

STRANDÄNGEN

JÖNKÖPING

FÖRDJUPAD RISKANALYS AVSEENDE TRANSPORTER AV FARLIGT GODS



2018-01-25

Version 3

PROJEKTINFORMATION

Projektnamn: Strandängen

Planområde: Strandängen

Kommun: Jönköping

Ärende: Fördjupad riskanalys avseende transport av farligt gods

Uppdragsgivare: Bostads AB VätterHem
Kontaktperson: Jan Tell, TENGBOM

Projektansvarig: Peter Nilsson
Fredrik Hiort

Handläggare: Fredrik Carlsson (FC)
Peter Nilsson (PN)

Kontroll: Henrik Nordenstedt (HN)

Datum	Version
2018-01-25	Fördjupad riskanalys avseende transport av farligt gods, version 3
2011-11-22	Fördjupad riskanalys avseende transport av farligt gods, version 2
2011-10-30	Fördjupad riskanalys avseende transport av farligt gods

SAMMANFATTNING

Inom ett planområde benämnt Strandängen i Jönköpings kommun planeras för bland annat bostäder, kontor, skola, detaljhandel och centrum. Briab – Brand & Riskingenjörerna AB fått i uppdrag av Bostads AB Vätterhem att genomföra en riskanalys avseende transporter av farligt gods längs med planområdet.

Resultatet av genomförd analys visar att individ- och samhällsrisknivåer delvis överstiger en nivå där åtgärder bör vidtas under förutsättning att åtgärderna utifrån ett kostnads-nyttoperspektiv är försvarbara. Följande krav på åtgärder bedöms därför rimliga att ställa på planområdets utformning.

Avstånd från spårmit	Verksamhet	Krav på åtgärd
< 5 m	Bebyggelsefritt	De närmaste 5 meterna kring spåret skall utformas utan hårda objekt (träd eller dylikt) för att begränsa sannolikheten att en urspårning leder till en allvarlig olycka. Vid ett avstånd överstigande fem meter bedöms sannolikheten för urspårning tillräckligt låg utan att ytterligare begränsningar vidtas för att reducera risken för kollision.
< 20 m	Bebyggelsefritt med undantag av garage, carport, förråd mm.	Bebyggelsefritt med undantag av garage, förråd och motsvarande byggnader där stadigvarande vistelse inte kan förutsättas.
< 40 m	Bebyggelsefritt med undantag av garage, carport, förråd mm.	Lekplatser, skolgård, idrottsplatser mm. bör undvikas
< 50 m	Bostäder, kontor och motsvarande.	Fasadbeklädnaden på nya byggnader inom 50 m från spårmit skall utföras av material i klass A2-s1,d0 (obrännbart material). Alternativt tillskapas ett dike (på ett avstånd mellan 5 och 20 m från spårmit) längs med hela den sträckning av järnvägen där spåret ligger på en plushöjd över angränsande planområde. Diket skall vara minst en 1 djupt och avrinning skall ej ske mot byggnad där stadigvarande vistelse kan förutsättas. Under förutsättning att ett dike tillskapas skall fasadbeklädnad utföras av material i lägst brandteknisk klass D-s2,d0. Syftet är att skydda mot hög värmestrålning från pölbränder (brandfarlig vätska). Själva pölen förväntas dock, även i det värsta tänkbara scenariot, aldrig nå mer än ca 25 meter från spårmit.
>= 50 m	Ingen begränsning	Inga särskilda krav

Under förutsättning att ovanstående åtgärder vidtas bedöms inga ytterligare åtgärder erfordras.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	3
1 INLEDNING	5
1.1 BAKGRUND	5
1.2 SYFTE.....	5
1.3 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR	5
1.4 UNDERLAG.....	5
1.5 METOD.....	5
1.6 KVALITETSSÄKRING.....	6
2 REGELVERK	6
2.1 STYRANDE DOKUMENT	6
2.2 RISKBEGREPPET	7
3 GRUNDLÄGGANDE FÖRUTSÄTTNINGAR.....	9
3.1 OMRÅDESBESKRIVNING	9
3.2 JÄRNVÄGEN	10
3.3 VIND	11
3.4 RÄDDNINGSTJÄNSTENS INSATSMÖJLIGHETER	11
4 GROVANALYS	12
4.1 TRANSPORT AV FARLIGT GODS.....	12
4.2 IDENTIFIERING AV OLYCKSSCENARION	13
4.3 BEDÖMNING AV IDENTIFIERADE OLYCKSSCENARION	14
4.4 UTVALDA SCENARION FÖR VIDARE ANALYS	15
4.5 SLUTSATSER AV GROVANALYS	16
5 FÖRDJUPAD RISKANALYS	17
5.1 SANNOLIKHET FÖR OLYCKA MED FARLIGT GODS	17
5.2 KONSEKVENSN AV SKADEHÄNDELSE	18
5.3 INDIVIDRISK.....	19
5.4 SAMHÄLLSRISK.....	19
5.5 OSÄKERHETER OCH KÄNSLIGHETSANALYS.....	20
5.6 INDIVIDRISK MED RISKREDUCERANDE ÅTGÄRDER	21
5.7 SAMHÄLLSRISK MED RISKREDUCERANDE ÅTGÄRDER	22
5.8 SLUTSATS.....	24
6 LITTERATURFÖRTECKNING	25

BILAGOR

BILAGA 1 - SANNOLIKHETSBERÄKNING

BILAGA 2 - PÅVERKAN PÅ MÄNNISKOR OCH OMGIVNING

BILAGA 3 – KONSEKVENSNBERÄKNINGAR

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Inom ett planområde benämnt Strandängen i Jönköpings kommun planeras för bland annat bostäder, kontor, skola, detaljhandel och centrum. Väster om området finns en befintlig järnväg där farligt gods transporteras. Detta ställer krav på att riskerna för olycka med farligt gods inblandat skall utredas eftersom avståndet mellan järnvägen och närmaste byggnad understiger 150 meter.

1.2 Syfte

Denna utredning syftar till att bedöma erforderlig riskhänsyn, avseende olycksrisker, i det vidare planarbetet för Strandängen.

Riskanalysen skall ses som en rekommendation utifrån rådande lagstiftning och riktlinjer och verka som ett beslutsunderlag inför utformningen av det nya området.

1.3 Omfattning och avgränsningar

Den fördjupade riskanalysen omfattar endast plötsliga skadehändelser, som orsakar att personer omkommer, inom planområdet Strandängen.

Olyckor där långvarig exponering krävs för skadliga konsekvenser, eventuella skador på egendom och miljö eller uppsåtliga risker samt påverkan på människor vistandes på andra kringliggande områden är exkluderade i denna analys.

1.4 Underlag

Underlag för analysen presenteras i Tabell 1.

Tabell 1 – underlag för den fördjupade analysen.

Handling	Datering	Upprättad av
Detaljplan för Strandängen	2017-06-27	Jönköpings kommun
Planprogram (Samrådshandling) Strandängen samt bilagor	2011-04-14	Jönköpings kommun m.fl.
Grundkarta		Tengbom
Tävlingsbidrag "Gläns över sjö och strand"	Odaterat	Tengbom
Riskanalys "Tändsticksområdet", Jönköping	2010-02-23	Vectura

1.5 Metod

Arbetsmetoden för denna riskanalys innefattar följande moment:

- Riskidentifiering (se Grovanalys).
- Kvantitativa beräkningar av identifierade scenariers sannolikhet.
- Kvantitativa beräkningar av identifierade scenariers konsekvenser.
- Värdering av beräknade risknivåer med etablerade kriterier för individ- och samhällsrisk.
- Eventuella förslag på riskreducerande åtgärder.
- Kontroll av ny risknivå.

Beräkningar är genomförda med ett probabilistiskt angreppssätt med hjälp av simuleringsprogrammet @RISK för att få ett mer robust beslutsunderlag.

1.5.1 Revideringar

Riskutredningen är en tredje version. Till version 3 har riskanalysen reviderats utifrån att antalet bostäder blivit fler, behovet av skydd mot olycka med brandfarlig vätska bedömts närmare och samhällsriskberäkningar genomförts och värderats.

1.5.2 @RISK

Mjukvaran @RISK är ett tilläggsprogram till Microsoft Excel som används för att kunna representera indata och variabler med statistiska fördelningar i stället för diskreta värden. Genom att beräkna ett stort antal iterationer representeras ett stort antal händelser vilket ger ett mer robust beslutsunderlag och delvis minskar effekten av osäkerheter i modeller, indata och naturliga variationer. (Palisade Corp, 2008)

De upprepade beräkningarna utförs med hjälp av Latin Hypercube sampling, som är en form av Monte Carlo simulering. Beräkningarna sker genom att värden plockas slumpartat från den definierade fördelningen och på så sätt representeras olika kombinationer av indata utifrån den definierade fördelningen för variabeln, (Palisade Corp, 2008). Latin Hypercube sampling minskar sannolikheten för extrema värden, vilket annars kan uppkomma med ordinarie Monte Carlo simulering.

1.6 Kvalitetssäkring

Denna riskanalys omfattas av kontroll enligt Briabs kvalitetssystem som är upprättat och certifierat i enlighet med ISO 9001.

2 REGELVERK

2.1 Styrande dokument

Det finns ett flertal styrande dokument som skall beaktas vid nyexploatering och som ställer krav på analys av risker och säkerställa jämlika och sociala levnadsförhållanden i dag och för kommande generationer. En kort presentation av styrande dokument presenteras nedan.

2.1.1 Plan- och bygglagen

I Plan- och bygglagens första paragraf står att ”Bestämmelserna syftar till att, med hänsyn till den enskilda människans frihet, främja en samhällsutveckling med jämlika och goda sociala levnadsförhållanden och en god och långsiktigt hållbar livsmiljö för människorna i dagens samhälle och för kommande generationer”. I lagen förutsetts alltså att frågor om skydd mot olyckor skall vara slutligt avgjorda i samband med planläggning.

2.1.2 Miljöbalken

I Miljöbalken (3) ställs krav på att människors hälsa ska skyddas. Kraven definierar en hållbar utveckling där nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö. Detta innebär bland annat att människors hälsa ska skyddas mot skador och olägenheter som förorsakas av föroreningar eller annan påverkan.

2.1.3 Rekommendationer från Länsstyrelser

Länsstyrelserna i storstadsregionerna (Stockholm, Skåne och Västra Götalands län) har gemensamt tagit fram ”Riskhantering i detaljplanprocessen – Riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods” (2006). Enligt dessa rekommendationer föreslås att riskerna alltid ska bedömas då nyexploatering planeras inom ett riskhanteringsavstånd av 150 meter från transportled för farligt gods på väg och järnväg.

I Stockholms län har länsstyrelsen sedan tidigare kommit ut med rekommendationer för Stockholms län. I rekommendationerna anges att det alltid bör lämnas bebyggelsefritt 25 meter från transportled med farligt gods, tät kontors medges 25 meter från spärkanten och bostadsbebyggelse bör undvikas inom 50 meter från transportleden.

Då bostäderna avses att byggas inom 150 meter från järnvägen erfordras en riskutredning för att utröna så till vida riskerna kan anses som acceptabla inom Strandängen.

2.1.4 Rekommendationer från Trafikverket

Enligt Trafikverket (tidigare Banverket) bör ett område om 30 meter, räknat från närmaste spårmit, lämnas fritt från bebyggelse.

2.2 Riskbegreppet

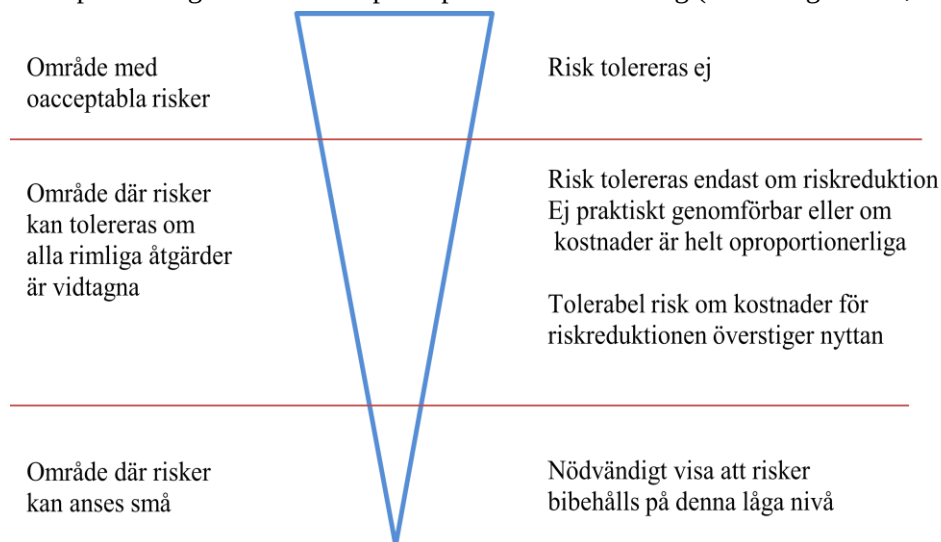
Begreppet risk kan tolkas på olika sätt. I säkerhetstekniska sammanhang, liksom i denna riskanalys, förstås begreppet som sannolikheten för en händelse multiplicerat med omfattningen av dess konsekvens, vilka kan vara kvalitativt eller kvantitativt bestämda.

2.2.1 Riskvärdering

Värdering av risker har sin grund i hur man upplever riskerna. Som allmänna utgångspunkter för värdering av risk är följande fyra principer vägledande (Räddningsverket, 1997):

- **Rimlighetsprincipen** - Om det med rimliga tekniska och ekonomiska medel är möjligt att reducera eller eliminera en risk skall detta göras.
- **Proportionalitetsprincipen** - En verksamhets totala risknivå bör stå i proportion till den nytta i form av exempelvis produkter och tjänster, verksamheten medför.
- **Fördelningsprincipen** - Riskerna bör, i relation till den nytta verksamheten medför, vara skäligt fördelade inom samhället.
- **Principen om undvikande av katastrofer** - Om risker realiserats bör detta hellre ske i form av händelser som kan hanteras av befintliga resurser än i form av katastrofer.

Risker kan kategoriskt i tre fack. De kan anses vara acceptabla, acceptabla med restriktioner eller oacceptabla. Figur 1 beskriver principen för riskvärdering (Räddningsverket, 1997).



Figur 1 – Princip för uppbyggnad av riskvärderingskriterier (Räddningsverket, 1997).

I denna analys kommer rimlighetsprincipen, proportionalitetsprincipen, fördelningsprincipen och principen om undvikande av katastrofer vara grunden för att bedöma om risknivån inom aktuellt område är acceptabel.

2.2.2 Individ- och samhällsrisk

Med acceptanskriterier i samband med risk avses vilka bestämmelser eller kriterier för vilka risknivåer som anses vara acceptabla. I Sverige finns inga lagstadgade kriterier avseende acceptabla risknivåer.

I säkerhetstekniska sammanhang nyttjas ofta två olika riskmått, individ- respektive samhällsrisk.

Individrisk

Med individrisk, eller platsspecifik risk, avses risken för en enskild individ att omkomma av en specifik händelse under ett år. Individrisken är oberoende av hur många människor som vistas inom ett specifikt område och används för att se till att enskilda individer inte utsätts för oacceptabla höga risknivåer, (Räddningsverket, 1997).

För individrisk har DNV (Det Norske Veritas) definierat acceptanskriterier, (Räddningsverket, 1997). Dessa kriterier är inte tvingande men kan ses som vägledande vid bedömning av risk. Följande kriterier för individrisk föreslås:

- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras är 1×10^{-5} per år.
- Övre gräns för område där risker kan anses små är 1×10^{-7} per år.

För en riskanalys innebär en tillämpning av ovanstående acceptanskriterier att risker ovanför ALARP-området (ALARP=AS Low As Reasonable Possible, dvs ovan 1×10^{-5}) anses vara oacceptabla, oavsett kostnader för eventuella åtgärder. Inom ALARP-området kan risker accepteras om kostnaden för åtgärderna är orimligt höga, samt att risker under den lägre gränsen enligt DNV anses vara acceptabla utan åtgärder.

Samhällsrisk

Samhällsrisk, eller kollektivrisken, visar förhållandet mellan sannolikheten för att ett visst antal människor omkommer till följd av konsekvenser av oönskade händelser och presenteras ofta i form av ett F/N-diagram. Till skillnad från individrisk tar samhällsrisk hänsyn till den befolkningssituation som råder inom undersökt område, (Räddningsverket, 1997).

Följande kriterier för samhällsrisk har föreslagits av DNV:

- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras är 1×10^{-4} per år för $N=1$ och 1×10^{-6} per år för $N=100$, där N är antalet omkomna.
- Övre gräns för område där risker kan anses små är 1×10^{-6} per år för $N=1$ och 1×10^{-8} per år för $N=100$, där N är antalet omkomna.

3 GRUNDLÄGGANDE FÖRUTSÄTTNINGAR

I nedanstående avsnitt beskrivs grundläggande förutsättningar för riskanalysen. En översiktlig beskrivning av det aktuella området, aktuella riskobjekt, definition av det skyddsvärda och valda dimensionerande acceptanskriterier presenteras.

3.1 Områdesbeskrivning

Strandängen ligger utmed Vätterns västra strand cirka fyra kilometer norr om Jönköpings centrum. Området begränsas i väster av järnvägen mot Falköping, i öster av Vättern, i norr av naturmarken i anslutning till Eklundshovs koloniområde i söder av Djupadalsravinen och Trolleboområdet. Den totala ytan är ca 30 ha.

Utbyggnaden omfattar ungefär 1100 nya bostäder med tillhörande parkeringar. Byggnaderna inom området är i huvudsak 4 – 6 våningar men inslag finns med några högre och lägre byggnader. Planområdet redovisas i Figur 2.



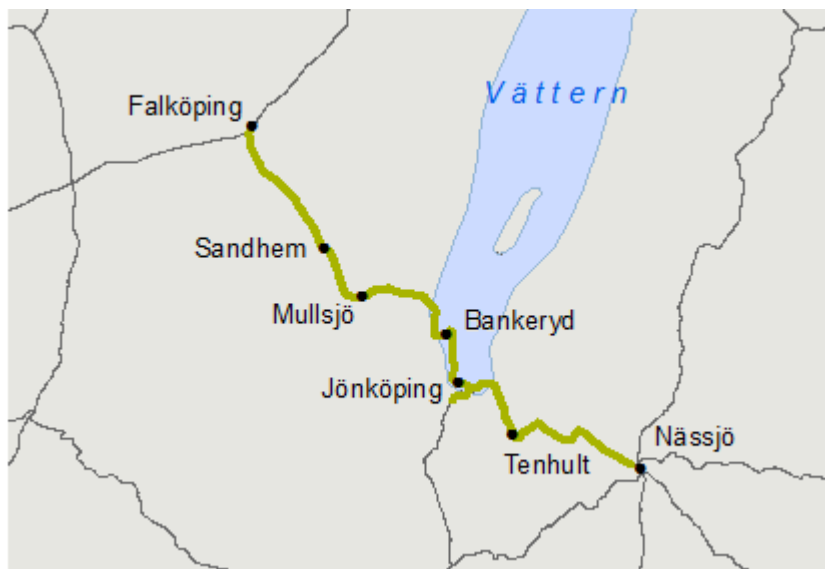
Figur 2 – Sträckningen av tågsträckan längs exploateringsområdet. Vänstra bilden redovisar planområdets södra del, högra bilden den norra delen.

3.1.1 Befolkningstäthet

Utifrån att ca 1100 nya bostäder planeras inom ett ca 30 ha stort område och det i det genomsnittliga hushållet bor 2 personer (SCB, 2016) kan befolkningstätheten förväntas uppgå till nästan 7000 personer per km².

3.2 Järnvägen

Järnvägsspåren löper i en nord-sydlig riktning väster om exploateringsområdet och omfattar delar av Jönköpingsbanan. Jönköpingsbanan förbinder Västra stambanan med Södra stambanan mellan Falköping och Nässjö, se Figur 3.



Figur 3 – Sträckningen för Jönköpingsbanan mellan Falköping och Nässjö. (Trafikverket, 2011)

Järnvägen längs exploateringsområdet trafikeras av person- samt godstrafik, varav godstrafiken även omfattar transporter med farligt gods. Järnvägen är i den södra delen längs exploateringsområdet belägen i ett tråg medan den övergår till att vara belägen på en vall i de norra delarna. Spåret förbi området är tämligen rakt med en hastighet begränsad till 90 -160 km/h (Trafikverket, 2011).

I dagsläget sker tillfarten till Strandängen via en bro över järnvägen i områdets södra del. Ytterligare en tillfart är planerad i norra delen av området. Tillfarten förväntas utgöras av en tunnel under spåret (Jönköpings kommun, Stadsbyggnadskontoret, 2011).

I snitt förväntas ungefär 47 tåg per dygn passera sträckan år 2021. Av dessa förväntas 11 utgöras av godståg och de 36 övriga persontåg¹. Enligt information från Trafikverket² finns även prognoser för sträckan år 2050. Trafikprognoserna redovisas i nedanstående tabell:

Tabell 2 – Prognoser för sträckan Jönköping – Falköping (Trafikverket, 2011)

Sträckan Jönköping - Falköping			
	2011	2021	2051
Godståg	8	11	12
Persontåg	34	36	48
Totalt	42	47	60

På järnvägen längs exploateringsområdet transporteras idag ungefär 400 – 500 godståg med farligt gods per år³. Detta motsvarar ungefär 14-17 % den totala mängden transporter med gods.

Av transporterna med farligt gods utgörs 98,5 % av RID-klass 3 – brandfarliga vätskor. Resterande mängder består av RID-klasserna 1 (Sprängämnen), 2 (gaser), 5.1 (oxiderande ämnen), 6.1 (giftiga

¹ Mejlkorrespondens och telefonsamtal med Emma Andersson, Trafikverket, 2011-10-19

² Mejlkorrespondens med Tanja Jevtic, 2011-10-24

³ Samtal med Roar Hermo, Trafikverket, 2011-10-25

ämnen) samt 8, (Frätande ämnen) och 9 (Övriga farliga ämnen)³. Detta skall ställas i relation till riksgenomsnittet där RID-klass 3 utgör ungefär 54 %, klass 2 utgör 11 % och klass 8 utgör 10 %.

3.3 Vind

Den genomsnittliga vindriktningen mellan år 1961 – 2004 för Jönköpings flygplats visas i nedanstående Tabell 3.

Tabell 3 –Vindriktning mellan 1961 – 2004 för Jönköpings flygplats (Alexandersson A. , 2006)

Riktning	N	NO	O	SO	S	SV	V	NV	Lugnt
Jönköpings flygplats (%)	8,6	10,4	7,0	7,8	14,9	24,3	13,9	6,5	6,7

Vid en farligt gods olycka innefattande gas har vindriktningen en signifikant betydelse. Är vindriktningen från planområdet kommer människor som befinner sig i planområdet inte påverkas.

3.4 Räddningstjänstens insatsmöjligheter

Effekterna av en olycka med farligt gods påverkas av räddningstjänstens insatsmöjligheter. Aktuellt område förutsätts, vid normala förhållanden, kunna nås av räddningstjänstens resurser inom 10 minuter. Närmaste brandstation är Bankeryd deltidstation. Insattiden från heltidsstationen i Jönköping bedöms uppgå till ca 15 min.

4 GROVANALYS

4.1 Transport av farligt gods

Med farligt gods avses varor eller ämnen som har sådana egenskaper att de kan vara skadliga för människor, miljö och egendom, om det inte hanteras rätt under transport. Transport av farligt gods omfattas av en omfattande regelsamling som tagits fram i internationell samverkan. Regelsamlingen fastställer vem som får transportera farligt gods, hur transporterarna ska ske, var dessa transporter får färdas och hur godset ska vara emballerat samt vilka krav som ställs på fordon för transport av farligt gods. Farligt gods delas in i 9 olika klasser⁴ för ämnen med liknande risker vid transport på järnväg. En beskrivning av olika RID-klasser med konsekvensbeskrivning finns nedan.

Tabell 4 – kategorisering, beskrivning och konsekvensbeskrivning av RID-klasser.

RID-klass	Kategori	Beskrivning	Konsekvensbeskrivning
1	Explosiva ämnen och föremål	Sprängämnen, tändmedel, ammunition, krut och fyrverkerier med mera. Maximal tillåten mängd explosiva ämnen på väg är 16 ton enligt EU-normer.	Stor mängd massexplosiva ämnen kan ge ett skadeområde överstigande 50 meter. Personer kan omkomma både inomhus och utomhus. Övriga explosiva ämnen och mindre mängder massexplosiva ämnen ger enbart lokala konsekvensområden.
2	Gaser	Inerta gaser (kväve), oxiderande gaser (syre, ozon, kväveoxider etc.), brännbara gaser (acetylen, gasol etc.) och icke brännbara, giftiga gaser (klor, svaveldioxid, ammoniak etc.).	Giftigt gasmoln, jetflamma, gasmolnsexplosion, BLEVE. Konsekvensområden över 100-tals meter. Omkomna både inomhus och utomhus.
3	Brandfarliga vätskor	Bensin, diesel- och eldningsoljor, lösningsmedel och industrikemikalier etc.	Brand, strålningseffekt, giftig rök. Konsekvensområden vanligtvis inte över 40 meter, beroende på topografi etc.
4	Brandfarliga fasta ämnen	Kiseljärn (metallpulver) karbid och vit fosfor.	Brand, strålningseffekt, giftig rök. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till närområdet kring olyckan.
5	Oxiderande ämnen, organiska peroxider	Natriumklorat, väteperoxider och kaliumklorat.	Självantändning, explosionsartade brandförlopp om väteperoxidlösningar med konc. > 60 % eller organiska peroxider kommer i kontakt med brännbart, organiskt material. Konsekvensområden < 70 meter.
6	Giftiga ämnen	Arsenik-, bly- och kvicksilversalter, cyanider och bekämpningsmedel etc.	Giftigt utsläpp. Konsekvenserna vanligtvis begränsade till närområdet.
7	Radioaktiva ämnen	Medicinska preparat.	Transporteras vanligtvis i små mängder. Utsläpp radioaktivt ämne ger kroniska effekter etc. Konsekvenserna begränsas till närområdet.
8	Frätande ämnen	Saltsyra, svavelsyra, salpetersyra, natrium- och kaliumhydroxid.	Utsläpp av frätande ämne. Konsekvenser begränsade till närområdet.
9	Övriga farliga ämnen och föremål	Gödningsämnen, asbest, magnetiska material etc.	Utsläpp. Konsekvenser begränsade till närområdet

⁴ Klassificeringen benämns ofta RID-klasser efter ett europeiskt regelverk för transport av farligt gods på järnväg.

4.2 Identifiering av olycksscenarion

Utifrån avsnitt 4.1 har ett antal olycksscenarion identifierats. I Tabell 5 presenteras kortfattat de olycksscenarion som identifierats.

Tabell 5 – olycksscenarion identifierade i anslutning till planområdet Strandängen

Tabell 5 – Olycksscenarioer identifierade i analysen av planområdet Strandängen			
Id	Scenario	Skadehändelse	Möjlig konsekvens
1	Olycka med farligt godstransport med explosiva ämnen i RID-klass 1	Utsläpp och deflagration	Personer inom Strandängen omkommer.
2	Olycka med farligt godstransport med brandfarlig gas i RID-klass 2.1	Utsläpp och antändning	
3	Olycka med farligt godstransport med giftig gas i RID-klass 2.3	Utsläpp	
4	Olycka med farligt godstransport med brandfarlig vätska i RID-klass 3	Utsläpp och antändning	
5	Olycka med farligt godstransport med brandfarliga fasta ämnen i RID-klass 4.1		
6	Olycka med farligt godstransport med självantändande ämnen i RID-klass 4.2		
7	Olycka med farligt godstransport med ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten i RID-klass 4.3	Utsläpp, reaktion med vatten och antändning	
8	Olycka med farligt godstransport med giftiga ämnen i RID-klass 6.1	Utsläpp	
9	Olycka med farligt godstransport med smittförande ämnen i RID-klass 6.2		
10	Olycka med farligt godstrasport med frätande ämnen i RID-klass 8		
11	Olycka med farligt godstransport med övriga ämnen och föremål i RID-klass 9		

Beroende på hur närområdet kring spåret utformas kan en olycka vid urspärning förvärras. Vanligen genererar en tågurspärning endast mindre konsekvenser då endast ett eller ett par hjulpar lämnar spåret.

En urspärning med dödsfall bedöms i praktiken omöjlig mot områdets södra del där spåren ligger i ett tråg.

4.3 Bedömning av identifierade olycksscenario

Sammanställning och värdering av de identifierade scenarierna presenteras i Tabell 6. Värderingen baseras på de uppgifter och data som presenterats i föregående avsnitt.

Tabell 6 – värdering av identifierade olycksscenario (Skala 1-5).

Id	Konsekvens	Sannolikhet	Risk	Kommentar
1	5	1	5	Personer i anslutning till området förolyckas givet att det sker en detonation
2	4	1	4	Personer i anslutning till området förolyckas givet att det sker ett utsläpp och antändning.
3	4	1	4	Personer i området kommer ej att förolyckas givet att det sker ett utsläpp.
4	2	3	6	Personer i anslutning till området förolyckas då höga värmestrålningsnivåer uppstår givet utsläpp och antändning.
5	2	1	2	Personer i anslutning till området förolyckas då höga värmestrålningsnivåer uppstår givet utsläpp och antändning.
6	2	1	2	Personer i anslutning till området förolyckas då höga värmestrålningsnivåer uppstår givet utsläpp och antändning.
7	2	1	2	Personer i anslutning till området förolyckas då höga värmestrålningsnivåer uppstår givet utsläpp, reaktion med vatten och antändning.
8	2	1	2	Personer i anslutning till området förolyckas då höga halter av giftiga ångor uppstår givet utsläpp.
9	1	1	1	Personer i anslutning till området förolyckas då höga halter av smittförande ämnen läcker ut givet utsläpp.
10	2	2	4	Personer i anslutning till området förolyckas då höga halter av giftiga ångor uppstår givet utsläpp.
11	1	1	1	--

För att visualisera och tydliggöra de identifierade scenarierna har de placerats i en riskmatris som återges i Figur 4.

Sannolikhetsnivå	5 1 gång per år,					
	4 1 gång per 1 – 10 år				Åtgärdas akut	
	3 1 gång per 10 – 100 år,		4	Åtgärdsbehov skall utredas		
	2 1 gång per 100 – 1000 år		Åtgärdsbehov bör beaktas 10			
	1 < 1 gång per 1000 år	Acceptabel risk 9, 11	5, 6, 7, 8		2, 3	1
		1 Övergående lindriga obehag	2 Enstaka skadade, varaktiga obehag	3 Enstaka svårt skadade	4 Enstaka dödsfall, flera svårt skadade	5 Flera dödsfall, 10-tal svårt skadade
Konsekvensnivå						

Figur 4 – riskmatris avseende identifierade scenarierna.

4.4 Utvalda scenarierna för vidare analys

Utifrån ovan gjorda grovanalys och visualiseringen i riskmatris visar att scenario 1, 2, 3 och 4 bör beaktas då den uppskattade risken ligger inom de områden i riskmatrisen där åtgärdsbehov bör utredas enligt valda riskkriterier. Även scenario 10 studeras kvantitativt i de fortsatta beräkningarna.

4.4.1 Scenario 1 – Olycka med farligt godstransport med explosiva ämnen

Sannolikheten för olycka med farligt godstransport med explosiva ämnen bedöms som mycket låg utifrån de mängder som transporteras via Jönköpingsbanan. Konsekvensen bedöms däremot kunna orsaka flera dödsfall samt 10-tal svårt skadade. Konsekvensbedömningen grundar sig på att personer som vistas inom Strandängen kan omkomma/skadas på grund av värmestrålning, tryckvåg eller flygande föremål orsakade av explosionen. Konsekvensområdet kan överstiga 50 m.

4.4.2 Scenario 2 – Olycka med farligt godstransport med brandfarlig gas

Sannolikheten för olycka med farligt godstransport med brandfarlig gas bedöms som relativt låg utifrån transporterade mängder. Konsekvensen för en olycka med brandfarlig gas kan däremot medföra enstaka dödsfall och/eller skadade inom Strandängen. Personer inom området kan omkomma/skadas på grund

av värmestrålning från jetflamma, gasmolnsexplosion, eller BLEVE. Konsekvensområden kan uppgå till 100-tals meter.

4.4.3 Scenarion 3 – Olycka med farligt godstransport med giftig gas

Sannolikheten för olycka med farligt godstransport med giftig gas bedöms som relativt låg utifrån transporterade mängder. Konsekvensen för en olycka med giftig gas kan däremot medföra enstaka dödsfall och/eller skadade inom Strandängen. Personer inom området kan omkomma/skadas på grund av exponering av giftig gas med akuta eller kroniska besvär som följd. Konsekvensområden kan uppgå till 100-tals meter.

4.4.4 Scenarion 4 – Olycka med farligt godstransport med brandfarlig vätska

Sannolikheten för olycka med farligt godstransport med brandfarlig vätska bedöms som relativt hög jämfört med övriga studerade scenarier med hänsyn till transporterade mängder. Konsekvensen av en olycka med brandfarlig vätska bedöms mindre jämfört med flertalet av övriga scenarier. Personer inom området kan omkomma/skadas på grund av direkt flampåverkan eller höga/akuta strålningsnivåer. Konsekvensområden kan uppgå till ca 50 meter beroende på utsläppet riktning, utbredning och mängd. I den södra delen av området ligger järnvägen på en lägre nivå jämfört med planområdet i övrigt. I den norra delen är förhållandet det omvända varför det finns en risk att ett utsläpp rinner mot planområdet och sedan antänds vilket behöver analyseras närmare.

4.4.5 Scenarion 10 – Olycka med farligt godstransport med frätande ämnen

Risk för personskada uppkommer om man utsätts direkt av frätande vätska från skadad cisternvagn vid kollision/urspårning. Normalt uppskattas skadeområdet till cirka 20 meter från spårområdet, det vill säga i transportledens omedelbara närhet.

4.5 Slutsatser av grovanalys

Grovanalysen för Strandängen har visat på fem scenarier som utgör ej försumbara risker längs Strandängen. Utvalda scenarier kommer därför att studeras vidare i en fördjupad riskanalys där respektive scenario studeras mer ingående.

5 FÖRDJUPAD RISKANALYS

I nedanstående avsnitt görs en fördjupad riskanalys utifrån de scenarier som identifierats i grovanalysen. I den fördjupade riskanalysen utförs en kvantitativ analys för att bestämma storleken av sannolikhet och konsekvens. Sannolikheten och konsekvensen ligger därefter till grund för att bestämma den samlade individrisken för exploateringsområdet.

De scenarier som identifierats presenteras i nedanstående avsnitt.

- Scenario 1 – Olycka med farligt godstransport med **explosiva ämnen**
- Scenario 2 – Olycka med farligt godstransport med **brandfarlig gas**
- Scenario 3 – Olycka med farligt godstransport med **giftig gas**
- Scenario 4 – Olycka med farligt godstransport med **brandfarlig vätska**
- Scenario 10 – Olycka med farligt godstransport med **frätande ämnen**

5.1 Sannolikhet för olycka med farligt gods

Beräkning av sannolikhet för farligt gods olycka sker i två steg. Först beräknas sannolikheten för urspårning längs planområdet. Därefter beräknas sannolikheten för att urspårningen leder till en farligt gods olycka.

Beräkning av sannolikhet för farligt gods olycka grundar sig på metodik beskriven enligt Räddningsverket, (Räddningsverket, 1996) och Banverket, (Fréden, 2001), och presenteras i Bilaga 1.

Vid framtagandet av modellen har en analys gjorts av vilka faktorer som påverkar sannolikheten för järnvägsolycka längs en specifik sträckning.

Faktorer som påverkar händelseförloppet är till exempel hastighet, tågtyp, bankonstruktion och underhåll.

5.1.1 Frekvensberäkning - Urspårning

Järnvägstrafiken utsätter omgivningen huvudsakligen för urspårningsrisk, vilket kan leda till att lok och vagnar kolliderar med intilliggande byggnader. Vanliga orsaker till urspårning är följande, (Fréden, 2001):

- Rälsbrott
- Solkurvor
- Spårlägesfel
- Vagnfel
- Annan eller okänd orsak

Information för att beräkna sannolikheten för en urspårning är antalet tåg per år, antalet korsningar, antal växlar, spårsträckans längd, antal vagnar per tåg och antal vagnaxlar per vagn.

Följande indata och antaganden har nyttjats vid beräkningarna av sannolikhet för urspårning:

- Antalet tåg (och andelar av person- respektive godståg) som förväntas passera planområdet framgår av Tabell 2
- 15,7 % av samtliga godståg antas vara godståg lastade med farligt gods
- Varje godståg med farligt gods antas innehålla 29 vagnar (Länsstyrelsen i Skåne län, 2007) varav 5⁵ av dessa utgörs av vagnar lastade med farligt gods
- Fördelning av transporterade RID-klasser farligt gods framgår av avsnitt 3.2.
- Den studerade spårsträckans längd har förutsatts vara 1000 m (planområdets längd).

⁵ Telefonsamtal med Roar Hermo, Trafikverket, 2011-10-25

- Spårkvaliteten i beräkningarna förutsätts vara av typ A (dvs betongslipers mm.).
- Inom området förväntas inga plankorsningar eller växlar förekomma. Någon ny tågpererrong i höjd med planområdet har heller inte förutsatts. Ovanstående antaganden är osäkra och har därför studerats i separat känslighetsanalys.

Utifrån ovanstående förutsättningar har olycksfrekvensen (dvs att minst en vagn lastad med farligt gods spårar ur under ett år) för urspårning längs studerad sträcka beräknats till $8,4 \times 10^{-5}$.

Data över hur långt från spårmittpunkt som tåg vid inträffade urspårningar har hamnat som längst framgår av Tabell 7. Statistiken bygger på urspårningar som har inträffat i varierande miljöer med olika typer av omgivande terräng och är inte specifik för situationer då spårområde och omgivning är i samma höjd (Fréden, 2001).

Tabell 7 – Avstånd från spår (m) efter urspårning (Fréden, 2001).

Avstånd från spår (%)	0 – 1	1 – 5	5 – 15	15 – 25	>25	Okänt
Resandetåg	69	16	2	2	0	12
Godståg	64	18	5	2	2	9

Enligt Fréden (2001) beror spridningen av urspårade tåg främst på spårets läge i förhållande till omgivningen och omgivningens beskaffenhet. I Strandängen är de södra delarna belägna i ett tråg medan spåret i norr är belägen på en vall.

Där spåret är beläget i ett tråg i de södra delarna begränsas urspårningssträckan av tråget medan det i den norra delen bedöms följa fördelningen enligt Tabell 7.

5.1.2 Sannolikhet för farligt gods olycka vid urspårning

Det faktum att en vagn lastad med farligt gods spårar ur innebär inte nödvändigtvis att det blir en farligt gods olycka. I de flesta fall håller tanken utan vidare läckage. Om tanken håller eller inte beror på flera olika faktorer, men den viktigaste faktorn är tankens konstruktion. Idag finns i huvudsak två huvudtyper av tankvagnar i trafik, tunnväggiga avsedda för vätskor under atmosfärstryck och tjockväggiga för transporter av gaser under övertryck. (Fréden, 2001).

Samtliga tågsvagnar där transporterade ämnen av farligt gods sker i trycksatta behållare har förutsatts leda till utsläpp (punktering, hål i kärl) vid 1% av urspårningarna. Samma antagande har även gjorts för transporter av explosiva ämnen. Övrig transporter förväntas ske med kärl med tunnare väggar. Andelen urspårningar som förväntas leda till utsläpp/läckage är då 25%. (Fréden, 2001).

5.2 Konsekvens av skadehändelse

Konsekvensberäkningar utgår ifrån händelseträdet och beräknas med hjälp av dataprogrammet @RISK, vilket möjliggör kontinuerliga fördelningar för kritiska avstånd i händelse av olycka. Beräkningar av konsekvenser vid farligt gods olycka beror på val av ämne, storlek på läckage, vindriktning mm. En detaljerad redovisning av gjorda antaganden och beräkningar framgår av Bilaga 3.

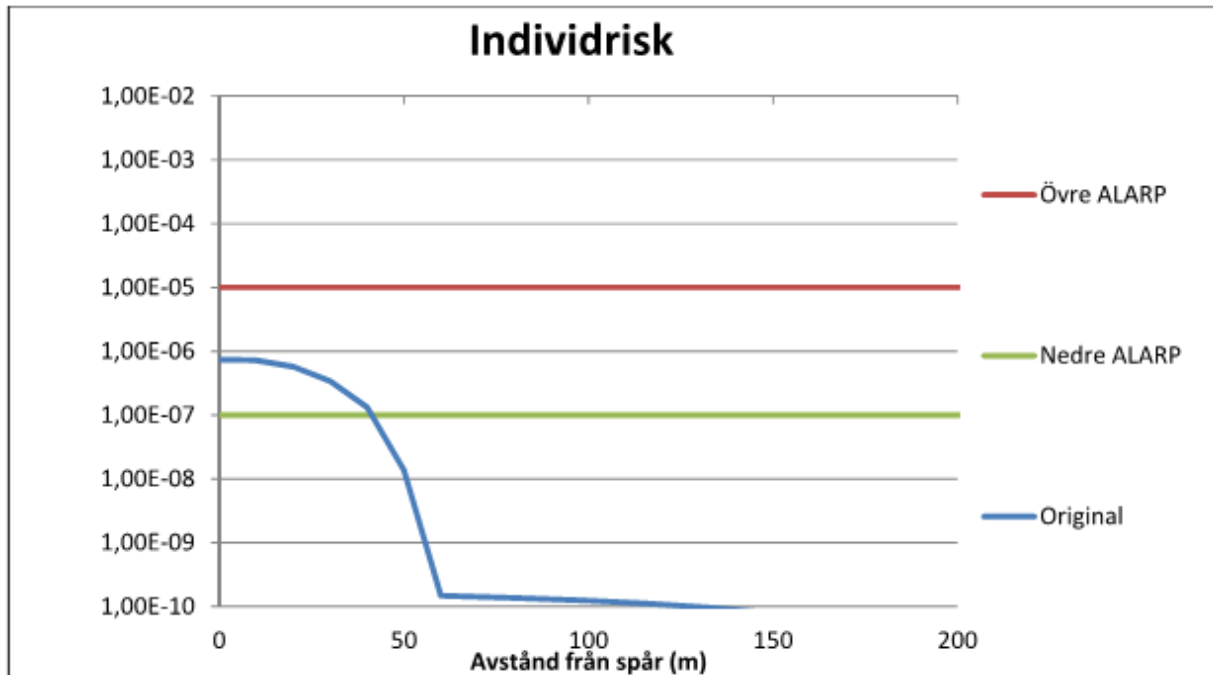
Tabell 8 - Väntevärden på riskavstånd vid olika scenarier

Scenario	Konsekvens	Riskavstånd (m)
1	Explosion	50
2	Fördröjd antändning (brandfarlig gas)	114
2	Jetflamma	27
3	Giftig gas	270
4	Brandfarlig vätska	32
10	Frätande	12,5

För konsekvenser med gaser där vindriktningen är av avgörande betydelse har värden enligt avsnitt 3.3 nyttjats. Kritisk konsekvens antas uppstå då vindriktningen är Sydlig – Västlig – Nordlig.

5.3 Individrisk

Individrisk längs Jönköpingsbanan intill exploateringsområdet Strandängen återges i Figur 5.



Figur 5 – Beräknad individrisk i relation till avståndet från järnvägsspåret längs Strandängen.

Beräkningarna bygger på de presenterade skadehändelserna presenterade i avsnitt 4.4, med variationer i antaganden om hålstorlek, vindar, etc.

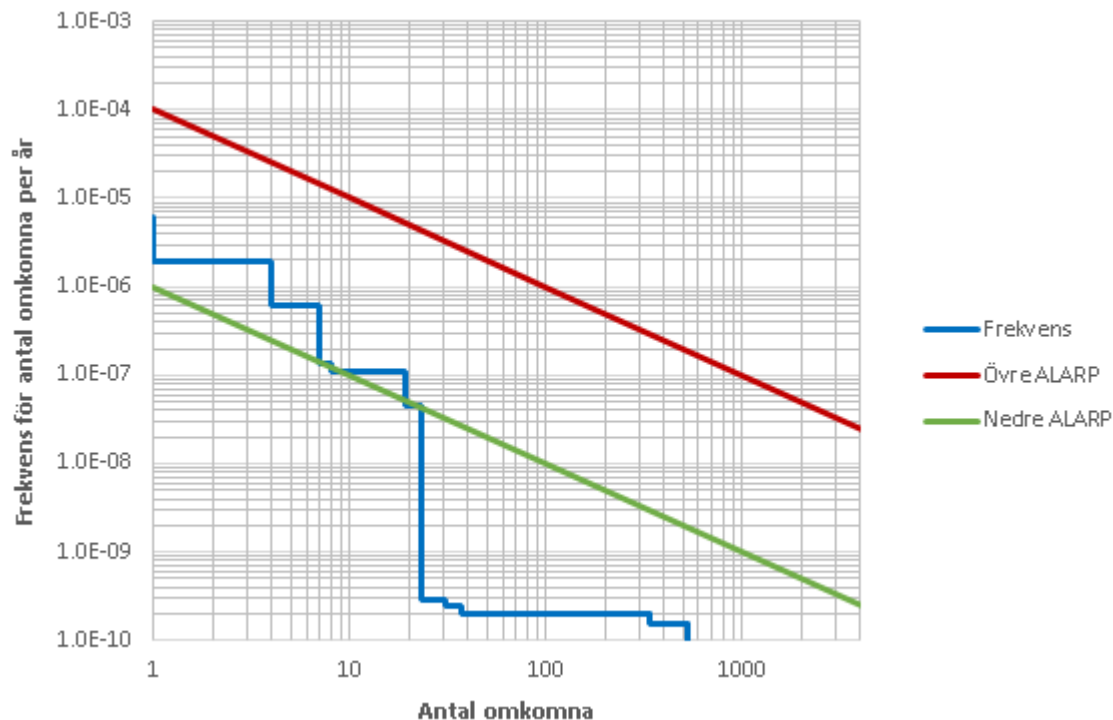
Det kan konstateras att individrisk inom planområdet ligger under 1×10^{-5} per år. Risknivån sjunker under 1×10^{-7} vid ett avstånd av ca 40 meter från spårområdet.

Brytpunkten där nedre ALARP överstigs ligger på 40 meter. Inom detta avstånd bedöms riskreducerande åtgärder erfordras närmast spårområdet. De riskreducerande åtgärderna med tillhörande individriskkurva presenteras i nedanstående avsnitt 5.5.

Tolkningen av grafens utseende är att eftersom 98 % av farligt gods transporterarna utgörs av brandfarlig vätska är det denna konsekvens som första hand speglar grafens utseende inom intervallet 0-ca 60 m. Detta eftersom konsekvensområdet med brandfarlig vätska aldrig överstiger detta avstånd. Medelvärde för konsekvens med brandfarlig vätska uppgår till 32 m. Detta värde är dock osäkert och beror delvis på vilken utbredning pölen med brandfarlig vätska förutsätts anta. Detta i sin tur beror på utformningen av marken intill spåret. I områdets södra del utgör detta knappast ett problem eftersom spåret ligger i ett tråg. I områdets norra del förutsätts inga diken eller vattenavrinning finnas och den pöl som bildas antas breda ut sig i riktning mot planområdet mot vilket marken lutar.

5.4 Samhällsrisk

Samhällsrisk längs Jönköpingsbanan intill exploateringsområdet Strandängen återges i Figur 6.



Figur 6 – Beräknad samhällsrisk.

Samhällsriskerna hamnar delvis inom ALARP vilket innebär att samtliga skyddsåtgärder som bedöms rimliga bör vidtas för att reducera den.

5.5 Osäkerheter och Känslighetsanalys

Det finns osäkerheter i indata, modell och antaganden. En av de största osäkerhetsparametrarna är antalet transporter samt fördelningen av olika transporter farligt gods. I dagsläget transporteras ungefär 400 – 500 godståg med farligt gods per år. Det finns ett spår längs exploateringsområdet tillgängligt vilket begränsar en ytterligare ökning av antalet transporter. I framtiden finns planer att uppgradera spårbanan mellan Jönköping och Falköping vilket kommer öka kapaciteten. I de prognoser som tagits fram av Trafikverket utgör utökningen av godståg endast en marginell utökning från 8 till 12 godståg per dygn 2050. I känslighetsanalysen har antalet godståg med farligt gods fördubblats till 800 – 1000 tåg med farligt gods för att utröna hur en fördubbling av antalet transporter med farligt gods påverkar.

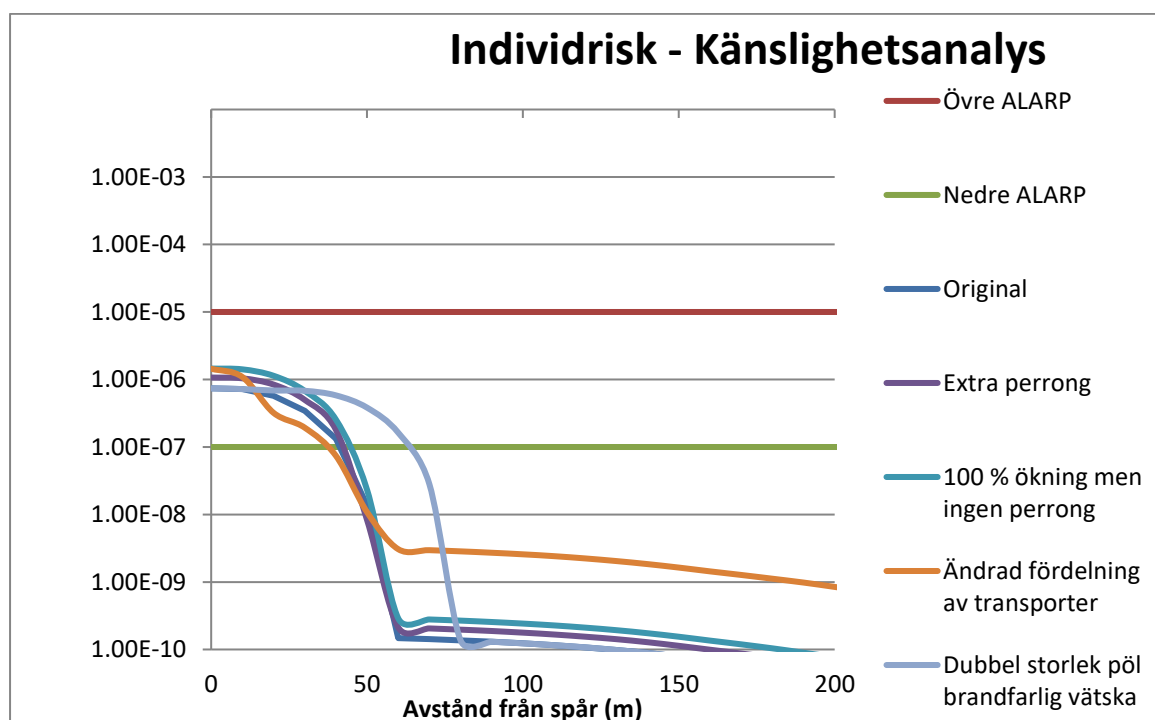
Idag utgörs ungefär 98 % av transportererna med farligt gods brandfarlig vätska. Beroende på hur behovet av exempelvis natur-/biogas och olika kemikalier ser ut i framtiden kommer troligen transportererna av dessa öka. I känslighetsanalysen har en fördelning motsvarande riksgenomsnittet för Sverige använts. I riksgenomsnittet har bland annat RID-klass 3 sänkts från 98 % till 54 % och brandfarliga gaser ökats från 0,5 % till 11 % av de totala transportererna farligt gods.

Ytterligare en osäkerhetsparameter är så till vida området skall förses med en extra perrong för att utöka kommunikationsmöjligheter till och från området. En extra perrong påverkar antalet växlingsrörelser längs sträckan och påverkar därmed sannolikheten för urspårning. I känslighetsanalysen har sannolikheten för urspårning ökat från $8,4 \cdot 10^{-5}$ till $1,2 \cdot 10^{-4}$ efter sannolikheten för urspårning vid perrongen beaktats.

Den troligaste olyckan längs exploateringsområdet är en pölbrand då 98 % av transportererna utgörs av brandfarlig vätska. Beroende på markens infiltrationsförmåga, hålstorleken i tanken etc. påverkas pölens storlek och dess utbredning. I känslighetsanalysen har en pölstorlek av 250-500 m² använts (jämfört med 25-250 m²), vilket bedöms som konservativt då området längs järnvägen främst består av naturmark vilket har en viss infiltration samt begränsar utspridningen av vätska. Analysen har gjorts för

att studera effekterna om brandfarliga vätska förutsätts rinna mot byggnaderna. Själva pölen förväntas dock aldrig nå mer än ca 25 meter från järnvägen (vilket motsvarar den största arean 500 m²).

Beräknad individrisk i känslighetsanalysen framgår av Figur 7.



Figur 7 – Känslighetsanalys av beräknad individrisk i relation till avståndet från järnvägsspåret längs Strandängen.

Resultatet av känslighetsanalysen visar att individrisken understiger nedre ALARP (1×10^{-7}) efter 50 meter i samtliga fall förutom om pölstorleken vid ett utsläpp av brandfarlig vätska ökas (till 250 – 500 m²). Själva pölen förväntas dock aldrig nå mer än ca 25 meter från järnvägen (vilket motsvarar den största arean 500 m²).

Osäkerheterna kan påverka den beräknade risknivån både uppåt och nedåt. Det finns skäl som talar för att beräkningen av risken är att betrakta som konservativ och valda indata innebär en förskjutning mot högre risk.

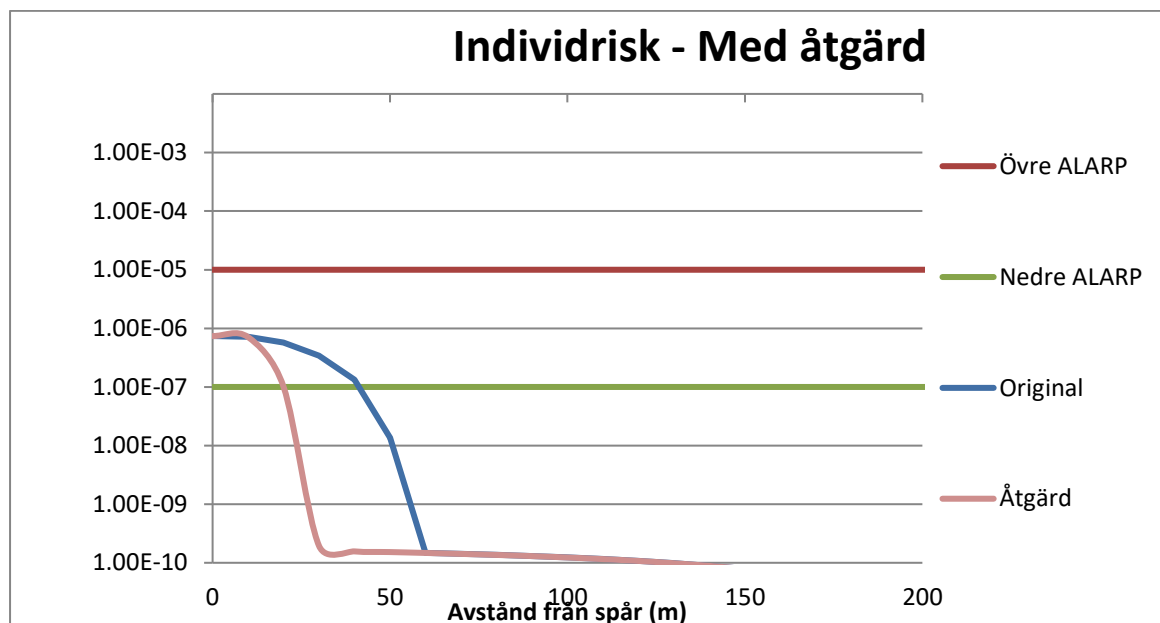
5.6 Individrisk med riskreducerande åtgärder

Längs Jönköpingsbanan transporteras främst brandfarlig vätska (RID-klass 3), vilket har störst inverkan nära spårområdet (ca 30 m från spårområdet). För att reducera individrisken mellan spårområdet och byggnaderna bör rimliga åtgärder mot brandfarlig vätska vidtas. Övriga ämnesklasser bedöms ha en marginell inverkan på individrisken.

Genom att uppföra ett dike längs planområdet i den norra delen där järnvägen är placerad på en vall begränsas spridningen av brandfarlig vätska mot byggnaderna i exploateringsområdet. Ett dike samlar vätskan i en ränna, vilket gör att flammorna vid en eventuell pölbrand blir lägre jämfört med en cirkulär pölbrand. Beroende på hur diket utformas kan diket även ha en positiv inverkan på hur långt tåget färdas vid urspärning.

Bortom diket mot bostäderna avses träd planteras. Beroende på vilken typ av träd som planteras begränsar träden strålningsintensiteten mot byggnaderna inom planområdet. Bladträd ger vanligen ett bra skydd under sommartiden medan de under vintern endast har en marginell inverkan av strålningsintensiteten.

I nedanstående beräkning, Figur 8, av individrisken har endast ett dike beaktats som riskreducerande åtgärd. Effekten av plantering av träd är svårt att uppskatta då typ (blad, barr etc.), höjd och grenverkets täthet inverkar.

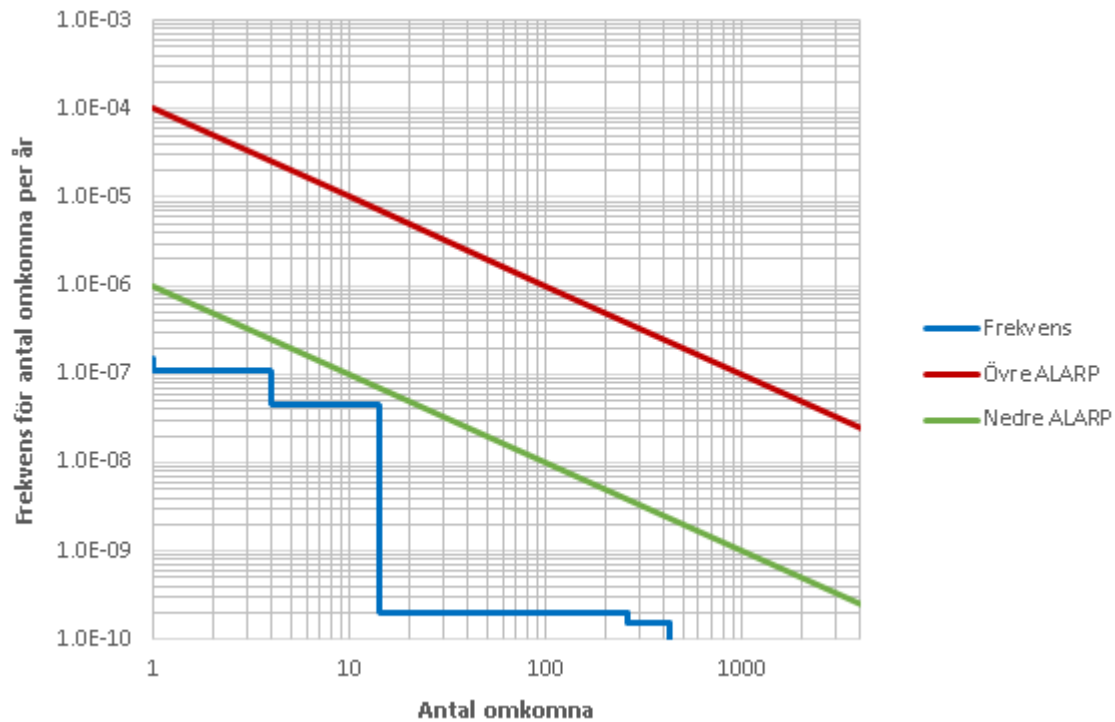


Figur 8 - Beräknad individrisk i relation till avståndet från järnvägsspåret längs Strandängen efter att riskreducerande åtgärder vidtagits.

Efter att riskreducerande åtgärder har vidtagits i form av ett dike längs järnvägen understigs $1 \cdot 10^{-7}$ efter cirka 20 meter.

5.7 Samhällsrisk med riskreducerande åtgärder

För att reducera samhällsriskerna föreslås att nya byggnader där stadigvarande vistelse kan ske, såsom bostäder, handel, skola och kontor, placeras som närmast 40 meter från järnvägens spårmitte. Effekten av skyddsavståndet på samhällsriskerna redovisas i Figur 9.



Figur 9 - Beräknad samhällsrisk efter att skyddsavstånd införts.

Samhällsrisk sänks under ALARP vilket innebär att den blir acceptabelt låg enligt gällande värderingskriterier.

5.8 Slutsats

Resultatet av genomförd analys visar att individ- och samhällsrisknivåer delvis överstiger en nivå där åtgärder bör vidtas under förutsättning att åtgärderna utifrån ett kostnads-nyttoperspektiv är försvarbara. Följande krav på åtgärder bedöms därför rimliga att ställa på planområdets utformning.

Avstånd från spårmit	Verksamhet	Krav på åtgärd
< 5 m	Bebyggelsefritt	De närmaste 5 meterna kring spåret skall utformas utan hårda objekt (träd eller dylikt) för att begränsa sannolikheten att en urspårning leder till en allvarlig olycka. Vid ett avstånd överstigande fem meter bedöms sannolikheten för urspårning tillräckligt låg utan att ytterligare begränsningar vidtas för att reducera risken för kollision.
< 20 m	Bebyggelsefritt med undantag av garage, carport, förråd mm.	Bebyggelsefritt med undantag av garage, förråd och motsvarande byggnader där stadigvarande vistelse inte kan förutsättas.
< 40 m	Bebyggelsefritt med undantag av garage, carport, förråd mm.	Lekplatser, skolgård, idrottsplatser mm. bör undvikas
< 50 m	Bostäder, kontor och motsvarande.	Fasadbeklädnaden på nya byggnader inom 50 m från spårmit skall utföras av material i klass A2-s1,d0 (obrännbart material). Alternativt tillskapas ett dike (på ett avstånd mellan 5 och 20 m från spårmit) längs med hela den sträckning av järnvägen där spåret ligger på en plushöjd över angränsande planområde. Diket skall vara minst en 1 djupt och avrinning skall ej ske mot byggnad där stadigvarande vistelse kan förutsättas. Under förutsättning att ett dike tillskapas skall fasadbeklädnad utföras av material i lägst brandteknisk klass D-s2,d0. Syftet är att skydda mot hög värmestrålning från pölbränder (brandfarlig vätska). Själva pölen förväntas dock, även i det värsta tänkbara scenariot, aldrig nå mer än ca 25 meter från spårmit.
>= 50 m	Ingen begränsning	Inga särskilda krav

Under förutsättning att ovanstående åtgärder vidtas bedöms inga ytterligare åtgärder erfordras.

Briab – Brand och Riskingenjörerna AB

Fredrik Carlsson

Peter Nilsson

Internkontroll
Henrik Nordenstedt

6 LITTERATURFÖRTECKNING

- Alexandersson, A. (2006). *Vindstatistik för Sverige 1961 - 2004, Rapportnummer 121*. Norrköping: SMHI.
- Boverket, Räddningsverket. (2006). *Säkerhetshöjande åtgärder i detaljplaner – vägledningsrapport*. Karlstad.
- CPR. (1999). *CPR 18E – Guidelines for Quantitative Risk Analysis*. Committé for the prevention of disaster.
- FOA. (1998). *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gas och vätskor – metoder för*. Stockholm: Försvarets Forskningsantalt.
- Fréden, S. (2001). *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Rapport 2001:15*. Stockholm: Banverket.
- Jönköpings kommun, Stadsbyggnadskontoret. (2011). *Planprogram för Strandängen, samrådshandling, Dnr: 2011:79. 14: 04*.
- Länsstyrelsen i Skåne län. (2007). *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen, 2007:6*. Malmö: Länsstyrelsen i Skåne län.
- Palisade Corp. (2008). *Users guide @RISK 5*. Palisade Corp.
- Purdy, G. (1993). Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail. 33.
- Räddningsverket. (1996). *Farligt gods - riskbedömning vid transport- Handbok för riskbedömning av transporter med farligt gods på väg och järnväg*. Karlstad: Räddningsverket.
- Räddningsverket. (1996). *Statens räddningsverks föreskrifter om transport av farligt gods*. Karlstad: Räddningsverket.
- Räddningsverket. (1997). *Värdering av risk*. Karlstad: Räddningsverket.
- Trafikverket. (den 19 10 2011). Hämtat från <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sveriges-jarnvagsnat/Jonkopingsbanan/>
- SCB. (2016). *Hushållens boende 2015*.
- Trafikverket. (den 24 10 2011). Tanja Jevtic. Jönköping.
- Trafikverket. (den 19 05 2011). *Trafikverket*. Hämtat från <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sveriges-jarnvagsnat/Jonkopingsbanan/> den 25 10 2011

STRANDÄNGEN

JÖNKÖPING

FÖRDJUPAD RISKANALYS

BILAGA 1 SANNOLIKHETSBERÄKNING

2018-01-25

Version 3

Fredrik Carlsson

fredrik.carlsson@briab.se

08-410 102 64

Peter Nilsson

peter.nilsson@briab.se

08-410 102 59

SANNOLIKHET FÖR OLYCKA PÅ JÄRNVÄGEN

För att beräkna sannolikheten för en järnvägsolycka som påverkar personer inom aktuellt område har en modell som utarbetats vid Banverket nyttjats, (Fréden, 2001). Vid framtagandet av modellen har en analys gjorts av vilka faktorer som påverkar sannolikheten för järnvägsolycka längs en specifik sträckning.

Skattning av förväntat antal olyckor sker genom att järnvägens möjliga olyckor delas upp i ett antal typer som kan betraktas som av varandra oberoende funktioner. Dessutom antas att förväntat antal olyckor är en linjär funktion av ett uttryck för verksamhetens omfattning. Ett uttryck för förväntat antal olyckor (φ) ges av:

$$\varphi = W \cdot I$$

Exponeringsvariabeln (W) representerar järnvägsdriftens omfattning i ett för olyckstypen signifikant avseende, till exempel tågkilometer, vagnaxelkilometer, antal växelpassager.

Intensitetsfaktorn (I) utgör ett mått på förväntat antal olyckor som en funktion av verksamhetens omfattning. Formeln används för samtliga olyckstyper och de olika resultaten adderas sedan för att få det totala antalet förväntade olyckor.

I modellen presenteras ett antal förslag till tänkbara scenarier för hur olyckor på järnväg kan uppstå. Bland dessa nämns:

1. Urspårning
2. Påkörning i samband med urspårning
3. Sammanstötning mellan tåg
4. Olyckor vid rangering och växling.
5. Bränder till följd av gnistor från tåg
6. Plankorsningsolyckor
7. Växlingsolyckor

Den aktuella spårsträckan som antas kunna påverka Strandängen vid en olycka av farligt gods är 300 meter. Sträckan är vald med avseende på att det utgör ungefär 50 %-percentilen av konsekvensavståndet för RID-klass 2.3 – Giftiga gaser. Merparten av de ämnen som transporteras har ett kortare konsekvensavstånd varför antagen sträcka bedöms vara konservativt.

Med avseende på områdets utformning tas endast hänsyn till urspårnings- och växlingsolyckor, med följande kommentarer:

- Påkörning i samband med urspårning bedöms ej rimligt eftersom det endast förekommer ett spår.
- Sammanstötning av tåg otroligt ovanligt beroende på utbyggnaden av ATC system, (Fréden, 2001).
- Rangering inte sker inom området.
- Omgivningen är inte lättantändlig.
- Plankorsningar inte existerar inom den intressanta sträckan. Tillkommande korsningar förutsätts inte ske i plan.

I den fortsatta analysen behandlas alltså bara urspårningar respektive växlingsolyckor.

Antaganden om trafiken för fördjupad riskanalys

Nedan listas de antaganden och motiveringar som utgör grunden för den fortsatta analysen av Strandängen inom Jönköping.

- I analysen behandlas kategorin persontåg och godståg.
- Tågtrafiken tillämpar vänstertrafik.
- Hälften av den genomgående trafiken antas gå norrgående och hälften södergående.
- Transporter av farligt gods antas vara jämnt fördelat över årets 365 dagar.
- Hastigheter för genomgående tåg kan uppgå till som mest 160 km/h¹.
- Ett godståg antas hålla 29 vagnar².
- Varje godståg som är lastat med farligt gods antas 5 av 29 vagnar vara lastade med farlig gods.
- Godstågen antas av vagnar av blandat av typerna boggies (4 axlar) och 2-axliga vagnar.
- 500 tåg med lastade med farligt gods antas passera förbi planområdet per år.³

Olycksfrekvens för urspårning

För att beräkna olycksfrekvensen för en urspårning nyttjas exponeringsvariabler och intensitetsfaktorer för givna olyckstyper som presenteras i Tabell 1, (Fréden, 2001).

Tabell 1 – exponeringsvariabler och intensitetsfaktorer för en given olyckstyper.

Olyckstyp	Exponeringsvariabel	Exponeringsfaktor	Intensitetsfaktor	Olycksfrekvens
Rälsbrott	vagnaxelkm	13050	5E-11	6,53E-07
Solkurva	antal spårkm	0,3	1E-5	3,00E-06
Spårlägesfel	antal vagnaxelkm	13050	4,00E-10	5,22E-06
Snö och is	Enligt enskild utredning			0,00E+00
Skred, ras	Enligt enskild utredning			0,00E+00
Växel, sliten, trasig	Antal tågpassager genom växel	500	0,00E+00	0,00E+00
Växel ur kontroll	Antal tågpassager genom växel	500	0,00E+00	0,00E+00
Vagnfel	vagnaxelkm	13050	31E-10	4,05E-05
Lastförskjutning	vagnaxelkm	13050	4,00E-10	5,22E-06
Sabotage	Enligt enskild utredning	0	0,00E+00	0,00E+00
Annan orsak	tågkm	150	5,70E-08	8,55E-06
Okänd orsak	tågkm	150	1,40E-07	2,10E-05
			Summa	8,41E-05

Där:

- Vagnaxelkm = aktuellt rälsavsnitt i km x antal vagnar som passerar per år x antal axlar per vagn
- Spårkm = aktuellt rälsavsnitt i km x spår
- Tågkm = aktuellt rälsavsnitt i km x antal tåg per år
- Antal tågpassager genom växel = antal tågpassager genom växel per år.

¹ <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sveriges-jarnvagsnat/Jonkopingsbanan/>

² Jan Pettersson, Farligt godsexpert, Green Cargo. 2010-09-14.

³ <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sveriges-jarnvagsnat/Jonkopingsbanan/>

LITTERATURFÖRTECKNING

Fréden, S. (2001). *Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Rapport 2001:15*. Stockholm: Banverket.

Räddningsverket. (1996). *Farligt gods - riskbedömning vid transport- Handbok för riskbedömning av transporter med fatligt gods på väg och järnväg*. Karlstad: Räddningsverket.

STRANDÄNGEN
JÖNKÖPING
FÖRDJUPAD RISKANALYS

BILAGA 2
PÅVERKAN PÅ MÄNNISKOR OCH OMGIVNING

2018-01-25

Version 3

Fredrik Carlsson
fredrik.carlsson@briab.se
08-410 102 64

Peter Nilsson
peter.nilsson@briab.se
08-410 102 59

PÅVERKAN PÅ MÄNNISKOR OCH OMGIVNING

För att tydliggöra hur beräkningar och bedömningar av skadehändelser påverkar personer inom det aktuella området presenteras kortfattat vad det är som är orsaken till att personer omkommer.

Explosion

Vid en explosion kan kriterier för att personer skadas delas upp i två typer, att personer befinner sig utomhus och omkommer direkt av explosionens tryckuppbyggnad, eller att personer befinner sig inne i en byggnad och omkommer då denna rasar på grund av explosionens tryckuppbyggnad. Människor tål tryck relativt bra och gränsen för direkta dödliga skador går vid ca 180 kPa, (FOA, 1998).

Vid detonation uppkommer ett mycket högt tryck i olyckans närområde. Trycket avtar sedan snabbt med avståndet. Skador på byggnader bestäms både av maximalt tryck och av impulstätheten. För en känd konstruktion går det att beräkna samband mellan tryck och impulstäthet som t.ex. gör att en vägg kollapsar. Rimliga värden på vad olika byggnader klarar beskrivs i Tabell 1.

Tabell 1 – typvärden för tryck som olika byggnader klarar, [(FOA, 1998).

<i>Typ av byggnad</i>	<i>Maximalt tryck, [kPa]</i>	<i>Impulstäthet, [kPa *s]</i>
Träbyggnad och plåthallar	10	0,5
Tegel- och äldre betongbyggnader	20	1
Nyare betongbyggnader	40	1,5
Pelare som balkstomme med ytterväggar av sandwichelement	200	3,1

För att förfina de olika byggnadstekniska skadorna som uppstår vid händelse av explosion presenteras ytterligare gränsvärden i Tabell 2.

Tabell 2 – typvärden för tryck och tillhörande konsekvenser, (FOA, 1998).

<i>Konsekvens</i>	<i>Maximalt tryck, [kPa]</i>
Smärre byggnadsskador	0,1 -5
Större byggnadsskador	5- 40
Fönsterrutor går sönder	1 - 5

Gränsvärden vid strålning

Vid brand avges energi från flammorna till omgivningen delvis i form av strålning. I Tabell 3 presenteras kritiska strålningsnivåer och tillhörande effekter.

Tabell 3 - effekter vid olika strålningsnivåer, (Brandteknik, 2005).

<i>Strålningsnivå [kW/m²]</i>	<i>Effekt</i>
2,5	Övre strålningsnivå för maximal strålningspåverkan vid utrymning enligt BBR
10	Normalt glas spricker
15	Maximal strålningsnivå för oklassat fönster och för kortvarig exponering vid utrymning.
20	Kriterium för övertändning
25	Spontan antändning av trä vid långvarig strålning
42	Spontan antändning av cellulosamaterial efter ca 5 sekunder

För att kunna beräkna riskavstånd och nyttja statistiska fördelningar har en probit funktion används för att bestämma konsekvensområdet. Den använda probit funktionen presenteras i Formel 1 och kommer från en Holländsk standard, (CPR, 1999).

$$Pr = a + b * \ln(t * q^{\frac{4}{3}})$$

Formel 1 – probitvärde vid strålningsberäkning

Där:

Pr	Probitvärde, [-]
a	konstant, [-]
b	konstant, [-]
t	exponeringstid, [sek]
q	Kritisk strålningsnivå, [W/m ²]

För 50 % död används probitvärdet 5 och probitfunktionens konstanter med hänsyn till effekt presenteras i Tabell 4.

Tabell 4 - konstanter a och b för probit funktion för kritiska strålningsnivåer.

Skadenivå	a	b
2:a gradens brännskada	-43,14	3,02
Dödsfall	-36,38	2,56

För 50 % döda blir den kritiska strålningsnivån ca 15 Kw/m², under 30 sekunders exponering. Detta värde överensstämmer väl med kritiska värden enligt Tabell 3.

Gränsvärden vid spridning av giftig gas

Vid bedömning av inverkan från giftig gas på personers hälsa har gränsvärdet LC₅₀, (Lethal concentration 50 %) använts. LC₅₀ motsvarar gränsvärdet där 50 % av den utsatta populationen inom ett specifikt område omkommer. För att förenkla beräkningarna antas att alla utanför det område som definieras av LC₅₀-gränsen överlever och alla inom kritiskt område omkommer. I en verklig situation är det ingen skarp gräns. Dock grundar sig antagandet på att antalet överlevande respektive omkomna inom och utom gränsområdet statistiskt tar ut varandra.

Exponeringstiden är en avgörande faktor och kommer att variera beroende på hur snabbt utsatta personer blir varse faran, fattar beslut och slutligen förflyttar sig från faran. Detta kan beskrivas som:

$$T_{\text{utrymning}} = T_{\text{varseblivning}} + T_{\text{beslut och reaktion}} + T_{\text{förflyttning}}$$

I denna riskanalys har den sammanlagda genomsnittliga tiden för utrymning från området med skadliga koncentrationer bedöms vara omkring 15 minuter. Under denna tid ska alltså en person bli varse om att det finns någon form av gas i luften, reagera och ta beslut om att utrymning från byggnaden eller området behöver ske samt tiden det tar att förflytta sig från området med kritiska koncentrationer. Valet av 15 minuter överensstämmer med den tid som FOA har som riktvärde, (FOA, 1998).

För merparten av de giftiga gaserna som transporteras på svenska järnvägar går att förnimma via luktsinnet och för flertalet av de giftiga gaserna är lukten stickande vid relativt låga koncentrationer. Dock finns det giftiga gaser som inte går att förnimma med hjälp av luktsinnet innan kritiska nivåer uppstår, det vill säga att LC₅₀ värdet ligger under förnimmelsenivån.

Toxikologi

Ett vanligt sätt att ange dos vid exponeringar är att uttrycka den som produkten av koncentrationen och tid (CPR, 1999).

Dos – koncentration beskrivs av det matematiska sambandet:

$$D = C^n * t$$

där

D	dos (exempel 50 % dödlighet), [$mg * min/m^3$]
C	koncentration, [mg/m^3]
n	nivå av koncentrationsvariation, [-]
t	tid, [min]

Emellertid beskriver detta uttryck inte hela sanningen då människokroppens metabolism påverkar den verkliga dosen varvid det sambandet enligt nedan inte kan upprätthållas. För att ge en mer korrekt beskrivning av koncentrationen i kroppen används istället även vid toxisk effekt en probitfunktion på samma sätt som för effekten av strålning.

Det matematiska sambandet vid toxisk effekt redovisas nedan:

$$Pr = A + B_1 * \ln(C^n) + B_2 * \ln(t)$$

där

Pr	Probitvärde, [-]
B_1	regressionsfaktor, [-]
B_2	regressionsfaktor, [-]
C	koncentration, [mg/m^3]
n	nivå av koncentrationsvariation, [-]
t	tid, [min]

Matematiskt kan koncentrationen C uttryckas enligt nedan för att beräkna koncentrationen för ett givet probitvärde, (rådande koncentrationer för LC_{50} -värde för en specifik gas).

$$C = (e^{(-A/B_2)})/t)^{(-B_1*B_2)}$$

JÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA ACCEPTANSKRITERIER OCH OLYCKSRISKER

Räddningsverkets förslag på acceptanskriterier för individrisk

På uppdrag av Räddningsverket har acceptanskriterier för individrisk utarbetats av Det Norske Veritas, DNV, (Räddningsverket, 1997). Dessa kriterier är inte tvingande men kan ses som vägledande vid bedömning av risk.

För individrisk har DNV definierat följande acceptanskriterier, (Räddningsverket, 1997):

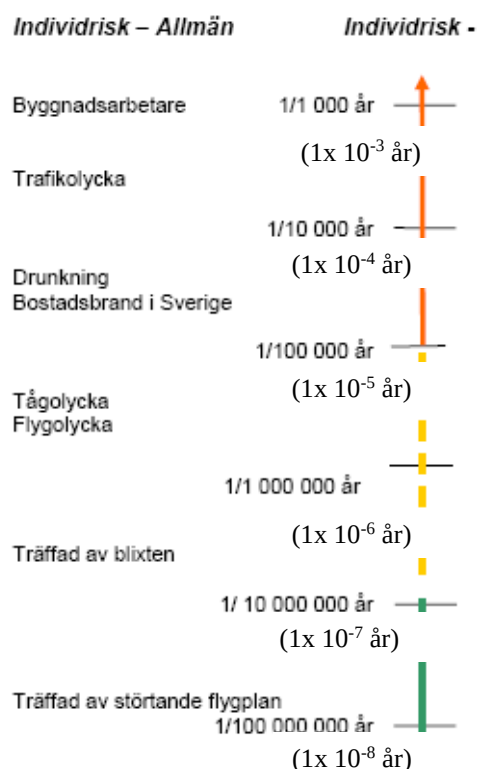
- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras är 1×10^{-5} per år.
- Övre gräns för område där risker kan anses små är 1×10^{-7} per år.

Området mellan den undre och övre gränsen går under benämningen ALARP-område, där åtgärder skall vidtagas under förutsättning att de är rimliga ur ett kostnad/nytta-perspektiv.

För en riskanalys innebär en tillämpning av ovanstående acceptanskriterier att risker ovanför ALARP-området anses vara oacceptabla, oavsett kostnader för eventuella åtgärder. Inom ALARP-området kan risker accepteras om kostnaden för åtgärderna är orimligt höga, samt att risker under den lägre gränsen enligt DNV anses vara acceptabla utan åtgärder.

Olycksrisker

I syfte att skapa perspektiv till olika individrisknivåer presenteras i Figur 1 olika händelser och tillhörande individrisker, beräknade för Sverige.



Figur 1 - jämförelse av individrisken för olika typer av olyckshändelser i Sverige, (Flygfältsbyrå, 2007)

LITTERATURFÖRTECKNING

Brandteknik. (2005). *Brandskyddshandboken, Rapport 3134*. Lund: Brandteknik vid Lunds tekniska högskola.

CPR. (1999). *CPR 18E – Guidelines for Quantitative Risk Analysis*. Committé for the prevention of disaster.

Flygfältsbyrån. (2007). *Risikanalys avseende transport av farligt gods förbi Projekt Mölndals Centrum*. Göteborg: Flygfältsbyrån.

FOA. (1998). *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gas och vätskor – metoder för*. Stockholm: Försvarets Forskningsantalt.

STRANDÄNGEN

JÖNKÖPING

FÖRDJUPAD RISKANALYS

BILAGA 3

KONSEKVENSBERÄKNINGAR

2018-01-25

Version 3

Fredrik Carlsson
fredrik.carlsson@briab.se
08-410 102 64

Peter Nilsson
peter.nilsson@briab.se
08-410 102 59

KONSEKVENSBERÄKNINGAR

I denna bilaga presenteras de konsekvensberäkningar som har genomförts för de olycksscenarier som bedömts vara kritiska och underkastats en fördjupad analys. Resultatet från beräkningarna återfinns i den fördjupade riskanalysen.

Förutsättningar

Vid beräkningar har följande antaganden gjorts:

- Resultaten gäller endast personer i vilstandes inom det aktuella området.
- För att få ett robust resultat har riskavståndet beräknats för 50 % respektive 95 % av alla samtliga fall (utifrån 10 000 iterationer).

Nedan presenteras mer ingående hur beräkningsförfarandet har genomförts för de aktuella olycksscenarierna.

Explosiva ämnen

Beräkning av tryck och impulstäthet utförs enligt metodik från FOA, (FOA, 1998).

Beräkning av laddningsvikten

$$m_{laddning} = k * m$$

där

$m_{laddning}$ laddningsvikt, [kg]

k konstant beroende på spegling av trycket, [-] (värdet 1,8 nyttjas vid explosion i marknivå)

m vikt, [kg]

Skalat avstånd

$$r_{skalat} = \frac{r}{m_{laddning}^{1/3}}$$

där

r_{skalat} skalat avstånd, [-]

r avstånd mellan laddning och byggnad, [m]

$m_{laddning}$ laddningsvikt, [kg]

Med hjälp av Figur 1 kan det infallande fria trycket på ett givet avstånd beräknas. Det fria trycket används sedan för att uppskatta skador på människor och egendom.

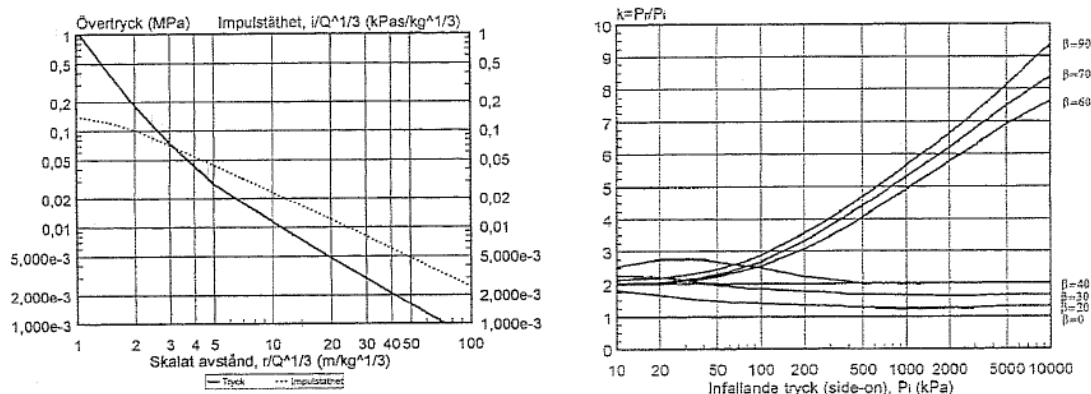
Med hjälp av infallande tryck kan det reflekterande trycket beräknas enligt:

$$\frac{I_c}{I_+} + \frac{P_c}{P_+} < 1$$

där:

I_c & P_c karakteristiska värden för en viss byggnadstyp.

I_+ & P_+ konstanter, [-] hämtas från Figur 1.



Figur 1 – maximalt övertryck och impulstäthet respektive kvot mellan reflekterat och infallande tryck, (FOA, 1998).

Som dimensionerande acceptanskriterium nyttjas 180 kPa för direkt dödliga skador (utomhus) och för kollaps nyttjas 40 kPa som grundar sig på att den planerade bebyggelsen antas motsvara nyare betongbyggnader.

Tryck och impuls enligt deterministisk modell

Som nyansering till beräknade värden utifrån ett probabilistiskt angreppssätt presenteras nedan tryck och impulsnivåer utifrån deterministiska scenarion. I Tabell 1 och Tabell 2 presenteras tryck och impulser som uppstår vid explosion av 500 kg respektive 1 ton trotyl (dynamit).

Tabell 1 - tryck och impulstäthet på olika avstånd från spårmit mitt vid 500 kg trotyl.

Avstånd från spårmit, [m]	Tryck, [kPa]	Impulstäthet, [kPa*s]
5	10 000	100
10	5 000	95
15	3 000	80
20	1 000	70
25	600	60
30	300	40
40	150	20
50	85	10
60	70	<10
100	50	-

Tabell 2 - tryck och impulstäthet på olika avstånd från spårmit mitt vid 1 ton trotyl.

Avstånd från spårmit, [m]	Tryck, [kPa]	Impulstäthet, [kPa*s]
5	10 000	100
10	5 000	95
15	4 000	85
20	2 000	75
25	1 000	70
30	500	50
40	250	30
50	100	15
60	80	10
100	60	<10

Tryckkondenserade brandfarliga gaser

Matematiska formler och ingående parametrar som används för att beräkna konsekvensområde för en jetflamma, fördröjd antändning och BLEVE presenteras nedan. Referensämne är gasol.

Konsekvensberäkning - Tryckkondenserade brandfarliga gaser			
Nedans redovisas indata, vald beräkningsmodell och gjorda antaganden för konsekvenserna Jetflamma, Fördröjd antändning och BLEVE.			
1.1 Indata - Källstyrka			
$\dot{Q}_t = C_d * A * (2 * \frac{P_0 - P_a}{\rho_f})^{0.5}$			
Qt	massflöde [kg]	23,9	
Cd	Flödeskoefficient [-]	0,725	RiskUniform(0,6;0,85)
			RiskCumul(0,00008;0,008;{0,00008\0,002\0,008;{0,625\0,833\1})
A	Hållarea [m2]	0,0011	8;{0,625\0,833\1))
P0	Tryck i tanken [Pa]	840997,5	
Pa	Atmosfärstryck [Pa]	101325	
vf	Specifik volym i vätskefas [m3/kg]	0,0016529	
Referens: 1. Fischer S., et al (FOA) (1998) 2. Nystedt, Ösa, riktlinjer för riktsam, Riktlinjer i samhålsplaneringen			
1.2 Indata - Kritisk strålningsnivå (probit)			
$Pr = a + b * \ln(t * q^{\frac{1}{3}})$			
q	Kritisk strålningsintensivitet [W/m2]	21513	
Pr	probitvärde (50 % död) [-]	5,00	
a	konstant [-]	-36,38	
b	konstant [-]	2,56	
t	exponeringstid [s]	17,50	RiskUniform(5;30)
Referens: Fischer S., et al (FOA) (1998)			
2.1 Jetflamma - Riskavstånd			
nedan.			
$R_{s,50} = 1,9 * t^{0.4} * \dot{Q}_t^{0.47}$			
Rs,50	Riskavstånd [m]	26,53	
Qt	Utsläppshastighet [kg/s]	23,9	
t	Exponeringstid [t]	17,5	RiskUniform(5;30)
Referens: 1. Nystedt, Ösa, riktlinjer för riktsam, Riktlinjer i samhålsplaneringen 2. Brandteknik LTH, Formelsamling i kursen Konsekvensberäkningar			
2.2 Jetflamma - Resultat			
Avstånd mellan väg och undersökt punkt (m)	50,0		
Riskavstånd (död 50%) [m]	26,5		
Väntevärde (Skyddsavstånd-kritisk nivå)	23,5		
Andel som av simuleringarna som ger kritisk nivå (50%)	8,8%		
Riskavstånd [m] vid jetflam...			

3.1 Fördröjd antändning - Rörelsemängd			
Matematiska formler och ingående parametrar som används för att beräkna konsekvensområde för fördröjd antändning presenteras nedan . Referensämne vid beräkningarna är gasol.			
$F = \frac{Q^2 * v_f}{C_d * A}$			
F	rörelsemängd [N]	1181,2	
Q	källstyrka [kg/s]	23,9	
Cd	Flödeskoefficient [-]	0,725	
A	Hållarea [m2]	0,0011013	
vf	Specifik volym i vätskefas [m3/kg]	0,0016529	
Referens: Fischer S., et al (FOA) (1998)			
3.2 Fördröjd antändning - Avstånd till brännbar koncentration			
$x = \frac{5,95 * Q}{\sqrt{\rho_a * F * Y}}$			
x	avstånd till brännb. konc [m]	113,78231	
Q	källstyrka [kg/s]	23,89	
pa	densitet, luft [kg/m3]	1,29	
F	rörelsemängd [N]	1181	
Y	nedre brännbarhetsgränsen (massandel) [-]	3,2%	
Referens: Fischer S., et al (FOA) (1998)			
3.3 Fördröjd antändning - Resultat			
Avstånd mellan väg och undersökt punkt (m)		50,0	
Riskavstånd (död 50%) [m]		113,8	
Väntevärde (Skyddsavstånd-kritisk nivå)		-63,8	
Andel som av simuleringarna som ger kritisk nivå (50%)		36%	
Riskavstånd (död 50%) [m] / nedre brännbarhetsgränsen (mas...			
<			

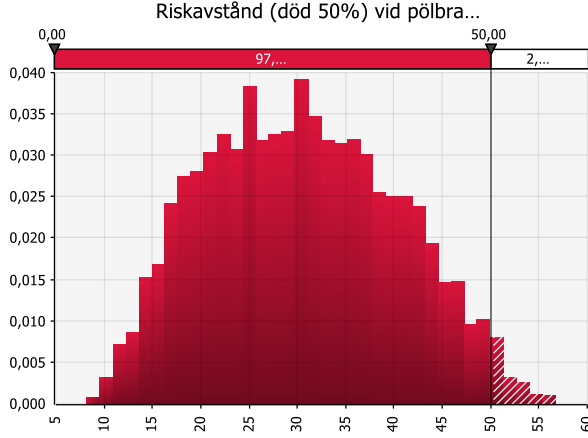
Giftig gas

Konsekvensberäkning - Utsläpp av giftig tryckkondenserad giftig gas			
I denna riskanalys representerar klor och ammoniak samtliga scenarier med giftig gas. Matematiska formler och ingående parametrar som används för att beräkna spridningen. Beräkningarna är grundade på Gaussisk spridningsmodell. Antagen stabilitet i atmosfären är neutral. Antagen stabilitet i atmosfären är svagt instabil.			
1. Giftig gas - Källstyrka			
$\dot{Q}_t = C_d * A * \sqrt{\frac{2 * (P_0 - P_a)}{v_f}}$			
Qt	massflöde [kg]	34,6	
Cd	Flödeskoefficient [-]	0,725	RiskUniform(0,6;0,85)
		0,0011	RiskCumul(0,00008;0,008;{0,0008\0,002\0,008};{0,625\0,833\1})
A	Hålarea [m2]		
P0	Tryck i tanken [Pa]	689010	
Pa	Atmosfärstryck [Pa]	101325	
vf	Specifik volym i vätskefas [m3/kg]	0,000625	
2. Giftig gas - Dragkraft			
$F = \frac{Q^2 * v_f}{C_d * A}$			
F	Dragkraft [N]	938,5	X (x,0,0)
Q	massflöde [kg]	34,6	Q
vf	Specifik volym i vätskefas [m3/kg]	0,001	σy
Cd	Flödeskoefficient [-]	0,725	σx
A	Hålarea [m2]	0,001	u
3. Giftig gas - Övergångsradi			
$R(x_{tr}) = 1,497 * \frac{\sqrt{F - Q * u_w}}{u_w * \sqrt{\rho_a}}$			
R (xtr)	övergångsradi [-]	11,1	
Q	massflöde [kg]	34,6	
F	dragkraft [N]	938	
Uw	vindhastighet [m/s]	3,4	RiskNormal(3,4;0,2)
ρa	luftens densitet [kg/m3]	1,29	
4. Giftig gas - Initiala standardavvikelser			
$\sigma_{y0} = \sigma_{z0} = 0,44 * R(x_{tr})$			
σy0, σz0	initiala standardavvikelser [-]	4,887	
R (xtr)	övergångsradi [-]	11,106	

5.1 Giftig gas - Dispersionskoefficienter			
$\sigma_y = \frac{a_y * (x + x_{y0})}{(1 + b_y * (x + x_{y0}))^{1/y_y}} * K_{rp} * K_{yt} \text{ respektive } \sigma_y = \frac{a_z * (x + x_{z0})}{(1 + b_z * (x + x_{z0}))^{1/y_z}} * K_{rp}$			
σ_y	Dispersionskoefficient		15,64
a_y	stabilitetskoefficienter [-]		0,22
b_y	stabilitetskoefficienter [-]		0,0004
Y_y	stabilitetskoefficienter [-]		0,5
K_{rp}	korrektionsfaktor [-]		1
K_{yt}	korrektionsfaktor [-]		1
x	avstånd från källan [m]		50
x_{y0}	avstånd till virtuell källa [-]		22,13
5.2 Giftig gas - Dispersionskoefficienter			
$\sigma_y = \frac{a_y * (x + x_{y0})}{(1 + b_y * (x + x_{y0}))^{1/y_y}} * K_{rp} * K_{yt} \text{ respektive } \sigma_y = \frac{a_z * (x + x_{z0})}{(1 + b_z * (x + x_{z0}))^{1/y_z}} * K_{rp}$			
σ_z	Dispersionskoefficient		14,88659811
a_z	stabilitetskoefficienter [-]		0,20
b_z	stabilitetskoefficienter [-]		0,00
Y_z	stabilitetskoefficienter [-]		0,00
K_{rp}	korrektionsfaktor [-]		1,00
x	avstånd från källan [m]		50
x_{z0}	avstånd till virtuell källa [-]		24
6. Giftig gas - Koncentration på givet avstånd			
$X(x,0,0) = \frac{Q}{2 * \pi * \sigma_y * \sigma_z * u_w}$			
Konc på avståndet x [kg/m3]		0,006960	
LC50 klor		0,00043	
Värde överstigandes LC 50		0,006530	
Andel som av simuleringarna som ger kritisk nivå (50%)		100,0%	
Percentil	Avstånd		
50	270		
95	960		

Brandfarlig vätska

Ett utsläpp av brandfarlig vätska har i beräkningarna förutsatts ske 20 meter från spårmit i riktning mot planområdet. Detta för att på ett konservativt sätt ta hänsyn till att ett utsläpp kan rinna mot planområdet.

Konsekvensberäkning - Brandfarlig vätska			
I denna riskanalys representerar bensin samtliga scenarier med brandfarlig vätska. Matematiska formler och ingående parametrar som används för att beräkna konsekvensområde för en pölbrand presenteras nedan.			
1. Pölbrand - Brandeffekt			
$\dot{Q} = \dot{m}'' \cdot \Delta h_c \cdot A_p$			
Q	Brandeffekt [kW]	330481	
m''	Förbämningshatsighet per ytenhet [kg/(sm2)]	0,055	
ΔHc	Effektiv förbränningsvärme [kJ/kg]	43700	
Ap	Pölens area [m2]	138	RiskUniform(25;250)
Referens: Karlsson, B. & Quintiere, J.G (2000) & Fischer S., et al (FOA) (1998)			
2. Pölbrand - Kritisk strålningsnivå (probit)			
$Pr = a + b \cdot \ln(t \cdot q^{\frac{1}{3}})$			
q	Kritisk strålningsintensitet [W/m2]	21513	
Pr	probitvärde (50 % död) [-]	5,00	
a	konstant [-]	-36,38	
b	konstant [-]	2,56	
t	exponeringstid [s]	17,5	RiskUniform(5;30)
Referens: Fischer S., et al (FOA) (1998)			
3. Pölbrand - Riskavstånd			
$R_{s,50} = \sqrt{\frac{x_r + Q}{4 \cdot \pi \cdot q_x''}}$			
Rs,50	Riskavstånd (död 50%) [m]	32	
Xr	strålningsandel [-]	0,850	RiskUniform(0,7;1)
Q	Brandeffekt [KW]	330481	
q	Kritisk strålningsintensitet [KW/m2]	21,5	
Referens: Fischer S., et al (FOA) (1998)			
4. Pölbrand - Resultat (kritisk strålningsnivå)			
Avstånd mellan väg och undersökt punkt (m)	50		
Riskavstånd (död 50%) [m]	32,2		
Väntevärde (Skyddsavstånd-kritisk nivå)	17,8		
Andel som av simuleringarna som ger kritisk nivå (50%)	2,1%		
Riskavstånd (död 50%) vid pölbra...  Minimum 8,2275 Maximum 56,6931 Mean 30,4530 Std Dev 9,8399 Values 5000			