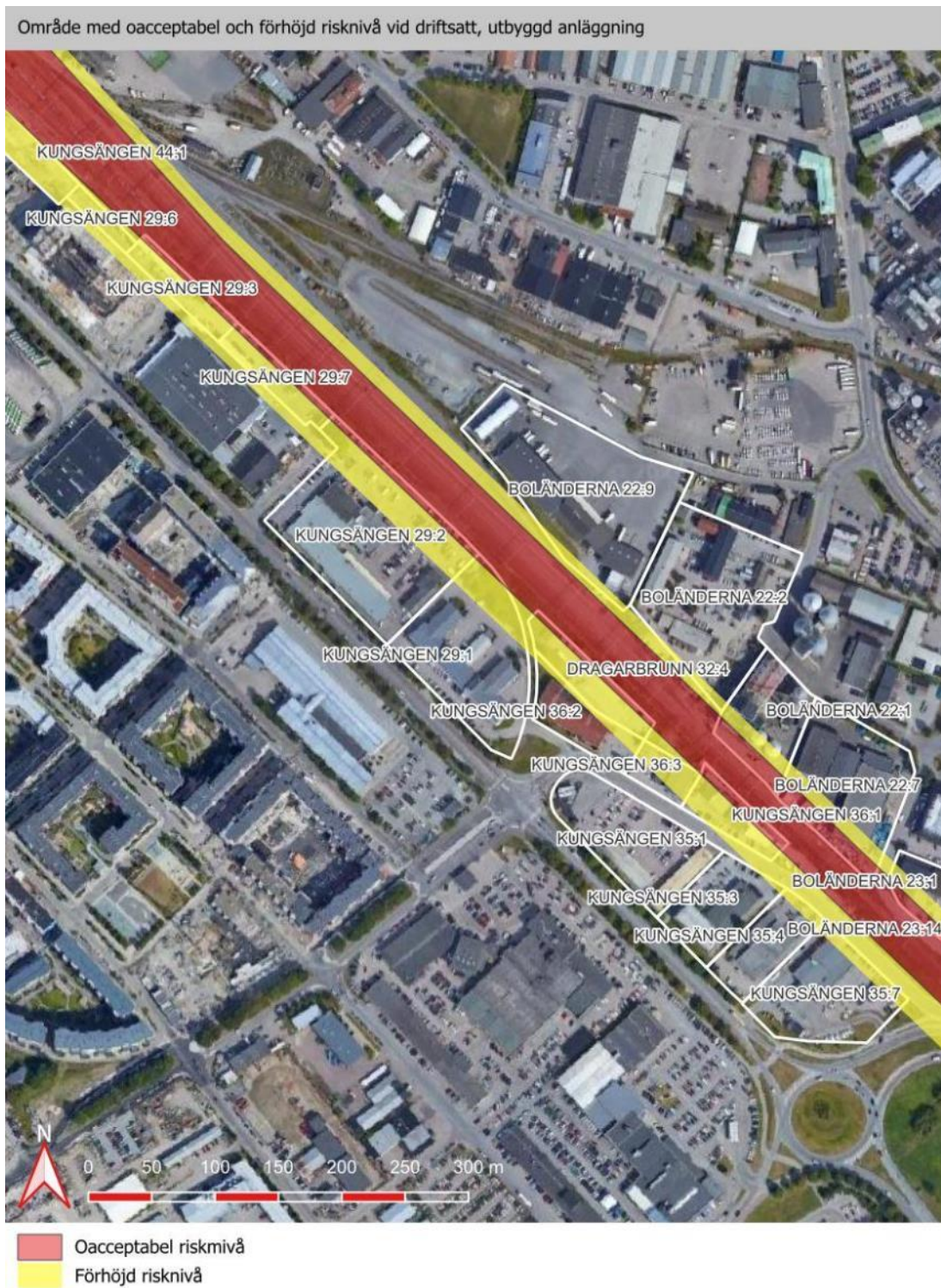
Beräkningarna ovan visar att ett skyddsavstånd på 15 meter är tillräckligt för att undvika brandspridning och brännskador. Men, då avståndet ska mätas från pölens närmaste kant mot byggnaden uppstår några osäkerheter. Det är rimligt att anta att pölen breder ut sig mot planområdet och dess diameter är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

G. Områden med oacceptabel och förhöjd risknivå

I Figur 29-Figur 35 visas områden med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning.



Figur 29. Område i centrala Uppsala med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning.



Figur 30. Område i Kungsängen och Boländerna med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning.



Figur 31. Område i Boländerna med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning.

Område med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning



Figur 32. Område i Säby med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning.



Figur 33. Område i norra Bergsbrunna med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning.



Figur 34. Område i södra Bergsbrunna med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning.

Område med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning



Figur 35. Område söder om Bergsbrunna med oacceptabel och förhöjd risknivå vid driftsatt, utbyggd anläggning.

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1.
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 020-600 650

trafikverket.se