
RAPPORT

EXPLOATERINGSKONTORET

Årstafältet riskutredning

UPPDRAGSNUMMER 1151132200

RISKUTREDNING MED AVSEENDE PÅ FARLIGT GODS



Version 2

2017-05-30

SWECO ENVIRONMENT AB

MARTIN BJARKE
MARIKA KARRAS
LINDA HALLBERG

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål	1
1.3	Riskdefinition	1
1.4	Tillvägagångssätt och avgränsningar	2
2	Riktlinjer	5
2.1	Länsstyrelsen i Stockholms län	5
2.2	Kriterier för värdering av risk	6
3	Förutsättningar	9
3.1	Områdesbeskrivning	9
3.1.1	Vindriktning	10
3.2	Transport av farligt gods	11
3.3	Trafikmängder	11
4	Riskbedömning farligt gods på väg 226	14
4.1	Sannolikhetsberäkningar	14
4.2	Sammanställning över konsekvensavstånd	14
4.3	Individrisk	15
4.4	Samhällsrisk	16
4.5	Osäkerheter och känslighetsanalys	18
4.5.1	Förenklingar	18
4.5.2	Konservativa antaganden	18
4.5.3	Känslighetsanalys	18
5	Värdering och åtgärdsförslag	19
6	Referenser	22

Bilagor

Bilaga A	Sannolikhetsberäkningar
Bilaga B	Konsekvensberäkningar

1 Inledning

I samband med detaljplanering för den nya bebyggelsen vid Årstafältet har Sweco bland annat fått i uppdrag av Stockholm Stad att genomföra en bedömning av risker för människor inom utredningsområdet. Detaljplanens syfte är att möjliggöra en skola om tre våningar intill Huddingevägen.

1.1 Bakgrund

Stockholm växer och behovet av bostäder med god anslutning till kollektivtrafik är stort. Därför planerar Stockholm Stad att skapa en ny stadsdel med 6000 lägenheter för omkring 15 000 personer på Årstafältet strax söder om innerstaden. Fältet utgörs idag av parkmark med öppna gräsytor, kolonilotter och områden för idrott och rekreation. Det centrala läget som bostäderna kommer hamna i, i kombination med till parkområdet som ska finnas kvar och förbättras, gör att fördelarna med utbyggnaden av området konstaterats väga upp de negativa konsekvenserna. Arbetet sker i flera etappområden och denna rapport avser bebyggelse i etapp 4 och 9.

Området för den planerade skolan ligger vid Huddingevägen som är en sekundär transportled för farligt gods. En sekundär transportled är inte avsedd för genomfartstrafik men det kan gå lokala transporter av farligt gods mellan de primära genomfartslederna och en eller flera målpunkter.

I samband med föreliggande utredning görs en platsspecifik kartläggning av transporter av farligt gods för att få en detaljerad bild av risksituationen.

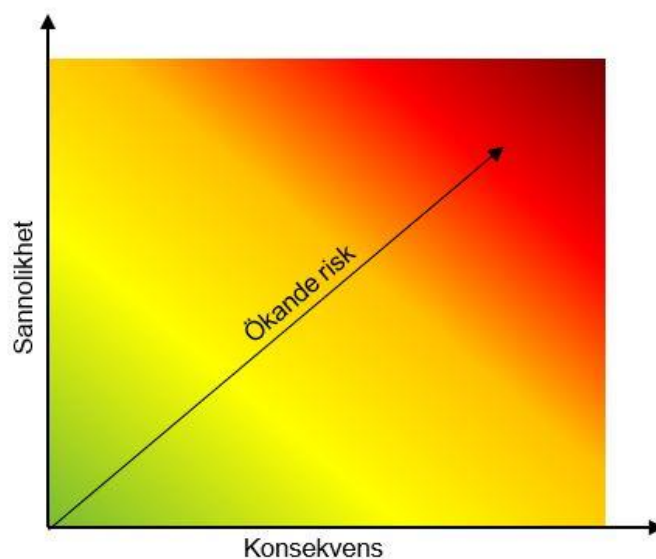
1.2 Syfte och mål

Riskbedömningen ska utreda förutsättningar för etablering och vilka eventuella skyddsåtgärder som behöver vidtas i detaljplanen för att uppnå en acceptabel risknivå för skola i området. Om skola inte kommer vara möjligt ur riskbedömningssynpunkt ska uppdraget utreda förutsättningar för etablering av bostäder eller kontor, samt eventuella skyddsåtgärder som behöver vidtas i detaljplanen för att kunna tillåta sådan byggnation.

Syftet med denna riskutredning är att säkerställa att risksituationen med avseende på identifierade riskkällor är acceptabel för människor i utredningsområdet. Förslag på riskreducerande åtgärder för att uppnå detta ges där så anses vara motiverat.

1.3 Riskdefinition

Risk brukar normalt definieras som en sammanvägning av sannolikheten för en oönskad händelse och konsekvensen av denna händelse. Sannolikheten beskriver hur troligt det är att oönskade händelsen inträffar och konsekvensen beskriver omfattningen av de skador som kan uppstå. Figur 1 illustrerar hur risken ökar med ökande sannolikhet och/eller konsekvens av en händelse.



Figur 1. Ökande risk beroende av sannolikhet och konsekvens.

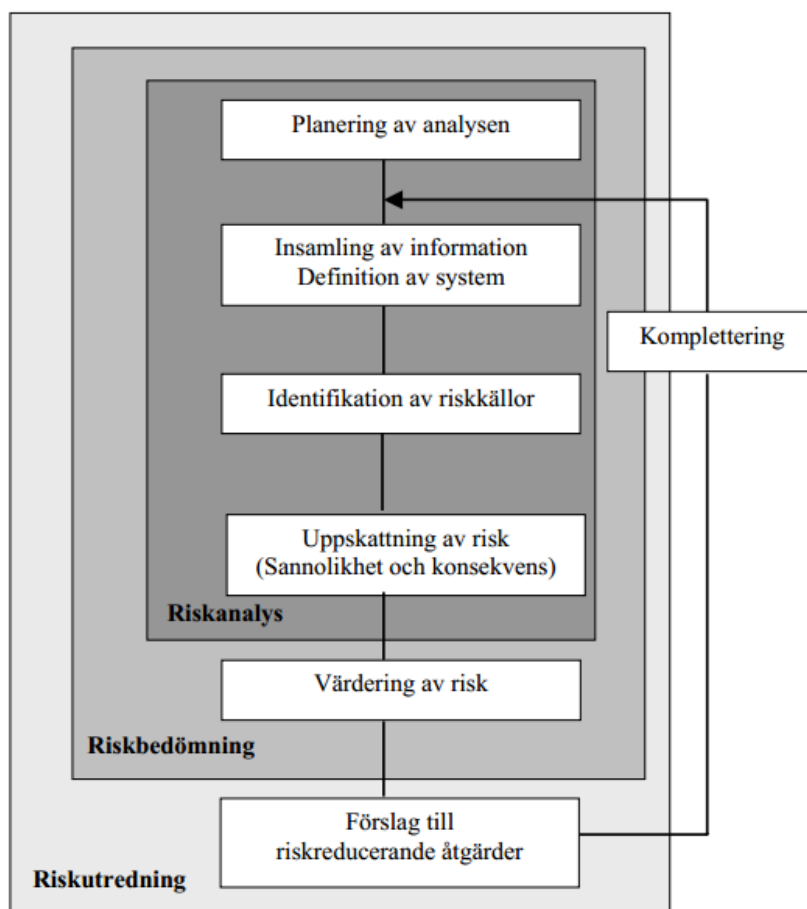
1.4 Tillvägagångssätt och avgränsningar

Denna riskutredning omfattar eventuella tillståndspliktiga farliga verksamheter och transport av farligt gods inom utredningsområdet och i utredningsområdets närhet som kan utgöra fara för människoliv.

Riskutredningen har genomförts i följande steg:

- Områdes- och nulägesbeskrivning
- Riskinventering
- Riskberäkningar
- Riskvärdering
- Beskrivning av osäkerheter
- Förslag på riskreducerande åtgärder

Se Figur 2 för principskiss över arbetsgång.



Figur 2. Principskiss för innehållet i en riskutredning (källa: SÄIFS 2000:2)

I bedömningen beräknas risknivån med måtten individrisk och samhällsrisk.

Riskmättet individrisk beskriver sannolikheten för dödliga skador i anslutning till en eller flera riskkällor under ett år. Individrisk tar ej hänsyn till hur många människor som vistas i närheten av riskkällan utan förutsätter att en person befinner sig oskyddad på samma avstånd från riskkällan dygnet runt under ett år. Måttet brukar beskrivas som ett rättighetsbaserat mått eftersom det utifrån måttet går att avgöra om enskilda individer utsätts för oacceptabelt hög risk.

Samhällsrisk beskriver risken med hänsyn till hur många människor som kan omkomma om det sker en olycka vid riskkällan. Hänsyn tas då till den områdesspecifika personstätheten inomhus och utomhus samt hur denna varierar över dygnet. Konsekvenserna beräknas utifrån medelpersonstätheten. Samhällsrisken presenteras i ett så kallat F/N-diagram (Frequency of accidents/Number of fatalities). I F/N-diagrammet kan man avläsa sannolikheten för att en eller flera personer omkommer i anslutning till riskkällan.

I beräkningarna ingår att beskriva sannolikheten för dödsfall vilket kan relateras till tillgängliga riktlinjer för riskvärdering. Detta antas ge en tillräcklig beskrivning av risker eftersom man genom att begränsa risken för att omkomma även begränsar risken för allvarliga skador på människor. Beskrivning av allvarliga personskador görs därför ej.

Beräkningarna av sannolikhet för olycka med farligt gods och händelseträd redovisas mer utförligt i Bilaga A och Bilaga B. Konsekvensberäkningar redovisas i Bilaga B. Vilka intervall och sannolikhetsfördelningar som använts redovisas i Bilaga A och B.

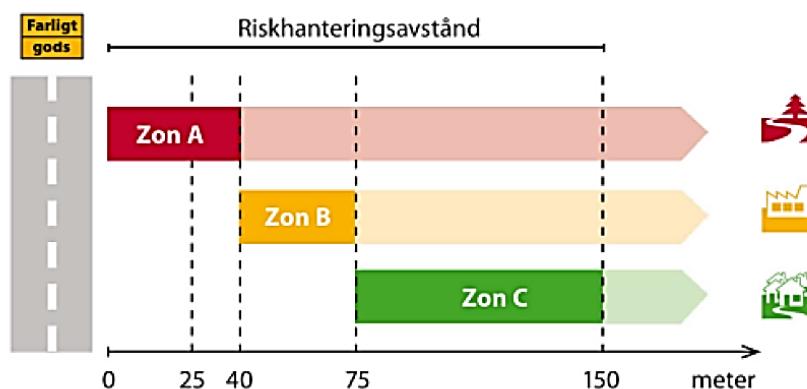
Beräkningarna har gjorts med Monte Carlo-simuleringar, vilket innebär att sannolikhetsfördelningar har antagits för de ingående parametrarna vilket till skillnad från medelvärdesberäkningar ger möjlighet att redovisa osäkerheter och känslighetsanalys på ett mer utförligt sätt. Simuleringar med 5000 iterationer har genomförts i beräkningarna.

2 Riktlinjer

Det finns inga nationellt fastställda riktlinjer för hur samhällsplanering ska anpassas till transporter med farligt gods. Däremot finns det ett antal regionala och kommunala riktlinjer som flera regioner brukar hänvisa till och som därför kan vara vägledande i denna riskbedömning. Nedan presenteras översiktligt de riktlinjer som Länsstyrelsen i Stockholms län har publicerat avseende vilka skyddsavstånd de rekommenderar mellan bebyggelse och transportleder för farligt gods.

2.1 Länsstyrelsen i Stockholms län

Länsstyrelsen Stockholm publicerade 2016 *Riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods*. Där bedöms att risker från vägar med transport av farligt gods bör utredas om utredningsområdet ligger inom ett avstånd på 150 meter. För bebyggelse intill en primär led för farligt gods rekommenderas ett skyddsavstånd på 75 meter för bostäder (se Figur 3).



Figur 3. Zonindelning för markanvändning intill transportled för farligt gods enligt skriften "Riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods" (Länsstyrelsen i Stockholms län 2016).

För sekundär led för farligt gods konstaterar Länsstyrelsen att det är "svårt att göra en allmängiltig vägledning för sekundära leder eftersom riskbilden kan variera väldigt mycket mellan olika leder".

Länsstyrelsen anser dock att det behövs ett bebyggelsefritt avstånd på minst 25 meter till markanvändning så som bostäder, vård, handel, skola och kontor.

Generellt anser Länsstyrelsen att det är lämpligt att jämföra framräknad individ- och samhällsrisk med de förslag på acceptanskriterier som presenteras i Räddningsverkets rapport Värdering av risk (1997) då dessa har blivit vedertagna under senare år och det för tillfället saknas bättre underlag. Samhällsrisk gäller då i första hand i områden med hög exploateringsgrad eller personintensiva verksamheter.

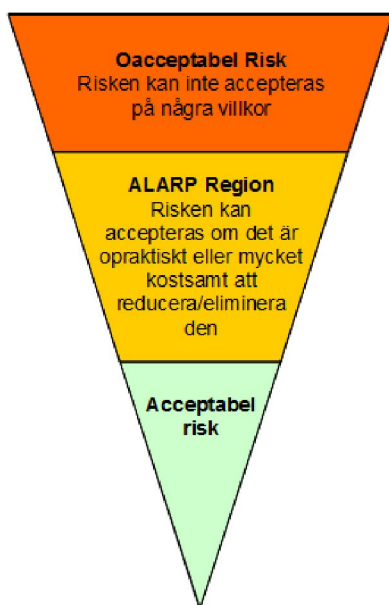
2.2 Kriterier för värdering av risk

Följande vägledande skälighetsprinciper för riskvärdering presenteras i Räddningsverkets¹ rapport *Värdering av risk* (1997):

- **Rimlighetsprincipen:** En verksamhet bör inte innebära risker som med rimliga medel kan undvikas. Detta innebär att risker som med teknisk och ekonomiskt rimliga medel kan elimineras eller reduceras alltid skall åtgärdas, oavsett risknivå.
- **Proportionalitetsprincipen:** De totala risker som en verksamhet medför bör inte vara oproportionerligt stora jämfört med de fördelar som verksamheten medför.
- **Fördelningsprincipen:** Riskerna bör vara skäligt fördelade inom samhället i relation till de positiva effekter som verksamheten medför. Detta innebär att enskilda personer eller grupper inte bör utsättas för oproportionerligt stora risker i förhållande till de fördelar som verksamheten innebär för dem.
- **Principen om undvikande av katastrofer:** Riskerna bör hellre realiseras i olyckor med begränsande konsekvenser som kan hanteras av tillgängliga beredskaps-resurser än i katastrofer.

I rapporten anges även acceptanskriterier för värdering av risker presenterade med riskmåttan individrisk och samhällsrisk. Dessa kriterier är avsedda att tillämpas för allmänheten (även kallad tredje man).

Acceptanskriterierna presenteras i form av ett intervall, vilket vanligen kallas för ALARP-området (As Low As Reasonably Practicable) och följer principen i Figur 4.



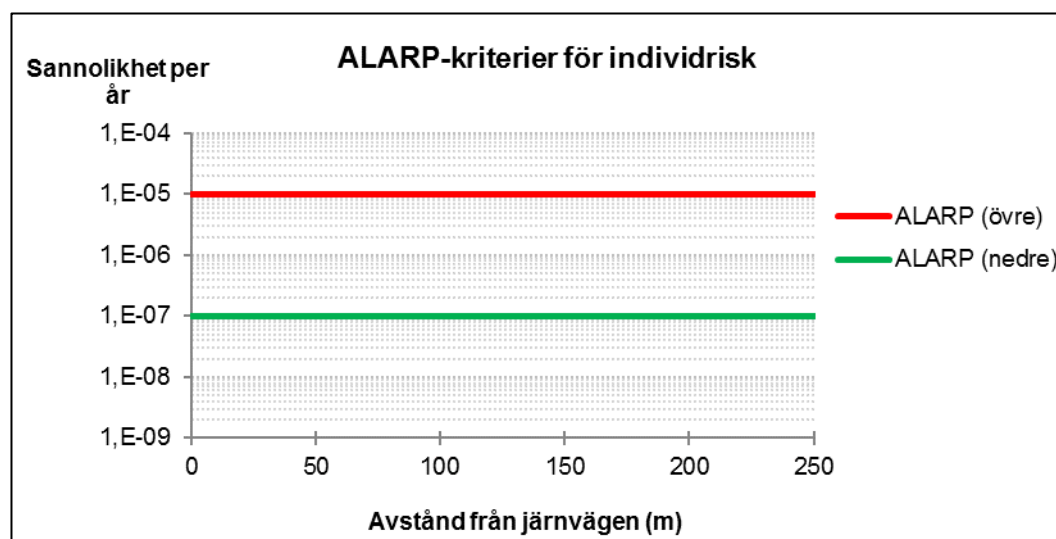
Figur 4. ALARP-principen.

¹ Nuvarande Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.

Dessa acceptanskriterier har använts som underlag vid bedömning om riskerna inom det aktuella området bör reduceras genom åtgärder. De individriskkriterier som används i denna utredning presenteras i Tabell 1 och Figur 5.

Tabell 1. Föreslagna acceptanskriterier för individrisk (Räddningsverket, 1997).

Kriterium	Sannolikhet
Övre gräns för individrisk (där åtgärder måste vidtas)	10 ⁻⁵ per år
Undre gräns för individrisk (där risken kan anses vara liten)	10 ⁻⁷ per år

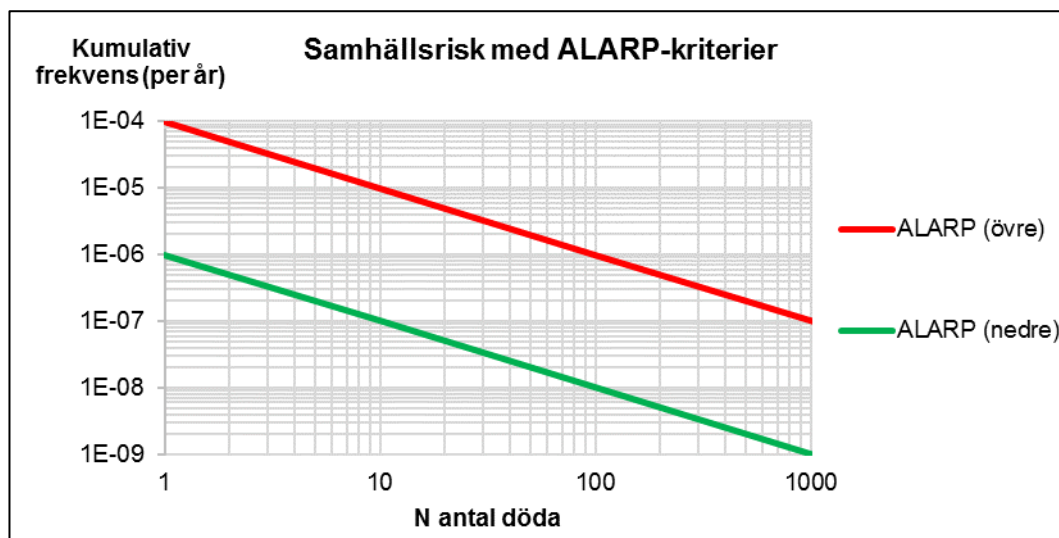


Figur 5. Föreslagna acceptanskriterier för individrisk (Räddningsverket, 1997)

I Tabell 2 och Figur 6 presenteras samhällsriskkriterierna, dessa gäller per kilometer väg.

Tabell 2. Föreslagna acceptanskriterier för samhällsrisk för en 1 kilometer lång sträcka med exponering på båda sidorna av riskkällan (Räddningsverket, 1997)

Kriterium	Antal omkomna	Sannolikhet
Övre gräns för acceptabel samhällsrisk	1	10 ⁻⁴ per år
	10	10 ⁻⁵ per år
	100	10 ⁻⁶ per år
Undre gräns för acceptabel samhällsrisk	1	10 ⁻⁶ per år
	10	10 ⁻⁷ per år
	100	10 ⁻⁸ per år



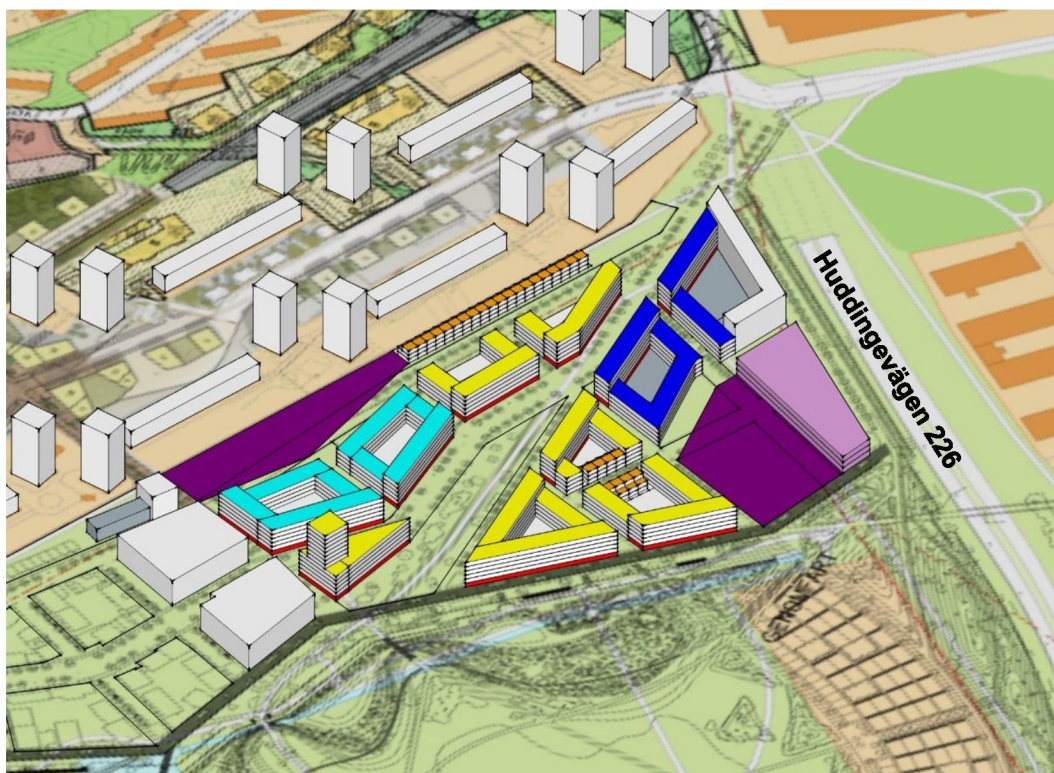
Figur 6. Föreslagna acceptanskriterier för samhällsrisk för en 1 kilometer lång sträcka med exponering på båda sidorna av riskkällan (Räddningsverket, 1997).

3 Företsättningar

3.1 Områdesbeskrivning

Utredningsområdet är en del av Årstafältet, beläget i stadsdelen Årsta i strax stöder om Stockholm stad. Det planeras bostäder, skola och kontor inom området. De planerade husen kommer förbindas med lokalator och promenadstråk.

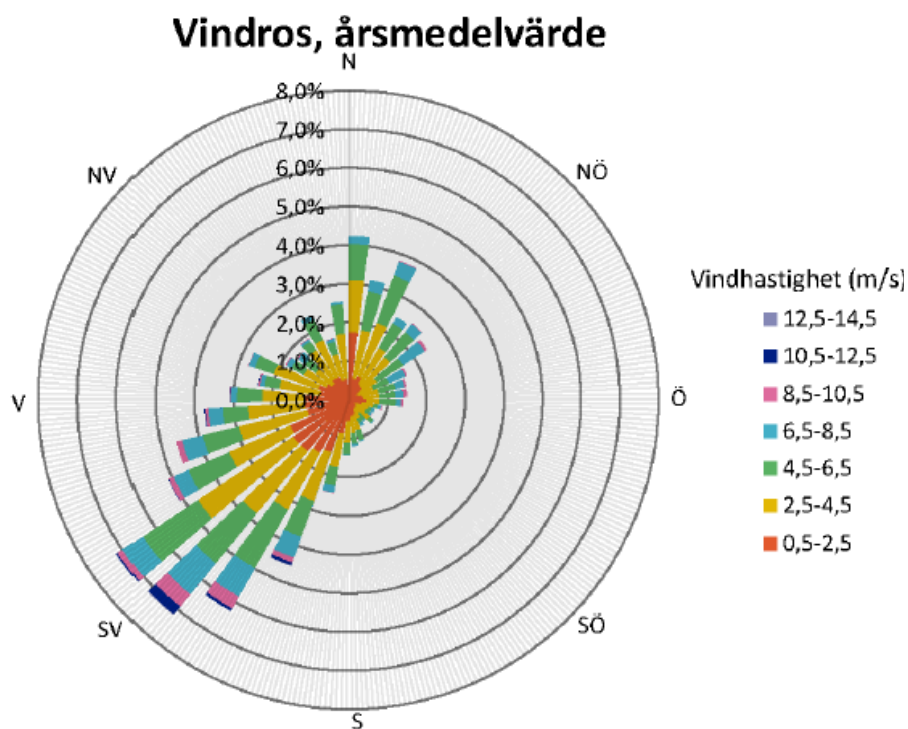
Utredningsområdet angränsar till befintlig bostadsbebyggelse i norr, planerad bebyggelse i väst och syd och till Huddingevägen (väg 226) i öst. Huddingevägen, som sluter an till Södra länken öster om Årstafältet, är rekommenderad sekundär transportled för farligt gods (NVDB 2016). Vägen har två körfält i respektive riktning, där norr- och södergående fält separeras med räcke. Hastighetsbegränsningen på vägen är 70 km/h.



Figur 1. Förslag på bebyggelse för etapp 4, skolan i detta förslaget är den vita byggnaden längs med Huddingevägen.

3.1.1 Vindriktning

Nedan är presenteras en vindros för Bromma som tagits fram i vindstudie som gjorts för Årstafältet (White 2013). Det är alltså vanligast att det blåser från sydväst, vilket innebär att olycksscenario med utsläpp av gas i de flesta fall inte kommer att drabba utredningsområdet.



Figur 7. Vindros Bromma mätstation för hela året. Medelvind 3,8 m/s.

3.2 Transport av farligt gods

Farligt gods är ämnen och produkter som har sådana farliga egenskaper att de kan skada människor, miljö och egendom vid en olycka alternativt felaktig hantering vid transport och lagring. Vissa ämnen utgör en mer direkt risk och andra ämnen utgör en risk först efter långvarig exponering.

Farligt gods delas enligt MSBFS 2015:1 (ADR-S) in i nio huvudklasser enligt Tabell 3.

Tabell 3. Klasser av farligt gods enligt ADR-S.

Klass	Ämnen
1	Explosiva ämnen
2.1	Brandfarliga gaser
2.2	Icke giftiga, icke brandfarliga gaser
2.3	Giftiga gaser
3	Brandfarliga vätskor
4.1	Brandfarliga fasta ämnen
4.2	Självantändande ämnen
4.3	Ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten
5.1	Oxiderande ämnen
5.2	Organiska peroxider
6.1	Giftiga ämnen
6.2	Smittförande ämnen
7	Radioaktiva ämnen
8	Frätande ämnen
9	Övriga farliga ämnen och föremål

Det är främst farligt gods i form av explosiva ämnen, brandfarliga och giftiga gaser, brandfarliga vätskor samt oxiderande ämnen och organiska peroxider (ADR-klasserna 1, 2.1, 2.3, 3, 5.1) som förväntas kunna leda till dödliga konsekvenser bortom vägens direkta närområde.

3.3 Trafikmängder

Att uppskatta hur många lastbilar med farligt gods som kör på svenska vägar är förenat med vissa osäkerheter. Det saknas detaljerad statistik över hur många transporters som sker och de undersökningar som gjorts inom Sverige visar att variationen är stor mellan olika år. Nationell statistik visar att transporter av farligt gods under år 2015 utgjorde cirka 1,4 % av det totala antalet inrikes godstransporter med svenska lastbilar (Trafikanalys 2016). Att en okänd andel utgörs av utländska lastbilar försvårar uppskattningen av mängderna.

För att uppskatta antalet transporter med farligt gods kan man antingen utgå från statistiken och trafikmängder på vägen eller utföra en lokal kartläggning. Huddingevägen är en sekundär led för farligt gods, vilket innebär att den inte är avsedd för genomfartstrafik utan för transporter till specifika målpunkter i området. Därför har det varit möjligt att kunna göra en kartläggning över vilka typer av transporter och hur många som går på vägen förbi utredningsområdet.

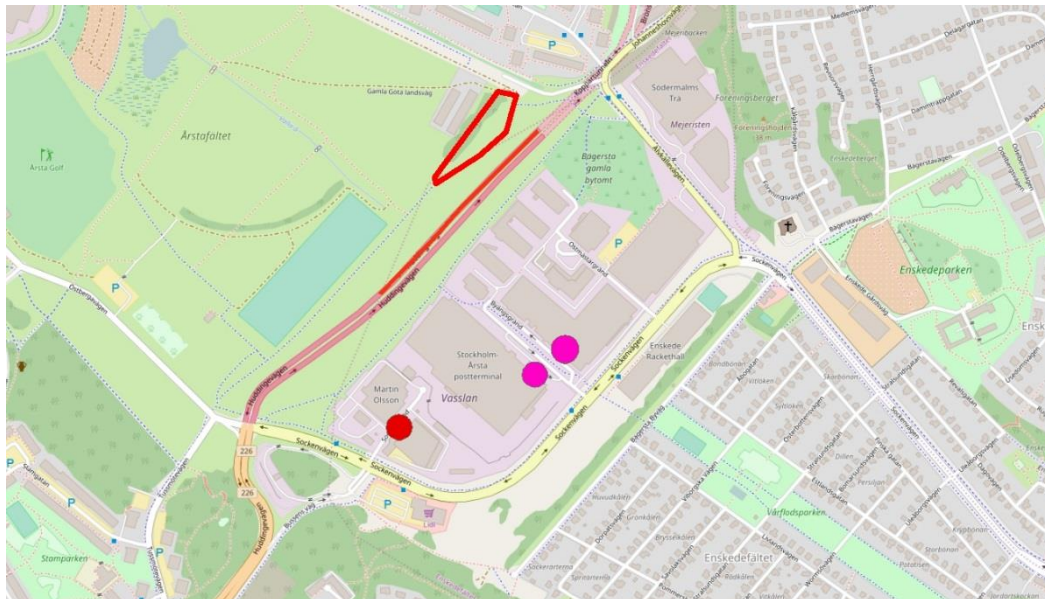
Längs med vägen har 6 tankstationer identifierats som kan tänkas ha transporter förbi utredningsområdet. Efter kontakt med tankstationerna framkom det att de i genomsnitt har 2-3 transporter per vecka till stationerna. I den fortsatta analysen antas att varje station genererar 3 transporter i veckan, vilket totalt blir 18 transporter i veckan.

Även två tankställen för fordonsgas har identifierats längs sträckan. Dessa tankställen får vardera 1 transport per dag, 7 dagar i veckan, vilket blir 14 transporter i veckan. I sammanställningen i Tabell 4 görs det konservativa antagandet att alla transporter går på Huddingevägen förbi det aktuella området.

Utöver nämnda drivmedelstransporter har tre verksamheter identifierats som kan tänkas ha transporter förbi utredningsområdet.

1. AGA (Sevesoanläggning) har en anläggning i Älvsjö, dit det anländer 8 gastransport per vecka för att lastas om till flaskor som sedan körs ut till kund ². Cirka sex utgående transporter med gasflaskor sker per dygn. AGA tar även emot transporter med
2. Ask Chemicals Scandinavia AB (Sevesoanläggning) har en anläggning i Älvsjö. Utifrån miljörapporten bedöms inte större hantering av brandfarliga vätskor eller gaser vara aktuellt, och därmed är inte några betydande transporter av dessa aktuella.
3. Bodycote Värmebehandling AB (2.4 verksamhet) har en anläggning i Älvsjö, där det enligt uppgift från kund kommer ca 20 transporter om året innehållande brandfarlig gas, brandfarlig vätska och giftig gas.

² Mailkontakt med Erik Molin, AGA Gas, 2017-04-13.



Figur 8. Planområde i närheten till Huddingevägen samt närmsta bensinstation (röd) och två verksamheter med tillstånd för brandfarlig vara (rosa).

Efter kontakt med de olika verksamheterna har en sammanställning över vilka transporter av farligt gods som sker på Huddingevägen gjorts, se Tabell 4.

Tabell 4. Sammanställning av farligt gods transporter förbi utredningsområdet.

ADR-klass	Kategori ämne	Antal transporter (per år)
2.1	Gaser, brandfarliga	1099 tankbilstransporter 2184 flaktransporter
2.3	Giftig gas (Ammoniak)	4
3	Brandfarliga vätskor	946
Totalt		4233 / år

Riskanalysen har gjorts för prognosåret 2030. Det är osäkert hur antalet transporter med farligt gods kommer att förändras till dess, men den totala trafikmängden förväntas öka från omkring 30 000 år 2015 till 39 000 år 2030. År 2012 var trafikflödet på Huddingevägen 34 000 fordon per dygn.

Kartläggningen visar att det i genomsnitt passerar 81 transporter med farligt gods i veckan förbi utredningsområdet vilket motsvarar 11-12 per dygn. Eventuell ökning av antalet transporter med farligt gods bedöms ligga inom felmarginalen för beräkningarna.

4 Riskutredningfarligt gods på väg 226

För att beräkna individ- och samhällsrisk används följande beräkningsgång:

1. Beräkning av frekvenser för trafikolycka med farligt gods på väg 226
2. Uppdelning av farligt gods olycka per farligt gods klass
3. Beräkning av sannolikhet för påverkan på behållare med farligt gods
4. Beräkning av sannolikhet för olika konsekvenser givet utsläpp av farligt gods
5. Beräkning av frekvens att omkomma på olika avstånd från väg 226
6. Beräkning av samhällsrisk beroende på persontäthet på olika avstånd från väg 226.

4.1 Sannolikhetsberäkningar

Här följer en kort sammanfattning av resultaten från de detaljerade beräkningar som redovisas i Bilaga A:

- Sannolikhet per år för olycka med utsläpp av brandfarlig gas: $7,6 \cdot 10^{-6}$
- Sannolikhet per år för olycka med utsläpp av giftig gas: $2,8 \cdot 10^{-8}$
- Sannolikhet per år för olycka med utsläpp av brandfarlig vätska: $6,5 \cdot 10^{-4}$

För de klasser av farligt gods som transporteras på Huddingevägen är följande scenarion aktuella:

- Klass 2.1 BLEVE: $1,7 \cdot 10^{-7}$
- Klass 2.1 Jetflamma: $1,5 \cdot 10^{-6}$
- Klass 2.1 Gasmolnexplosion (UVCE): $3,4 \cdot 10^{-6}$
- Klass 2.3 Giftigt gasmoln: $2,7 \cdot 10^{-8}$
- Klass 3 Pölbrand: $4,5 \cdot 10^{-5}$
- Klass 3 Fördröjd gasmolnsbrand: $6,6 \cdot 10^{-7}$

4.2 Sammanställning över konsekvensavstånd

Utifrån ett examensarbete (Alvarsson & Jansson 2016) som jämfört konsekvensavstånd i olika riskbedömningar, kompletterat med beräkningar utförda av Sweco och andra experter (t.ex. Wuz 2012), har tabellen nedan tagits fram för de ämnen som transporteras på Huddingevägen. Tabellen åskådliggör vilka scenarier som kan uppkomma kopplat till respektive klass och konsekvensavstånd kopplade till dessa. Avstånden har använts som ingångsparametrar i beräkningarna av individ- och samhällsrisk längs Huddingevägen där även sannolikheter för respektive scenario ansatts.

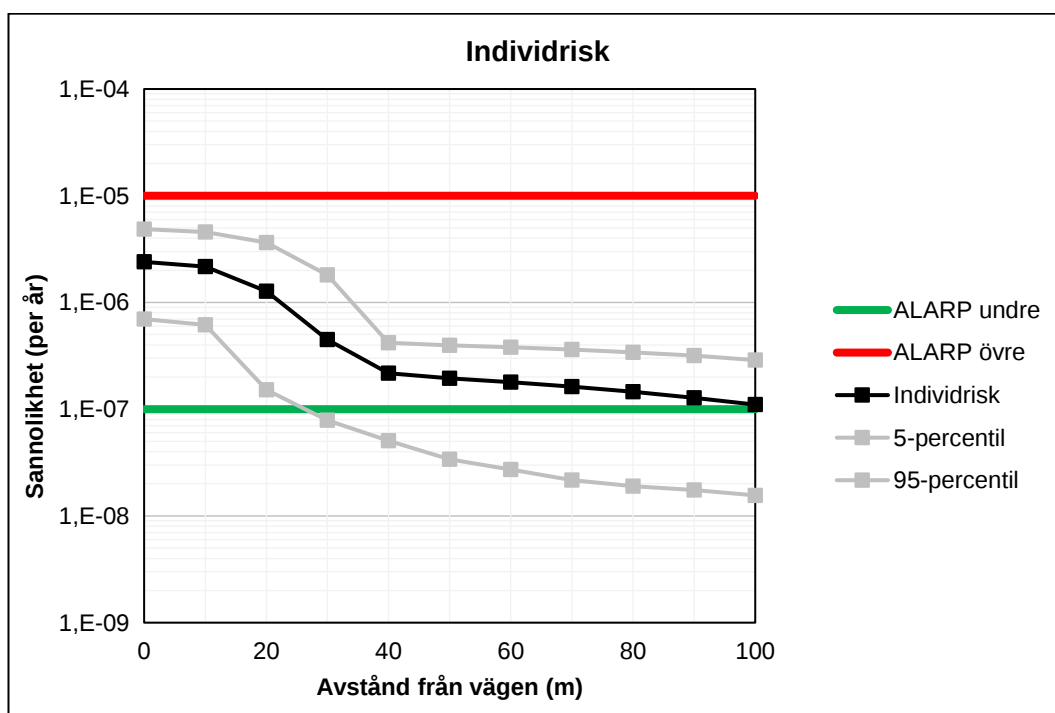
Tabell 5. Fördelning över konsekvensavstånd som används i beräkningarna.

Konsekvensavstånd	Scenario	Min	Troligt	Max
Klass 2.1	BLEVE	200		400
	Jetflamma	10		150
	Gasmolnexplosion	0	100	400
Klass 2.3	Giftigt gasmoln	50	150	1000
Klass 3	Pölbrand	10	20	40
	Fördröjd antändning /gasmolnsbrand	20		50

4.3 Individrisk

Resultatet från beräkningar av individrisk längs den aktuella delen av Huddingevägen redovisas i Figur 9. Beräkningarna visar att individrisken är inom området där åtgärder ska övervägas. Osäkerheterna i beräkningarna är relativt stora, men eftersom kriterierna är på en logaritmisk skala blir de ändå hanterbara. Det visar dock att det är svårt att peka ut exakta avstånd där riskkriterier uppnås, vilket är förväntat.

Individrisken är relativt hög ($>1 \cdot 10^{-6}$) fram till mellan ca 20 och 35 meter om medelvärdet och 95-percentilen beaktas.



Figur 9. Området mellan de grå linjerna representerar 90 % av de 5000 simuleringarna som gjorts och är alltså ett mått på osäkerheten i beräkningarna.

4.4 Samhällsrisk

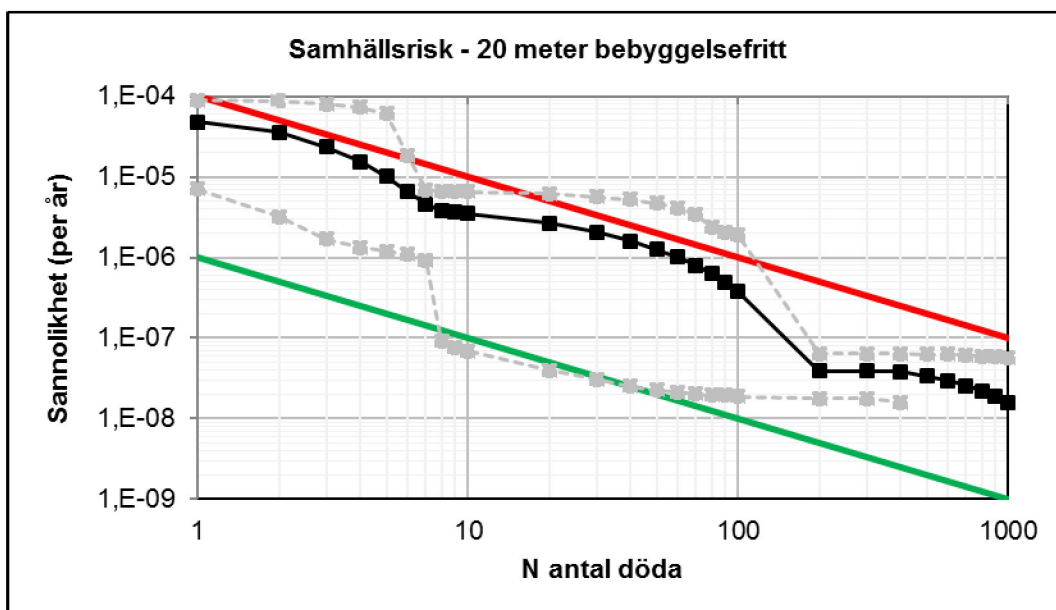
Samhällsrisk har beräknats för ett område inom 150 meter från Huddingevägen. För samhällsriskberäkningarna har persontäthet antagits enligt Tabell 6.

Tabell 6. Persontäthet som använts i beräkningarna.

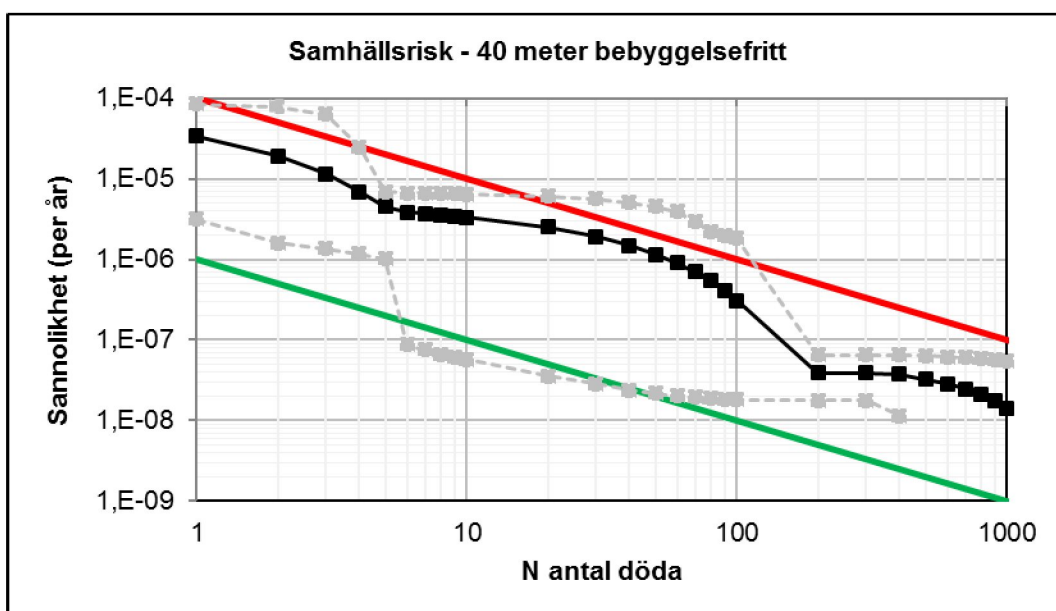
	Andel utomhus (dag)	Andel inomhus (dag)	Andel utomhus (natt)	Andel inomhus (natt)	Persontäthet (inv/km ²)
Bebyggelsefritt	100%	0%	100%	0%	200
Bebyggelse	5%	95%	1%	99%	6000

Ett bebyggelsefritt avstånd med låg persontäthet antas fram till 20 meter från vägen, varefter bebyggelse motsvarande normal tätort antas. Beräkningarna visar att samhällsrisknivån i Huddingevägens närhet är inom det området där åtgärder bör vidtas (Figur 10).

Som en jämförelse har också beräkningarna genomförts för ett bebyggelsefritt avstånd på 40 meter (Figur 11). Det visar att samhällsrisken sjunker något om detta avstånd hålls, men att effekten inte är betydande. Detta beror på att det på vägen transporteras relativt stora mängder gasol, med längre konsekvensavstånd än 40 meter.



Figur 10. Samhällsrisik för Huddingevägen längs Årstafältet. Området mellan de grå linjerna representerar 90 % av de 5000 simuleringarna som gjorts och är alltså ett mått på osäkerheten i beräkningarna.



Figur 11. Samhällsrisik för Huddingevägen längs Årstafältet. Området mellan de grå linjerna representerar 90 % av de 5000 simuleringarna som gjorts och är alltså ett mått på osäkerheten i beräkningarna.

4.5 Osäkerheter och känslighetsanalys

Beräkningarna av individ- och samhällsrisk är förknippad med osäkerheter, t.ex. avseende uppskattade godsmängder, sannolikheter för identifierade olyckshändelser och konsekvenser varav några diskuteras nedan.

Variationen som ligger till grund för känslighetsanalysen och osäkerhetsintervallen är i huvudsak baserade på bedömningar av osäkerheten och inte grundad på någon egentlig statistisk spridning.

4.5.1 Förenklingar

En av de mer betydande förenklingarna som görs i denna rapport är att flaktransporter med gasolflaskor antas motsvara brandfarlig vätska när det gäller sannolikheten för utsläpp och konsekvensavstånd.

4.5.2 Konservativa antaganden

Flera konservativa antaganden har gjorts, det vill säga sådana antaganden som säkerställer att risknivån snarare överskattas än underskattas. Detta har gjorts för att säkerställa att riskerna inte underskattas så att tillräckliga riskreducerande åtgärder föreslås. Antagandena medför att risknivåerna i verkligheten troligen är lägre än de risknivåer som beräknats i denna utredning.

Ett exempel är att konsekvensberäkningarna grundar sig på antagandet att alla ämnen inom respektive klass av farligt gods utgörs av det ämne inom klassen som kan ge allvarligast konsekvenser (konsekvensavstånden för giftig gas bygger exempelvis på svaveldioxid, med längre konsekvensavstånd än ammoniak).

Även antagandet att alla transporter som målpunkterna tar emot går på Huddingevägen bedöms som konservativt liksom att dessa transporter är fulla.

Vidare har vindriktningen antagits alltid vara riktad mot planområdet i beräkningarna, när man studerar vindrosen i avsnitt 3.1.1 ser man att det är troligast att vinden är riktad bort från planområdet.

4.5.3 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys har gjorts för beräkningarna av individrisken vid 20 meters avstånd. Den visar att den största osäkerheten i resultatet beror på variationen av konsekvensavstånd för pölbrand. Därefter följer sannolikheten för att en pöl antänds och sen sannolikheten att ett läckage på en tank uppstår. Detta är parametrar som kan variera mycket beroende på olyckans omfattning och händelseförlopp och det är därmed naturligt att de har stor påverkan på utfallet av beräkningarna.

För samhällsrisk och sannolikheten att 10 eller fler omkommer är variationen i konsekvensavstånd för jetflamma och gasmolnexplosion mest avgörande.

5 Diskussion kring åtgärder

I Länsstyrelsen i Stockholms läns riktlinjer rekommenderas ett bebyggelsefritt avstånd på minst 25 meter mellan väg med transport av farligt gods och markanvändning i form av till exempel bostäder, skola, kontor/handel eller tillfällig vistelse. Man poängterar att det för sekundära leder är svårt att ta fram allmängiltiga vägledningarna då riskbildningen kan skilja sig mycket från väg till väg, både gällande sannolikhet och konsekvenser för olyckor.

Bebyggelsefritt avstånd har den fördelen att det inte kräver något underhåll och ger ett skydd mot samtliga typer av olycksscenario. Det är en robust åtgärd, men om markvärdet är högt kan det bli relativt kostsamt.

Byggnadstekniska åtgärder kan göra det möjligare att bygga närmare vägen, men ökar kostnaderna i vissa fall. Det kan dock räcka med att välja material som inte är brännbara alternativt är brandklassade för att uppnå skydd mot att värmestrålning från en brand leder till antändning av fasaden. Gällande obrännbart material för fasaden har det visats att treglasfönster kan stå emot en strålning upp till 20 kW/m² utan att gå sönder eller leda till temperaturer på insidan som leder till brännskada (Klassen 2006). Beräkningar visar att denna strålningseffekt även för större pölbränder inte övergår ca 25 meters avstånd (exempelvis Trafikverket 2010).

Ej öppningsbara fönster minskar sannolikheten för inläckage av brandrök eller giftiga gaser in i byggnader med eventuell förgiftning som följd. Om det är viktigt att i särskilda situationer kunna öppna fönstren så bör det endast vara möjligt med nyckel eller annat specialverktyg.

Friskluftsintag bör placeras så skyddat som möjligt från att brandrök eller giftiga gaser tränger in i byggnader. Byggnader ger upphov till turbulens vilket ger utspädningseffekter och därför ger placering vid fasad bort från vägen eller på tak ett visst skydd jämfört med placering mot placering på sida mot vägen. På samma sätt är detta viktigast för första raden med byggnader, eftersom byggnaderna bakom får viss skyddseffekt av de mellanliggande husen.

Att kunna utrymma bort från vägen gör att personer vid en olycka kan utrymma i lä från en byggnad. Detta är av särskilt stor betydelse vid bränder eftersom byggnaden i sig skärmar av värmestrålningen och det då kan vara möjligt att utrymma säkert på sida bort från byggnaden. Värmestrålningen avtar exponentiellt med avståndet och därför kan skillnaden i värmestrålning på olika sidor av en byggnad vara betydande. På samma sätt är det olämpligt att ha uteplatser, balkonger eller liknande mot vägen eftersom värmestrålningen där kan vara betydande och det kan vara svårt att utrymma effektivt bort från elden mot (eller in i) byggnaden.

Vall, mur eller liknande längs utredningsområdets gräns bedöms inte ge något gott skydd mot pölbränder som är det scenario som ger störst riskbidrag på avstånd upp till 25 meter, eftersom flammhöjden kan vara över 15 m. Skyddet skulle då behöva vara väldigt högt, helst upp mot 10 meter men minst 4, för att kunna ge någon märkbar effekt. Detta har visats enligt beräkningar för projektet Förbifart Stockholm (Trafikverket 2010). Åtgärder på byggnader bedöms ge en större skyddseffekt.

En skärm eller vall skulle dock kunna minska gasspridning mot området och därmed ge en riskminskande effekt. En byggnad som placeras närmast vägen bedöms ge ett liknande skydd (givet att personer inte vistas i området mellan väg och byggnad). Det är alltså beroende på placering av byggnader om en vall eller skärm rekommenderas.

Om en vall eller skärm uppförs av bullerskäl ger det alltså en skyddande effekt även avseende farligt gods, men ersätter inte åtgärder på byggnader.

6 Värdering och åtgärdsförslag

Utifrån beräkningarna av individ- och samhällsrisk längs Huddingevägen bedöms att det är rimligt att ett bebyggelsefritt avstånd på 25 meter till upprätthålls till bebyggelse såsom skola, bostäder, handel och kontor. Inget skyddsavstånd krävs för parkeringshus.

Att placera skolgård, uteplatser eller liknande mellan byggnader och vägen bedöms ge upphov till onödig riskexponering och rekommenderas inte.

Utöver det bebyggelsefria avståndet rekommenderas följande åtgärder inom 40 meter:

- Fasader mot vägen i obrännbart material alternativt brandklass EI30.
- Ej öppningsbara fönster.
- Friskluftsintag riktade bort från vägen eller på tak.
- Möjlighet till utrymning bort från vägen på ett säkert sätt.
- Inga oskyddade uteplatser, balkonger eller liknande i riktning mot vägen.

Farlig vätska bör hindras att rinna mot utredningsområdet, men särskilda åtgärder för att uppnå detta bedöms inte vara nödvändigt om de nuvarande höjdskillnaderna bibehålls.

7 Referenser

Alvarsson & Jansson 2016, Jämförelsestudie av riskbedömningar avseende vägtransport av farligt gods, Riskhantering och samhällssäkerhet, Lunds tekniska högskola

Klassen, M.S., m.fl., 2006. Transmission Through and Breakage of Multi-Pane Glazing Due to Radiant Exposure, Fire Technology, 42, pp. 79–107, Springer Science

Länsstyrelsen i Stockholms län, 2016. Riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods

Räddningsverket 1997, Värdering av risk.

Trafikanalys, 2016 Lastbilstrafik 2015 Statistik 2016:27

Trafikverket 2010. E4 Förbifart Stockholm - Riskbedömning för driftskedet på farligt gods transporter på ytvägnätet.

White, 2013. Vindstudie Årstafältet, Stockholms stad

WUZ, 2012. Strategi för bebyggelseplanering intill rekommenderade färdvägar för transport av farligt gods

BILAGA 1-SANNOLIKHETSBERÄKNINGAR

UPPDRAGSNUMMER 1151132200

RISKUTREDNING MED AVSEENDE PÅ FARLIGT GODS FÖR ÅRSTAFÄLTET



2017-05-30

Sweco Environment AB

**MARTIN BJARKE
MARIKA KARRAS**

Innehållsförteckning

1	Inledning	3
2	Sannolikhet för olycka med farligt gods	3
2.1	Sannolikhet för utsläpp	4
2.2	Typ av utbredning och konsekvensavstånd	5
2.3	Individrisk	5
3	Händelseförlopp vid farligt godsolycka	6
3.1	Händelseförlopp vid olycka med explosiva ämnen – ADR-klass 1 definierat.	Fel! Bokmärket är inte
3.2	Händelseförlopp vid olycka med brandfarliga gaser – ADR-klass 2.1	6
3.3	Händelseförlopp vid utsläpp av giftiga gaser – ADR-klass 2.3	8
3.4	Händelseförlopp vid utsläpp av brandfarliga vätskor – ADR-klass 3	8
3.5	Händelseförlopp vid utsläpp av oxiderande ämnen och organiska peroxider – ADR-klass 5 Bokmärket är inte definierat.	Fel!
4	Händelseträdet	10
4.1	ADR-klass 1	Fel! Bokmärket är inte definierat.
4.2	ADR-klass 2.1	10
4.3	ADR-klass 2.3	11
4.4	ADR-klass 3	12
4.5	ADR-klass 5	Fel! Bokmärket är inte definierat.
5	Referenser	13

1 Inledning

För att kunna beräkna risknivån längs den aktuella sträckan av Huddingevägen förbi Årstafältet måste sannolikheten för en olycka med efterföljande utsläpp av farligt gods beräknas. Beräkningarna utgår från mängden trafik på vägen och tillgängliga statistiska modeller för uppskattning av sannolikheten för en olycka (Trafikverket 2013).

Även beräkningar av sannolikheten för olika händelsescenarion för de olika klasserna av farligt gods har gjorts.

2 Sannolikhet för olycka med farligt gods

Sannolikheten för olycka med lastbil beräknas enligt följande ekvation:

$$P_o = N \cdot Q \cdot L \cdot F \cdot 365$$

N = Antalet lastbilar per dygn ($\text{\AA DT}_{\text{tung}}$)

Q = Olyckskvot (antalet olyckor/ fordonskilometer)

L = Längd för berörd vägsträcka (km)

F = Korrigeringsfaktor för antalet fordon per olycka

Denna beräkning upprepas för varje ADR-klass. I det här fallet är antalet lastbilar för varje typ av farligt gods någorlunda väl känd, även om det saknas detaljerad statistik över flera år. En variation på +/- 25 % antas.

Olyckskvoten Q väljs enligt Trafikverket (2013) till det nationellt vedertagna värdet på 10^{-6} per fordonskilometer. Det är en förenkling av den annars vanligt förekommande VTI-modellen, men den bedöms vara tillräckligt noggrann och enligt Trafikverket finns skäl att anta att detta är en tillräckligt bra uppskattning.

Korrigeringsfaktorn för antalet fordon per olycka (F) ansätts till 1,5 enligt Trafikverket (2013). För att få med parametern i osäkerhetsanalysen ansätts en variation på +/- 25 %.

På Huddingevägen passerar per år ungefär 3300 lastbilar med gasol (varav 2200 är flaktransporter med tuber och resten tankbilar), 4 lastbilar med ammoniak och 950 lastbilar med drivmedel (diesel, bensin och etanol). Som en förenkling antas flaktransporterna med gasol vara tankbilar med brandfarlig vätska, eftersom konsekvensavstånd och sannolikheten för utsläpp i gasoltuber bedöms mer likt den typen av transport än tankbilar med gasol.

Beräkning med ovanstående parametrar ger att frekvensen för olycka med farligt gods ska ske på Huddingevägen är 0,006 per år fördelat över de tre ADR-klasserna enligt följande:

- ADR 2.1 -Brandfarlig gas: $5 \cdot 10^{-3}$
- ADR 2.3 – Giftig gas: $6 \cdot 10^{-6}$
- ADR 3 – Brandfarlig vätska: $1 \cdot 10^{-3}$

2.1 Sannolikhet för utsläpp

För att beräkna hur stor sannolikheten för ett utsläpp i händelse av en olycka är, studeras sannolikheten för att en tank brister. Ofta har en modell utvecklad av Statens väg- och transportforskningsinstitut och detaljerad beskriven i VTI-modellen använts för att uppskatta detta (Statens räddningsverk 1996). I senare studier har man konstaterat att en del av underlaget och antaganden som modellen bygger på innebär stora osäkerheter för resultatet av beräkningarna (Ardin & Markselius 2016).

Till exempel har andelen singelolyckor motsatt effekt i VTI modellen jämfört med verkligheten, där en hög andel minskar beräknad frekvens när antalet singelolyckor i själva verket utgör majoriteten av olyckor med farligt gods.

Det har konstaterats att parametern olycksindex för farligt gods, som är ett mått på sannolikheten att en tank brister, är baserad på otillräckligt underlag och trots korrigerig för hastighetsbegränsning bidrar den med betydande osäkerheter i beräkningen av frekvensen för olycka mer farligt gods. Man har sett att till exempel vägrenens lutning, liksom korsningar har påverkan på sannolikheten för om tanken välter i samband med en olycka och därmed sannolikheten för utsläpp.

Sannolikheten för läckage på tank med vätska kan enligt Trafikverkets modell för Yt- och grundvattenskydd (2013) ansättas till 0,03 oavsett hastighetsbegränsning på vägen. Det är ointuitivt att hastighet inte skulle ha någon betydelse så i brist på bättre underlag används VTI-modellen med en justering för att lastbilar inte ska ha högre hastighet än 90 km/h. Detta ger värden på index för farligt godsolycka som presenteras i Tabell 1 nedan. I beräkningarna antas en osäkerhet på +/- 50 %.

Tabell 1. Sannolikhet för utsläpp givet olycka.

Hastighetsbegränsning	50	60	70	80	90	100	110
Index för olycka med farligt gods, tunnväggig tank	0,02	0,07	0,11	0,195	0,28	0,28	0,28

Gaser transporteras under tryck i tankvagnar med större tjocklek än vätskor och därmed större tålighet. Erfarenheter från utländska studier visar på att sannolikheten för läckage av det transporterade godset då sänks till 1/30 av värdet för läckage i tankbil med vätskor. Sannolikhet för läckage av gas blir då $0,03 \cdot 1/30 = 0,001$.

Beräknad frekvens för utsläpp längs 1 km av Huddingevägen blir då:

- ADR 2.1 -Brandfarlig gas: $2 \cdot 10^{-5}$
- ADR 2.3 – Giftig gas: $3 \cdot 10^{-8}$
- ADR 3 – Brandfarlig vätska: $2 \cdot 10^{-4}$

2.2 Typ av utbredning och konsekvensavstånd

Beroende på vilken typ av ämne som är inblandat blir utbredningen av konsekvensområdet runt olyckan olika. En del av de möjliga scenarierna påverkas av vindriktning och väderförhållanden medan andra beror på vilket håll ett läckage är riktat mot. För att beräkna risken för det planerade planområdet används värdena i Tabell 2.

Samtliga vindriktningar antas ha samma sannolikhet, vilket i det här fallet är en förenkling som överskattning risken något eftersom det är vanligare med vindriktning bort från utredningsområdet.

Tabell 2. Typ av spridningsutbredning.

Konsekvens	Spridning	Beräkningsfaktor
BLEVE	Alla riktningar	1
Jetflamma	En av sidorna eller uppåt.	2/3
Gasmolnsexplosion	Alla riktningar	1
Giftigt gasmoln	I vindriktningen 22°	$22^\circ/360^\circ = 0,12$
Pölbrand	Alla riktningar	1
Frätande ämne	Alla riktningar	1

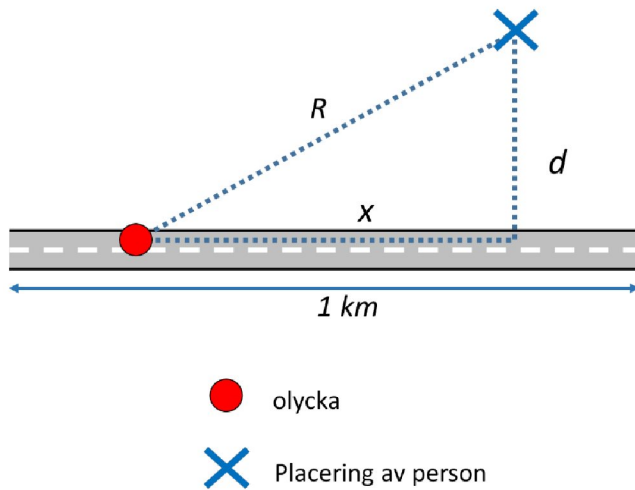
2.3 Individrisk

Beroende på konsekvensavståndet och typ av spridning justeras den beräknade frekvensen för att få fram individrisken på olika avstånd.

En olycka som inträffar på sträckan (1 km) har nödvändigtvis inte ett konsekvensavstånd som verkar över hela sträckans längd. Därför så görs en korrigering för att räkna ut hur stor andel av frekvensen som gäller på hela sträckan som bidrar till individrisken på ett visst avstånd från vägen. Andelen beräknas enligt följande formel, med de olika avstånden förklarade i Figur 1 på nästa sida:

$$\text{Andel av frekvensen för hela sträckan} = \frac{2 \cdot x}{1 \text{ km}}$$

$$x = \sqrt{(R^2 - d^2)}$$



Figur 1. Skiss över hur individriskbidraget beräknas för varje avstånd d .

3 Händelseförlopp vid farligt godsolycka

Nedan redovisas de händelseförlopp som kan uppstå vid utsläpp av respektive ADR-klass. Händelseförloppen med sannolikheter redovisas i form av händelseträdd i kapitel 4 som ger möjliga konsekvenser med sannolikheter. Dessa har kompletterats med sammanställningen gjord av Alvarsson & Jonsson (2016), resultatet av sammanställningen visas i Tabell 3 nedan. Dessa konsekvensavstånd används i beräkningarna, men händelseträden i avsnitt 4 visar exempel på hur sannolikheten för olika scenarier kan tas fram.

Tabell 3. Sammanställning över sannolikheten för olika scenarier givet att en tankbil är involverad i olycka och tanken har punkterats på något sätt.

Klass	Scenario	Sannolikhet för scenariot givet utsläpp (%)			Beräknad frekvens Huddingevägen (per år)
		min	mest troligt	max	
2.1	BLEVE	0,1	0,5	1	1,7E-07
	Jetflamma	9,8	20	30	1,5E-06
	Gasmolnexplosion	4,1	50	65	3,4E-06
2.3	Giftigt gasmoln		100%		2,8E-08
3	Pölbrand	1,5	3	13	4,5E-05
	Gasmolnsbrand	1,5	3	3	1,1E-05

3.1 Händelseförlopp vid olycka med brandfarliga gaser – ADR-klass 2.1

Ett utsläpp av brandfarliga gaser kan skada människor dels genom förgiftning, dels genom värmestrålning eller tryckpåverkan om gasen skulle antända. Om ett utsläpp av brandfarlig gas inte antänder i direkt anslutning till olycka skulle ett drivande gasmoln kunna uppstå som sannolikt har toxiska effekter för människor. Ett sådant gasmoln skulle vara mycket lättantändligt eftersom en brännbar blandning bildas tillsammans med luftens syre. Energin i ett fordon, en cigarett eller ett gatljus skulle potentiellt kunna antända gasmolnet. Detta innebär att ett gasmoln med tillräckligt hög koncentration för att

förgifta människor sannolikt antänder och leder till brännskador långt innan allvarlig förgiftning uppstår.

Om ett utsläpp av brandfarlig gas antänds kan någon av följande skadehändelser inträffa. Gasen skulle kunna antända direkt efter utsläppet och ge upphov till jetflamma. Beroende på utsläppets storlek och trycket i det tryckkärl som gasen förvaras i kan jetflamman nå storlekar på från några få meter upp till 75 m. Jetflamman kan skada människor och egendom dels genom en direkt träff av jetflamman och dels genom värmestrålning från flammen.

Det andra scenariot är extremt osannolikt, och kan endast inträffa om två tryckkärl transporteras med samma fordon och ett av tryckkärlens säkerhetsventil är ur funktion. Skadehändelsen kallas BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) och kan inträffa om ett tryckkärl med kondenserad brandfarlig gas utsätts för extrem upphettning. Tryckkärl förlorar då sin tryckbärande förmåga och briserar med ett stort eldklot som följd. Människor och egendom kan då skadas av värmestrålning och splitter eller stora kaststycken från t.ex. tryckkärl. Denna händelse förväntas endas ske som en dominoeffekt av en jetflamma eller mycket kraftig fordonsbrand, som i sin tur hettar upp det lastade tryckkärl med dysfunktionell säkerhetsventil.

Det tredje scenariot är gasmolnsbrand eller gasmolnsexplosion. Dessa skadehändelser kan inträffa om inte gasmolnet antänder direkt efter att utsläppet inträffat. Ett gasmoln kan då driva iväg i vindriktningen och antända långt ifrån utsläppskällan. Vid en gasmolnsbrand bedöms endast allvarliga skador uppstå på de personer och byggnader som är inom molnet. Vid en gasmolnsexplosion kan en tryckvåg uppstå som skadar byggnader och i sin tur människor utanför gasmolnet. För att en gasmolnsexplosion ska inträffa krävs dock mycket stora mängder gas i gasmolnet och gasen måste vara väl omblandad med luft så att explosiva koncentrationer uppstår. En gasmolnsexplosion bedöms därför som mycket osannolik. Gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion hanteras därför i denna riskutredning under samma scenario.

Om ett läckage uppstår så är konsekvenserna starkt beroende av utsläppets storlek. I denna riskutredning bedöms följande utsläppscenarier vara representativa för väg, se Tabell 4 nedan.

Tabell 4. Sannolikhet för olika utsläppscenarier för farligt gods olyckor på väg vid ett utsläpp av brandfarlig gas

Utsläppbeskrivning	Sannolikhet
Litet utsläpp	0,6
Medelstort utsläpp	0,2
Stort utsläpp	0,2

Vid ett läckage kan utsläppet antända direkt, inte antända alls eller så sker en fördröjd antändning. När eller om gasen antänder får stor inverkan på konsekvensernas omfattning. Nedan i Tabell 5 följer de antändningsscenarier som har beräknats.

Tabell 5. Antändningsscenarier vid utsläpp av brandfarlig gas

Utsläpp	Direkt antändning	Ingen antändning	Fördröjd antändning
Litet utsläpp	0,1	0,4	0,5
Medelstort utsläpp	0,15	0,2	0,65
Stort utsläpp	0,2	0	0,8

En BLEVE hanteras som en dominoeffekt av en jetflamma och bedöms konservativt inträffa i 1 % av de fall som en jetflamma uppstår.

3.2 Händelseförlopp vid utsläpp av giftiga gaser – ADR-klass 2.3

Farligt godsklass 2.3, giftiga gaser, kan ha en starkt toxisk effekt om människor exponeras för något av dessa ämnen. Konsekvenserna som uppstår vid ett utsläpp av giftig gas beror bland annat på läckagets storlek, gasens toxicitet, vind- och väderförhållanden och områdets topografiska förutsättningar.

De vanligaste giftiga gaserna med hög toxicitet som transporteras på svenska trafikleder är klor, ammoniak och svaveldioxid, där klor är den giftigaste av dem. På väg transporteras vanligen inte större mängder än 40 ton gas per fordon.

De ovan beskrivna gaserna transporteras vanligen i tjockväggiga tryckkärl vilka klarar relativt stora påfrestningar vid en trafikolycka utan att punktering och utsläpp av gasen sker.

Om ett sådant utsläpp ändå sker är skadeområdet starkt beroende av utsläppets storlek, vind- och väderförhållanden samt geografiska- och topografiska förhållanden inom planområdet.

Utsläppets storlek representeras i denna riskutredning av ett litet (10 mm hål), medelstort (30 mm hål) och stort (110 mm hål) utsläpp. I samband med en olycka med giftig gas (trafikolycka och punktering av tryckkärl) bedöms sannolikheten för litet, medelstort och stort utsläpp vara: 0,6; 0,25 och 0,15.

3.3 Händelseförlopp vid utsläpp av brandfarliga vätskor – ADR-klass 3

Vid ett utsläpp av brandfarlig vätska skulle människor i närheten av utsläppet kunna skadas allvarligt om utsläppet antänder. Några exempel på brandfarliga vätskor är bensin, E85 (etanol) och diesel. De fysikaliska egenskaperna hos olika brandfarliga vätskor gör att de har olika stor benägenhet att antända, exempelvis antänder bensin och E85 mycket snabbare än diesel. Eftersom transportfördelningen mellan olika brandfarliga vätskor är okänd behandlas samtliga transporter med brandfarliga vätskor som transporter med en lättantändlig vätska (hexan). Detta är en konservativ ansats.

Ett utsläpp av en brandfarlig vätska med efterföljande antändning, resulterar sannolikt i en pölbrand. Konsekvenserna för människor av denna händelse härleds främst till den värmestrålning som pölbranden ger upphov till. Dödliga skador bedöms osannolika på ett avstånd om mer än 50 m från en pölbrand, men kan inträffa vid olyckliga omständigheter. Ett utsläpp av brandfarlig vätska skulle även kunna ge upphov till en gasmolnsbrand. Om ett stort utsläpp sker en varm dag och vätskan är flyktig skulle ett ångmoln kunna bildas

och driva iväg. Ångmolnet skulle kunna antända och skada människor och byggnader bortom utsläppsplatsen. Denna händelse bedöms dock som osannolik och antas ske i 1 % av fallen givet att ett stort utsläpp inträffar. I Tabell 6 nedan presenteras sannolikheten för olika storlek på utsläpp vid en farlig godsolycka med brandfarlig vätska.

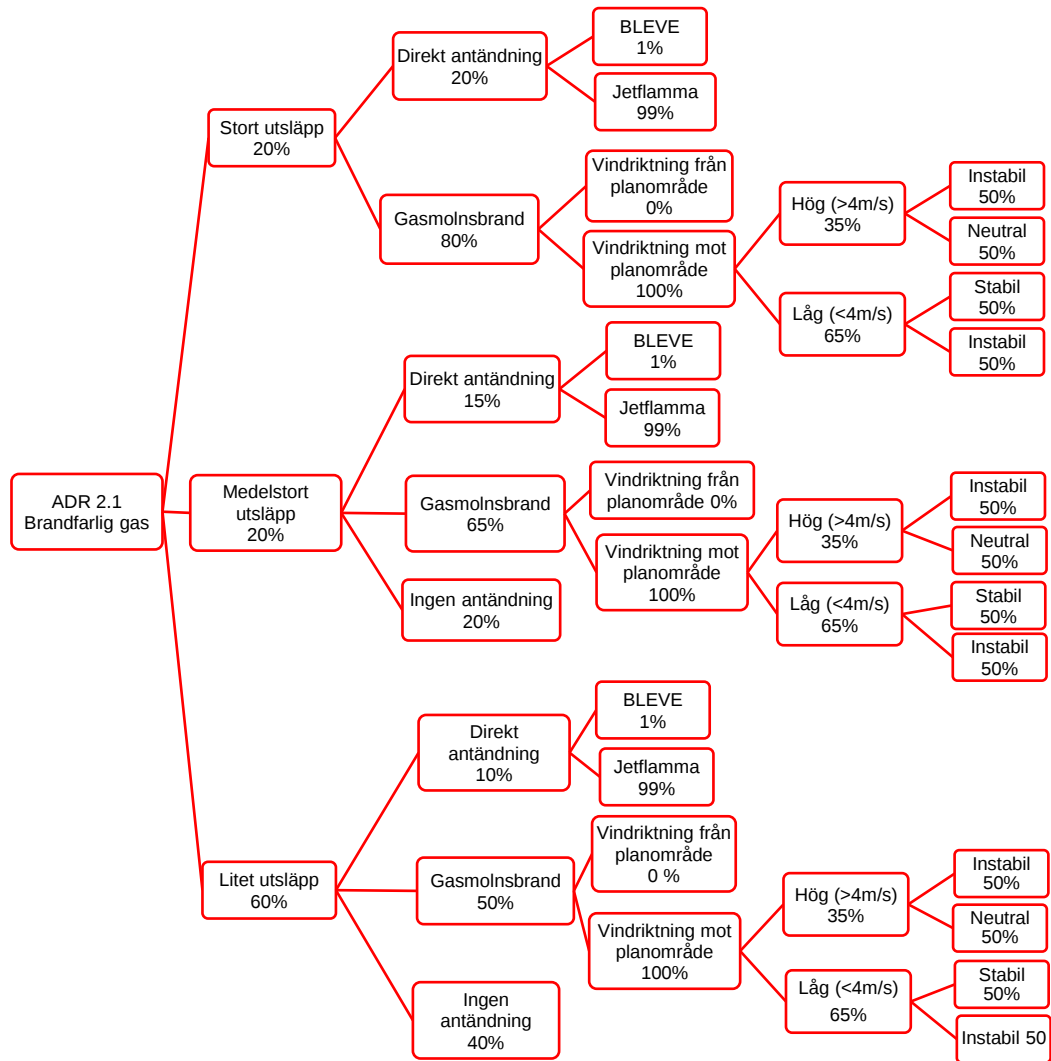
Tabell 6. Sannolikhet för utsläpp av brandfarlig vätska givet trafikolycka.

Utsläpp	Area [m²]	Sannolikhet
Medelstort utsläpp	200	0,75
Stort utsläpp	400	0,25

Sannolikhet för antändning av vätskepöl vid vägtrafikolycka antas vara 3 % både vid ett medstort och stort utsläpp. För ett gasmoln bedöms sannolikheten för antändnings vara 50 %.

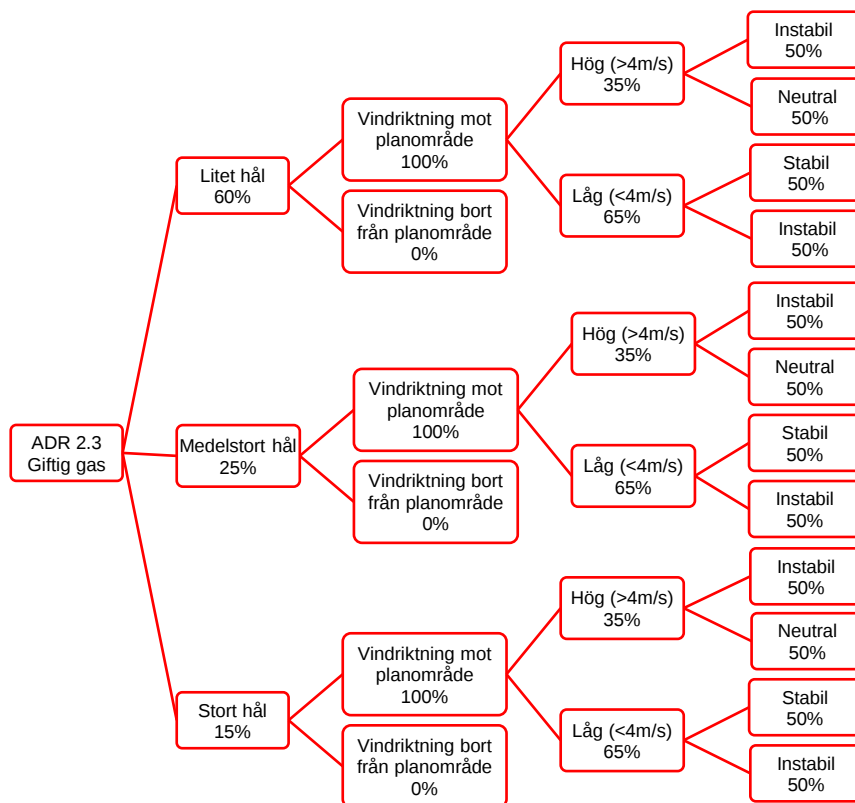
4 Händelseträäd

4.1 ADR-klass 2.1



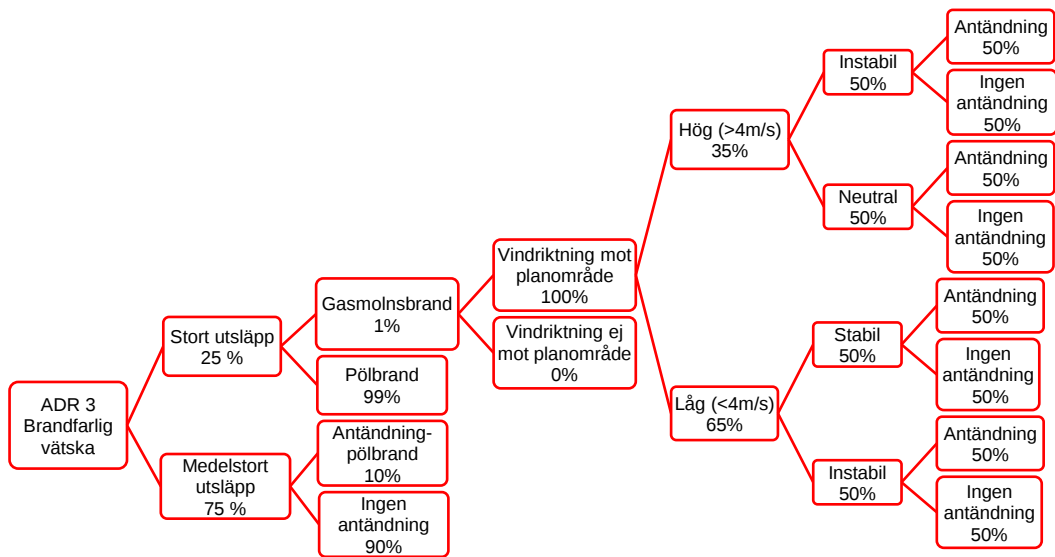
Figur 2. Tänkbara händelseförlopp för farlig godsolycka med brandfarlig gas för järnväg. Starthändelsen är att en godsvagn med ADR-klass 2.1 är inblandad i en olycka.

4.2 ADR-klass 2.3



Figur 3. Tänkbara händelseförlopp för farligt godsolycka med giftig gas på järnväg. Starthändelsen är att en godsvagn med ADR-klass 2.3 är inblandad i en olycka.

4.3 ADR-klass 3



Figur 4. Tänkbara händelseförlopp för farligt godsolycka med brandfarlig vätska på järnväg. Starthändelsen är att ett utsläpp med ADR-klass 3 inträffat

5 Referenser

Alvarsson & Jonsson, 2016. *Jämförelsestudie av riskbedömningar avseende vägtransport av farligt gods*, Riskhantering och samhällssäkerhet, Lunds tekniska högskola

Ardin & Markselius, 2016. *Utsläpp av farligt gods vid vägtransport - Utvärdering av modell för frekvensberäkning*. Riskhantering och samhällssäkerhet, Lundstekniska högskola.

Statens räddningsverk, 1996. *Farligt Gods riskbedömning vid transport - Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg eller järnväg*. Karlstad: Statens räddningsverk.

Trafikverket, 2013. Yt- och grundvattenskydd. Publikation 2013:135

WUZ, 2015. *Bebyggelseplanering och farligt gods i Norrbottens län*.

BILAGA 2-KONSEKVENSBERÄKNINGAR

UPPDRAGSNUMMER 1151132200

RISKUTREDNING MED AVSEENDE PÅ FARLIGT GODS FÖR ÅRSTAFÄLTET



2017-05-30

Sweco Environment AB

MARTIN BJARKE
MARIKA KARRAS

Innehållsförteckning

1	Inledning	2
2	Kriterier för dödlig skada	2
2.1	Explosion	2
2.2	Värmestrålning	2
2.3	Förgiftning vid exponering för giftig gas	3
3	Sammanställning över konsekvensavstånd	3
4	Beräknade avstånd till dödlig skada	4
4.1	Explosiva varor – ADR-klass 1	Fel! Bokmärket är inte definierat.
4.2	Brandfarliga gaser – ADR-klass 2.1	4
4.3	Giftiga gaser – ADR-klass 2.3	6
4.4	Brandfarlig vätska – ADR-klass 3	7
4.5	Oxiderande ämnen och organiska peroxider – ADR-klass 5	Fel! Bokmärket är inte definierat.
4.6	Farligt godsklasser som inte bedöms avseende konsekvenser	Fel! Bokmärket är inte definierat.
5	Samhällsrisk	8
6	Referenser	9

1 Inledning

Konsekvensberäkningarna har gjorts i följande steg.

1. Kriterier för vad som ska betraktas som risk för dödlig skada har fastställts för a) tryckpåverkan vid explosion, b) värmestrålning vid brand samt c) förgiftning vid exponering av giftig gas.
2. Avstånden inom vilka dessa kriterier uppnås för de allvarligaste scenarierna för varje godsklass har uppskattats.
3. Avstånden har kompletterats med intervall från sammanställningar över konsekvensavstånd från flera riskbedömningar från olika källor.

2 Kriterier för dödlig skada

Nedan (kapitel 2.1 till 2.4) redovisas de skadekriterier som använts för att bestämma avståndet inom vilket dödlig skada kan uppstå. Uppskattning av avståndet till dödlig skada baserat på dessa kriterier har använts i beräkningar av individrisk.

Som en förenkling för att göra beräkningar möjliga har konsekvensavstånden baserats på den nivå där 50 % av en population antas omkomma. För giftiga ämnen kan detta uttryckas i LC 50 (lethal concentration) eller LD 50 (lethal dose).

2.1 Explosion

Vid en explosion kan människor skadas via direkta tryckskador eller via indirekta skador, som t.ex. splitter, nedfallande föremål eller att de kastas omkull av tryckvågen. Generellt motstår människokroppen en tryckvåg bättre än en byggnad eller konstruktion gör, speciellt fönster är känsliga. Detta innebär att personer i byggnader kan drabbas värre än personer som befinner sig utomhus. Enligt en rapport från FOA kan gränsen för direkta dödliga tryckskador vid en explosion för oskyddade personer ansättas till 260 kPa (50 % omkomna) (FOA, 1997). Vid 180 kPa förväntas 1 % omkomma och vid 70 kPa kan det uppstå allvarliga skador på oskyddade personer (lungskador).

Byggnader skyddar dåligt mot explosioner och därför antas dödligheten för personer som befinner sig inomhus i konsekvensområdet vid en olycka vara hög. För att ta hänsyn till att även indirekta skador (orsakade av splitter, nedfallande byggnadsdelar och andra föremål) kan vara dödliga baseras konsekvensavståndet på 70 kPa.

2.2 Värmestrålning

Vid en brand är det vanligen värmestrålningen som orsakar dödliga skador på långa avstånd. Avståndet för dödlig värmestrålning har satts till 15 kW/m². Som jämförelse kan anges att vid 15 kW/m² bedöms 1 % av utsatta personer omkomma efter 20 sekunder, 50 % efter 1 minut och 99 % efter 2 minuter enligt FOA (1997).

Byggnader ger inledningsvis ett gott skydd mot värmestrålning (till dess att de eventuellt antänder) och därför har sannolikheten att personer inomhus omkommer satts till 50 % i beräkningarna av samhällsrisik.

2.3 Förgiftning vid exponering för giftig gas

Vid ett utsläpp av giftiga gaser kan personer omkomma om de utsätts för höga koncentrationer av gas. Vid konsekvensberäkningarna har svaveldioxid varit dimensionerande gas. Gränsen för dödliga skador har satts vid den koncentration som motsvarar LC₅₀ vilket för svaveldioxid är 750 ppm enligt Försvarsmakten m.fl. (2008). Vid denna koncentration kan man förvänta sig att 50 % dör om de exponeras för gasen i mer än 30 min.

Vid beräkning av koncentrationer av giftig gas uppnås betydligt lägre koncentrationer inomhus och därför antas sannolikheten att omkomma inomhus vara 10 % av sannolikheten att omkomma utomhus.

3 Sammanställning över konsekvensavstånd

Utifrån ett examensarbete (Alvarsson & Jansson, 2016) som jämfört konsekvensavstånd i olika riskbedömningar, kompletterat med beräkningar utförda av utförda av Sweco (se kapitel 4) och andra experter (WUZ, 2015), har tabellen nedan tagits fram för de ämnen som transporteras på Huddingevägen. Tabellen åskådliggör vilka scenarier som kan uppkomma kopplat till respektive klass och konsekvensavstånd kopplade till dessa. Avstånden har använts som ingångsparametrar i beräkningarna av individ- och samhällsrisik längs Huddingevägen där även sannolikheter för respektive scenario ansatts.

Tabell 1. Sammanställning över konsekvensavstånd som använts i beräkningarna, baserat på sammanställning gjord av Alvarsson & Jansson (2016), kompletterat med Swecos och andra experters beräkningar.

Klass	Scenario	Spridning konsekvensavstånd		
		Min	Troligt	Max
2.1	BLEVE	40	300	400
	Jetflamma	10	30	90
	Gasmolnexplosion - och brand	10	100	500
2.3	Giftigt gasmoln	10	250	1200
3	Pölbrand	5	20	40
	Fördröjd pölbrand (avdunstning)	20	30	40
	Giftigt gasmoln (avdunstning)	20	40	110

4 Beräknade avstånd till dödlig skada

Nedan redogörs exempel på beräkningar för att ta fram avstånd till dödlig skada för olycka med respektive ämnesklass. Resultaten har använts som ingångsparametrar i sammanställningen ovan.

4.1 Brandfarliga gaser – ADR-klass 2.1

Konsekvenserna för utsläpp av brandfarlig gas har beräknats i mjukvaran ALOHA¹. Beräkningarna är gjorda för kondenserad gas, vilket är konservativt eftersom de förväntade konsekvenserna är högre för dessa gaser jämfört med komprimerade gaser. I Tabell 2 redovisas indata för beräkningarna.

Tabell 2. Indata för konsekvensberäkningar för utsläpp av brandfarlig gas. Vindhastighet, stabilitetsklass och håldiameter har varierats

Parameter	Värde
Vindhastighet (m/s)	2 6
Stabilitetsklass ²	A, D, E
Temperatur (°C)	15
Yträhet	Stad/Skog
Luftfuktighet	50 %
Väder	Molnigt
Ämne	Propan
Tank	Diameter 2 m, längd 18 m
Massa propan (ton)	25
Fyllnadsgrad	80 %
Hålet	Mitten av vätskenivå
Håldiameter (m)	Litet hål 0,01 Medelstort hål 0,03 Stort hål 0,11
Övertryck i tank	7 bar

I Tabell 3 redovisas resultaten av beräkningarna i ALOHA. Resultaten ska tolkas på följande sätt:

¹ Office of Emergency Management & Emergency Response Division. ALOHA v.5.4.2.

² Stabilitetsklasser beskriver förenklat luftens stabilitet och beror främst på solinstrålning och vindstyrka. Bokstäverna beskriver stabilitetsklasserna A - Kraftigt instabil, D - Neutral skiktning, E - Svagt stabil skiktning.

- BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion): Längden avser det avstånd från centrum där människor förväntas få andra gradens brännskador under den tid som eldklotet varar. Den antagna tiden är utskriven inom parentes. Vid andra gradens brännskador förväntas 15 % av en exponerad befolkning omkomma till följd av skadorna. Avståndet bedöms därför vara konservativt. Konsekvensområdet är cirkulärt.
- Jetflamma: Längden avser jetflammans längd och till detta adderat en uppskattning av avståndet till 15 kW/m². Bredden avser avstånden från jetflammans centrum till 15 kW/m². Utbredningen av jetflamma antas vara vinkelrät (90°) från vägområdet och längs med markplanet. Detta innebär att området som drabbas alltid är det största möjliga, vilket är ett mycket konservativt antagande.
- Gasmolnsbrand: Gasplymen bedöms ha formen av en liksidig triangel. Längden avser triangelns höjd (utbredning in på planområdet) och bredden avser halva plymens bas (halva spridningsavstånd i sidled på längsta konsekvensavstånd).

Tabell 3. Resultat av konsekvensberäkningar i ALOHA.

Scenario	Konsekvensavstånd (m)
BLEVE	150 (11s)
Jetflamma (liten)	8
Jetflamma (medelstor)	20
Jetflamma (stor)	75
Gasmolnsbrand (liten)	10-35
Gasmolnsbrand (medelstor)	35-95
Gasmolnsbrand (stor)	145-380

4.2 Giftiga gaser – ADR-klass 2.3

Konsekvenserna för utsläpp av giftig gas har beräknats i mjukvaran ALOHA. Vid beräkningarna har svaveldioxid varit dimensionerande för utsläpp vid olycka. I Tabell 4 redovisas indata för beräkningarna och resultat.

Tabell 4. Indata för konsekvensberäkningar för utsläpp av giftiga gaser. Vindhastighet, stabilitetsklass och håldiameter har varierats.

Parameter	Värde
Vindhastighet (m/s)	2 6
Stabilitetsklass	A D E
Temperatur (°C)	15
Ytråhet	Stad/Skog
Luftfuktighet	50 %
Väder	Molnigt
Ämne	Svaveldioxid
Tank	Diameter 2 m, längd 18 m
Massa svaveldioxid (ton)	25
Fyllnadsgrad	80 %
Hålet	Mitten av vätskenivå
Håldiameter (m)	Litet hål 0,01 Medelstort hål 0,03 Stort hål 0,11
Ångtryck (kPa)	330
Gränsvärde (LC ₅₀)	750 ppm

I Tabell 5 redovisas resultaten av konsekvensberäkningarna. Gasplymen har konservativt betraktats som en rektangel. Längden beskriver rektangelns längd (avstånd in på planområdet) och bredden beskriver halva rektangelns bredd (spridning i sidled).

Tabell 5. Resultat av konsekvensberäkningar i ALOHA

Utsläppsscenario	Längd (m)	Bredd (m)
Svaveldioxid (litet)	60-130	10-50
Svaveldioxid (medelstort)	180-450	40-200
Svaveldioxid (stort)	730-1200	180-800

4.3 Brandfarlig vätska – ADR-klass 3

Konsekvensberäkningarna är utförda med mjukvaran ALOHA. Nedan redovisas scenarier, indata och resultat.

Följande förutsättningar har antagits i beräkningarna:

- Bränsle: Hexan
- Pölarea: 200 m² och 400 m²
- Temperatur: 15 °C
- Vind: 2-6 m/s
- Stabilitetsklass: B-E
- Tankvolym: 55 m³

Att anta att samtliga brandfarliga vätskor utgörs av Hexan är ett konservativt antagande. Hexan har både högre förbränningshastighet och energivärde än bensin. Dessutom utgörs en stor del av den transporterade mängden av betydligt mindre brandfarliga vätskor som diesel och andra oljor m.m.

Nedan i Tabell 6 redovisas resultaten av beräkningarna. Konsekvensavståndet beskriver avståndet till 15 kW/m² för pölbrand från centrum på pölen och för gasmolnsbrand beskriver gasmolnets utbredning i längd. Gasmolnets bredd är dubbelt detta avstånd.

Tabell 6. Resultat av konsekvensberäkningar för skadehändelser vid utsläpp av brandfarlig vätska. Gasmolnsbränderna har beräknats för olika väderförhållanden.

Scenario	Konsekvensavstånd (m)
Stor pölbrand (400 m ²)	45
Medelstor pölbrand (200 m ²)	30
Gasmolnsbrand	15
Gasmolnsbrand	20
Gasmolnsbrand	30
Gasmolnsbrand	30

5 Samhällsrisk

För beräkning av samhällsrisk används uppskattning av befolkningstäthet i intervall på olika avstånd från vägen och en beräkning av hur stor area som scenariot ger i varje intervall.

I Tabell 7 redovisas de intervall och den befolkningstäthet som använts i beräkningarna.

Tabell 7. Persontäthet som använts i beräkningarna.

	Andel utomhus (dag)	Andel inomhus (dag)	Andel utomhus (natt)	Andel inomhus (natt)	Persontäthet (inv/km ²)
Bebyggelsefritt	100%	0%	100%	0%	200
Bebyggelse (motsvarande normal tätort)	5%	95%	1%	99%	3000

Befolkningstätheten multipliceras därefter med arean som berörs inom varje intervall och ger därmed en uppskattning av antalet döda för varje scenario.

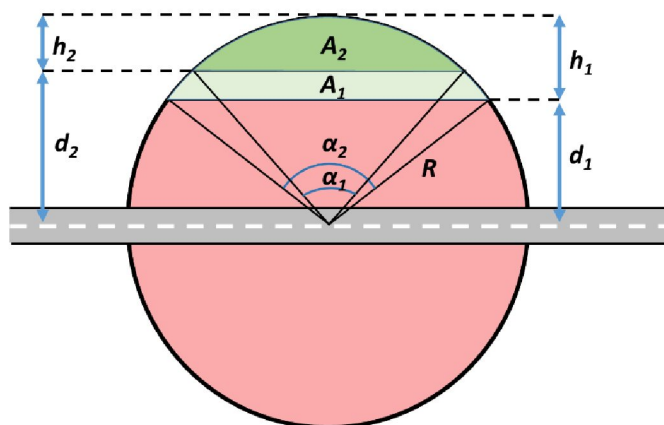
Konsekvensavståndet R ger en cirkel med arean $A = \pi \cdot R^2$, se Figur 1. För att beräkna arean som berörs i varje intervall används följande samband:

$$A_{\text{inom intervallet}} = A_{\text{tot}} - A_{\text{bortom intervallet}} - A_{\text{närmare intervallet}}$$

Areorna beräknas med följande samband och upprepas för varje intervall:

$$\text{Vinkeln i radianer } (\alpha_1) = 2 \arccos \frac{d_1}{R}$$

$$\text{Arean bortom avståndet } d_1 = A_1 = \frac{R^2}{2} (\alpha_1 - \sin \alpha_1)$$



Figur 1. Skiss över hur samhällsrisk beräknas för olika områden.

6 Referenser

Alvarsson & Jonsson, 2016. *Jämförelsestudie av riskbedömningar avseende vägtransport av farligt gods*, Riskhantering och samhällssäkerhet, Lunds tekniska högskola

FOA, 1997. Försvarets forskningsanstalt, *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – metoder för bedömning av risker*, Stockholm 1997.

Försvarsmakten, Krisberedskapsmyndigheten & FOI, (2008), Faktainsamling CBRN, (*Elektronisk*), Tillgänglig: <http://www.faktasamlingcbrn.foi.se/>

WUZ, 2015. *Bebyggelseplanering och farligt gods i Norrbottens län*.