

Risakanalys

Upprättad 2010-03-28



Ölandskajen Kalmar kommun

Preliminär handling

Risakanalys för planerad etablering av universitet, resecentrum, parkeringshus och hotell

Kalmar | Norra Långgatan 1 | Tel: 0480-100 92

Växjö | Kronobergsgatan 4 | Tel: 0470-777 992

Postadress: Box 144 | 391 21 Kalmar

BRAND & RISKANALYS

Fastighetsbeteckning:	Ölandskajen, Kalmar kommun
Projekt:	Risikanalys i samband med planerad etablering av universitet, parkeringshus, hotell och resecentrum.
Uppdragsgivare:	Björn Strimfors Kalmar kommun Fastighets- och inköpskontoret Box 953
Upprättad av:	Brand & Riskanalys AB Box 144 391 21 KALMAR lars@brandrisk.se
 Lars Magnusson Brandingenjör Civilingenjör Riskhantering
Kontrollerad av: Magnus Widlind Brandingenjör Civilingenjör Riskhantering

Justeringar			
	Avser	Datum	Signatur
A		2010-xx-xx	
B		2010-xx-xx	
C		2010-xx-xx	

Senaste justeringen är markerad med streck i högermarginalen.

Sammanfattning

Brand & Riskanalys har på uppdrag av Kalmar kommun utfört riskanalys av farligtgodstransport på Järnvägsgatan/Tjärhovsgatan för att klargöra personsäkerhet i samband med planerad etablering av universitet, parkeringshus, resecentrum och hotell.

Syfte och mål

Syftet med riskanalysen är att klargöra farligtgodsleds riskbild gentemot intilliggande planområde och utreda om det är möjligt att göra undantag från gällande föreskrifters skyddsavstånd. Målet är att kvantitativt utvärdera riskbilden med hjälp av individ- och samhällsrisk.

Riskanalysen ska klargöra följande:

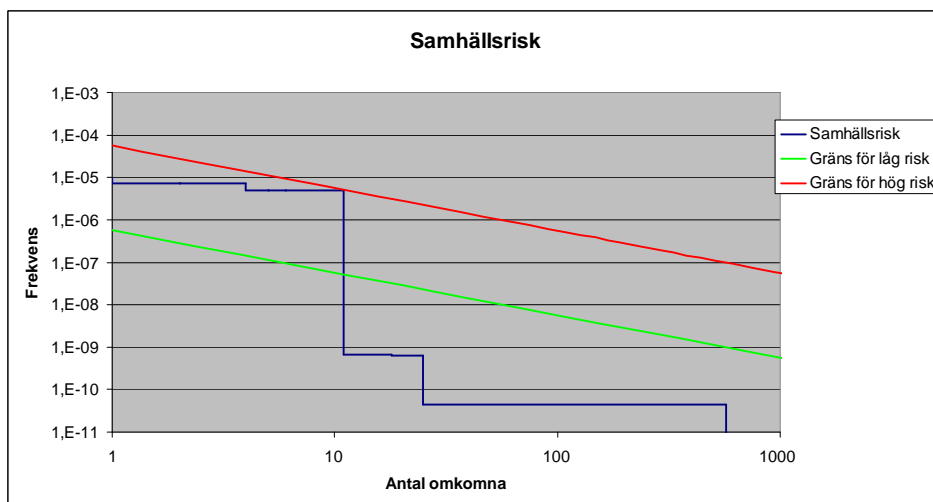
- Samhällsrisk och individrisk på aktuellt område
- Eventuella åtgärder, dels i anslutning till vägen, dels byggnadstekniska lösningar för att uppnå en acceptabel personsäkerhetsnivå

Beskrivning av området

Området som analysen berör är beläget vid Ölandskajen i centrala Kalmar. Riskanalysen utförs i ett mycket tidigt skede och slutgiltig utformning är osäker. Idéskissen innebär placering av universitetsbyggnad som närmast 10 meter från Tjärhovsgatan. Övriga byggnader som kan bli aktuella i området är hotell, resecentrum och parkeringshus.

Resultat

I figur S.1 redovisas riskanalysens resultat beträffande samhällsrisk. Samhällsriskerna ligger till viss del inom den nedre delen av ALARP-området.

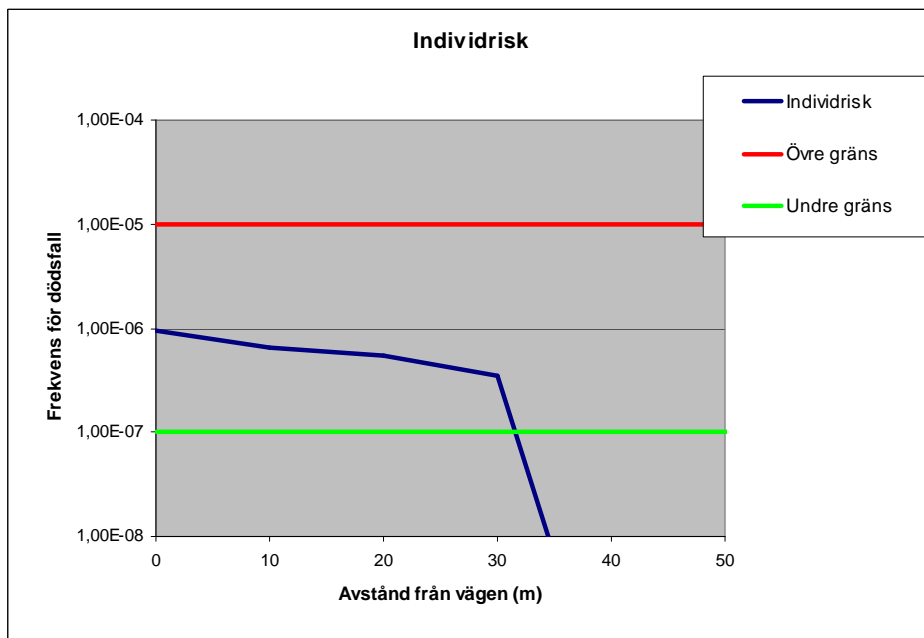


Figur S1. Figuren visar samhällsriskerna i området om inga säkerhetshöjande åtgärder vidtas.

Samhällsriskerna i området är i den övre delen av ALARP-området på grund av transporter med brandfarlig vätska.

I figur S.2 redovisas individrisk för aktuellt planområde. Närmast vägen ligger individrisknivån inom ALARP-området, men den sjunker snabbt på längre

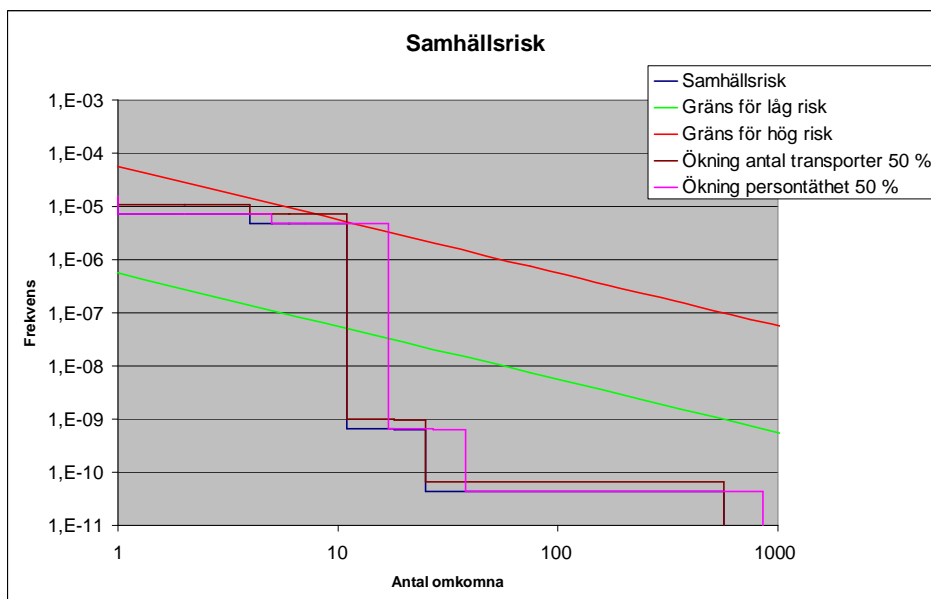
avstånd från väggkanten. På avstånd längre än 33 meter från väggkanten är individrisnivån under det undre gränsvärdet. Anledning är den risk som transport av brandfarlig vätska medför, eftersom brandfarlig vätska står för störst andel farligt gods på aktuell vägsträcka.



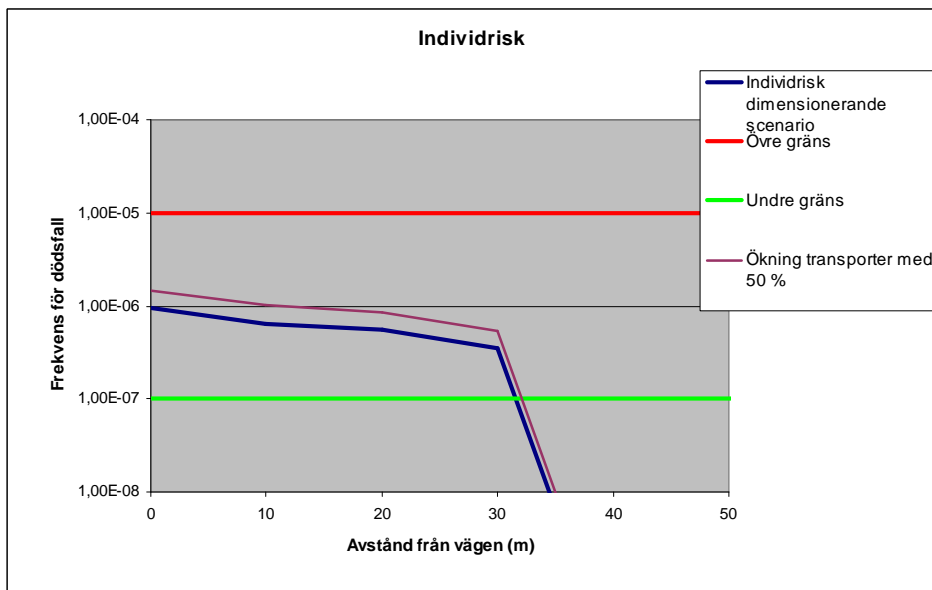
Figur S.2. Figuren visar individrisk på olika avstånd från vägen.

Känslighetsanalys

Nedan redovisas resultatet av känslighetsanalyserna som utförts. Förändringar i persontäthet (ökning med 50 %) och förändringar i antalet transporter (ökning med 50 %) har studerats.



Figur S.3. Figuren visar samhällsrisk i det dimensionerande scenariot och de två känslighetsanalyserna som utförts i Bilaga 5.



Figur S.4. Figuren visar individrisk i det dimensionerande scenariot och känslighetsanalys som utförts i Bilaga 5.

Åtgärdsförslag

Samhällsrisik och individrisk ligger inom ALARP-området varför skäliga åtgärder bör vidtas för att minska risken till en acceptabel nivå, enligt "Riskhanteringsmodell för nybyggnationer och etableringar i Kalmar kommun", Kalmar Brandkår. Förslag på åtgärder är enligt nedan. Dessa skall kommuniceras med räddningstjänst.

Det bör förtydligas att det är mycket svårt att begränsa risknivån för personer som befinner sig utomhus i vägens närhet. Område på kortare avstånd än 10 meter från avkörningsskydd bör utformas så att det inte inbjuder till stadigvarande vistelse utomhus.

De verksamheter som är planerade i området skiljer sig beträffande personantal, lokalkännedom och vakenhet varför åtgärderna som presenteras för respektive verksamhet är olika.

Universitet och resecentrum

Vid byggnation av universitet eller resecentrum med ett avstånd överstigande 35 meter från väg bedöms inga åtgärder krävas.

Om universitet eller resecentrum skall byggas inom 35 meter från väg skall följande åtgärder vidtas:

- Avkörningsskydd skall uppföras för att tjäna två syften. Dels för att förhindra att tunga fordon kör av vägen och orsakar skador på personer och byggnader, dels att förhindra ett utsläpp av brandfarlig vätska nära planerad byggnad. Genom uppförandet av avkörningsskydd uppnås största möjliga avstånd mellan eventuellt läckage och fastigheten. Avkörningsskydd skall vara dimensionerat att motstå kollision av tunga fordon.
- Brunnar var 10:e meter för begränsning av pölbrands utbredning
- Inom 15 meter från avkörningsskydd får inte byggnad och dess fasad innehålla brännbart material. Eventuella fönster inom angivet område skall utföras i brandteknisk klass EI 30 och får ej vara öppningsbara. Detta motiveras med att utrymningstiden för byggnad bedöms understiga 30 minuter.

Eventuell brännbar takfot skall kläs med plåt eller likvärdigt icke brännbart material samt isoleras mot brandgaser.

- Byggnaden skall utrustas med ett enkelt utrymningslarm som kan startas manuellt på varje våningsplan om byggnation sker inom 15 meter från avkörningsskydd
- Placering av utrymningsvägar i riktning från vägen. Återinrymning skall vara möjligt för eventuella utrymningsvägar i riktning mot vägen. I den mån utrymning mot vägen erfordras skall aktuella risker beaktas.
- Riktning varifrån tilluft tas får ej vara mot vägen
- Manuell avstängning av ventilationssystemet samt gastäta ventilationsspjäll skall finnas

Hotell

Vid byggnation av hotell 35 meter från väg:

- Riktning varifrån tilluft tas skall ej vara mot södra vägen
- Manuell avstängning av ventilationssystemet samt gastäta ventilationsspjäll

Om hotell skall byggas inom 35 meter från väg skall följande åtgärder vidtas:

- Avkörningsskydd skall uppföras för att tjäna två syften. Dels för att förhindra att tunga fordon kör av vägen och orsakar skador på personer och byggnader, dels att förhindra ett utsläpp av brandfarlig vätska nära planerad byggnad. Genom uppförandet av avkörningsskydd uppnås största möjliga avstånd mellan eventuellt läckage och fastigheten. Avkörningsskydd skall vara dimensionerat att motstå kollision av tunga fordon.
- Brunnar var 10:e meter för begränsning av pölbrands utbredning
- Inom 15 meter från avkörningsskydd får inte byggnad och dess fasad innehålla brännbart material. Eventuella fönster inom angivet område skall utföras i brandteknisk klass EI 30 och får ej vara öppningsbara. Eventuell brännbar takfot skall kläs med plåt eller likvärdigt icke brännbart material samt isoleras mot brandgaser.
- Byggnaden skall utrustas med ett utrymningslarm (generellt krav för hotell)
- Placering av utrymningsvägar i riktning från vägen. Återinrymning skall vara möjligt för eventuella utrymningsvägar i riktning mot vägen. I den mån utrymning mot vägen erfordras skall aktuella risker beaktas.
- Riktning varifrån tilluft tas får ej vara mot vägen
- Manuell avstängning av ventilationssystemet samt gastäta ventilationsspjäll skall finnas

Parkeringshus

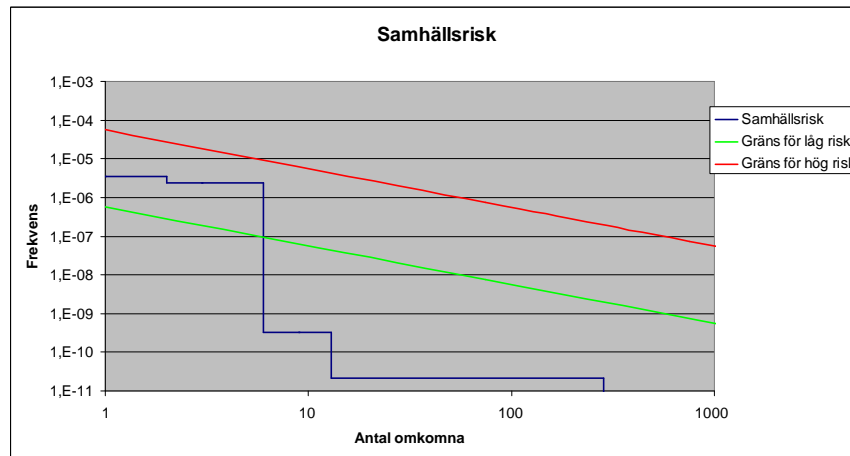
Vid byggnation längre än 15 meter från väg bedöms inga åtgärder krävas för parkeringshus eftersom det kan förutsättas vara ett begränsat antal personer i byggnaden, de är vakna och de vistas där endast tillfälligt.

Vid byggnation av parkeringshus inom 15 meter från väg skall följande åtgärder vidtas:

- Avkörningsskydd
- Brunnar var 10:e meter
- Placering av utrymningsvägar i riktning från vägen

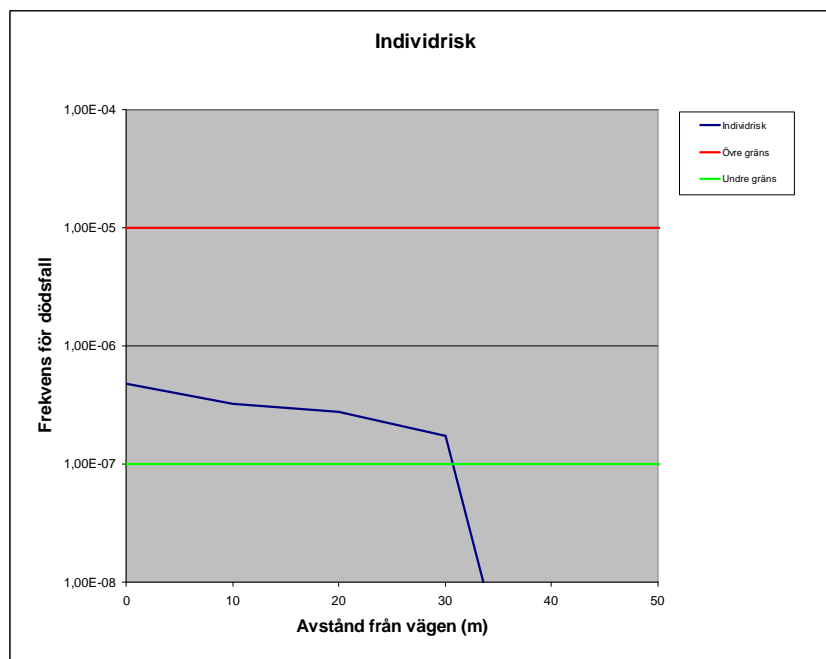
Riskenivå om åtgärder vidtas

Nedan redovisas hur risksituationen förändras om samtliga föreslagna åtgärder vidtas.



Figur S.5. Figuren visar samhällsriskenivån om samtliga åtgärder vidtas.

Resultatet av åtgärderna blir att samhällsrisken minskar kraftigt.



Figur S.6. Figuren visar individriskenivån om samtliga åtgärder vidtas.

Individrisken minskar avsevärt till följd av åtgärderna.

Slutsats

Riskanalysen har resulterat i att riskenivån för aktuellt planområde ligger inom ALARP-området. Åtgärdsförslag har därför utarbetats. När riskenivån ligger inom ALARP-området bör åtgärdernas effekt vägas mot deras kostnad. En bedömning av kostnad och nytta bör göras innan beslut fattas om vilka åtgärder som skall vidtas.

Effekten av de föreslagna åtgärderna blir att riskenivån sänks kraftigt.

För att riskenivån ska anses vara acceptabel krävs att kriterierna för acceptabel samhälls- och individrisk uppfylls.

Samhällsrisknivån ligger utan åtgärder inom ALARP-området. Det innebär att skäligen åtgärder bör vidtas för att sänka risknivån.

Individrisknivån är i mitten av ALARP-området om inga åtgärder vidtas. Om åtgärder vidtas sänks individrisknivån till den nedre delen av ALARP-området. Individrisknivån är låg på avstånd längre än 33 meter från väkant.

I känslighetsanalys med en ökning av personantalet med 50 % medför det att risknivån går över den röda linjen i samhällsriskkurvan, vilket indikerar en hög risk. Det bör beaktas att personantalsökningen är hög. Som en jämförelse kan nämnas att personantalet utomhus i dimensionerande scenario antagits till en person på 345 m² i jämförelse med en person på 230 m² i känslighetsanalys, d.v.s. en person på en yta på cirka 15 x 15 meter utomhus dagtid.

Vid ökning av antalet transporter med 50 % ökar samhällsrisknivån till över det övre gränsvärdet vilket tyder på en hög risknivå. Individrisknivån ökar något inom ALARP-området.

Känslighetsanalyserna visar att resultatet beror till stor del på antalet personer i omgivningen och antalet farligtgodstransporter. Med hänsyn till de föreslagna åtgärderna bedöms dock en god säkerhetsnivå föreligga för de aktuella byggnationerna om redovisade åtgärder vidtas. Åtgärderna innebär en god framtida flexibilitet.

Risikanalys utgör beslutsunderlag och bör granskas av räddningstjänst/byggnadsnämnd innan åtgärder fastslås.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Innehållsförteckning	9
1 Inledning	10
2 Områdesbeskrivning	12
3 Riskhanteringsprocessen	13
4 Acceptabel risk	16
5 Riskidentifiering	18
6 Analys	21
7 Resultat	26
8 Åtgärdsförslag	29
9 Risknivå om samtliga föreslagna åtgärder vidtas	30
10 Osäkerheter	32
11 Slutsats	33
12 Källförteckning	34
<i>Bilaga 1 - Frekvens för farligtgoodsolycka</i>	36
<i>Bilaga 2 – LC50 för ammoniak</i>	41
<i>Bilaga 3 – Väderförhållanden</i>	42
<i>Bilaga 4 - Persontäthet</i>	43
<i>Bilaga 5 – Känslighetsanalys</i>	46
<i>Bilaga 6 – Antal farligtgodstransporter</i>	48
<i>Bilaga 7 - Strålningsnivå från flamma</i>	50

1 Inledning

Brand & Riskanalys har på uppdrag av Kalmar kommun utfört riskanalys av farligtgodstransport på Järnvägsgatan/Tjärhovsgatan för att klargöra personsäkerhet i samband med planerad etablering av universitet, parkeringshus, resecentrum och hotell.

1.1 Problembeskrivning

Nybyggnation i närhet av farligtgodsled medför att risker som finns måste beaktas. För att klargöra riskbilden och eventuella åtgärder som bör vidtas utförs en riskanalys.

Traditionell riskhänsyn vid samhällsplanering innebär att fasta avståndsregler används för att säkerställa att acceptabla risknivåer, med avseende på personsäkerhet, uppfylls vid nyetablering intill farligtgodsled. Problem med generella avståndsregler är flera eftersom de inte tar hänsyn till vilken reell risk som föreligger. Ett generellt skyddsavstånd kan därför medföra mycket stor säkerhetsmarginal eller en falsk säkerhet, eftersom den reella risken inte är värderad eller bedömd.

1.2 Syfte och mål

Syftet med riskanalysen är att klargöra farligtgodsleds riskbild gentemot intilliggande planområde och utreda om det är möjligt att göra undantag från gällande föreskrifters skyddsavstånd. Målet är att kvantitativt utvärdera riskbilden med hjälp av individ- och samhällsrisk.

Riskanalysen ska klargöra följande:

- Samhällsrisk och individrisk på aktuellt område
- Eventuella åtgärder, dels i anslutning till vägen, dels byggnadstekniska lösningar för att uppnå en acceptabel personsäkerhetsnivå

1.3 Avgränsningar

Riskanalysen kommer endast omfatta del av väg som, i händelse av farligtgodsolycka, kan påverka personer på aktuellt område. Endast oförutsedda händelser som kan leda till att ämnen med toxiska eller brandfarliga egenskaper kommer ut och innebär fara för människors hälsa kommer att beaktas. Ingen hänsyn tas till ämnenas miljöpåverkan.

Konsekvenser av utsläpp kommer i aktuell riskanalys att begränsas till tryckkondenserande gaser, giftig frätande vätska och brännbara vätskor, eftersom de kan ge upphov till de största konsekvenserna för människors hälsa och säkerhet.

Beräknat antal förväntade olyckor med farligt gods per år bygger på en metod framtagen av Statens räddningsverk. Utvärdering eller analys av denna metod har ej genomförts. Metod finns beskriven i SRV (1996).

Risker till följd av transport av farligt gods på järnväg beaktas ej i analysen.

1.4 Metod

Arbetet inleds med en litteraturstudie av tillgängligt relevant material. Därefter kartläggs vilka ämnen och mängder farligt gods som transporteras på leden, vilket utförs främst genom kontakt med verksamheter på Tjärhovet. Sedan sammanställs insamlade statistiska uppgifter gällande t.ex. trafikflöden, befolkningstäthet och väderförhållanden.

Den riskanalysmetodik som används innehåller följande moment:

Definiera och avgränsa systemet:

Detta moment definierar vad som innefattas i det system som ska analyseras. Inledningsvis ges en beskrivning av området med geografiskt läge och omgivning m.m.

Identifiering av risker:

Viktig information om eventuella riskkällor erhålls genom att kartlägga vilka transporter av farliga ämnen som förekommer längs aktuell vägsträcka.

Grovanalys:

En grovanalys genomförs genom att studera de kemikalier som transporteras på aktuell vägsträcka. Utifrån grovanalysen väljs ett antal ämnen ut som utvärderas med en kvantitativ riskanalys där sannolikhet och konsekvens bedöms/beräknas för de identifierade scenarierna.

Kvantitativ analys:

I en kvantitativ analys beräknas frekvens för respektive scenario och de konsekvenser som uppstår. För att kunna beräkna konsekvenser av ett eventuellt utsläpp behövs information om bland annat koncentrationen av gas på olika avstånd från utsläppskällan.

Riskberäkning multiplicerar frekvens med konsekvens och leder till ett riskmått. Riskerna presenteras i form av samhälls- och individrisk (se kapitel 4.1 och 4.2). Efter att riskerna beräknats utarbetas vid behov åtgärdsförslag för att minska riskerna. Utifrån dessa moment skapas en bra grund för beslutsfattande där riskanalysen fungerar som en del av kommunens beslutsunderlag.

1.4.1 Datorprogram som används

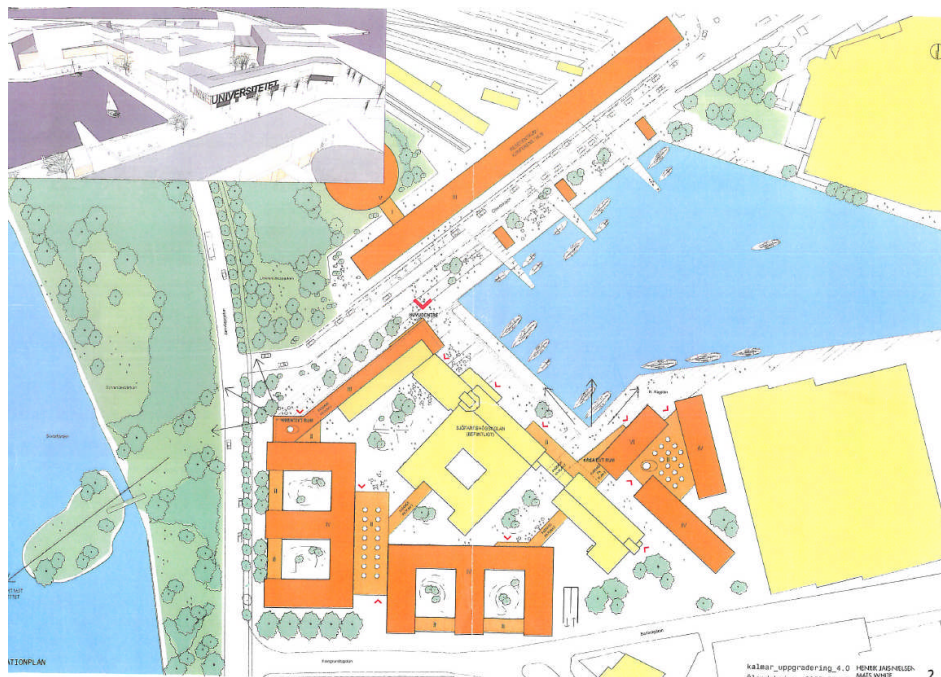
För att så effektivt som möjligt kunna beräkna riskavstånd och sannolikheter har ett antal olika datorprogram använts i aktuell riskanalys.

”Gasol” är ett datorprogram som ingår i Räddningsverkets informationsbank, RIB. Programmet simulerar olika scenarier med utsläpp av gasol från tankar och rör och beskriver koncentrationer och spridning i luft. Samtliga olycksscenarier som kan uppstå vid en olycka med gasol kan simuleras i programmet, varvid avstånd till brännbarhetsgränser och olika grader av brännskada ges som resultat.

Aloha 5.4.1.2 används för beräkningar av spridning av ammoniakgas som avgår från en vätskepöl. Programmet är utvecklat av Office of Emergency Management, EPA, och Emergency Response Division, NOAA. För mer information om programmet hänvisas till Användarmanualen, daterad februari 2007.

2 Områdesbeskrivning

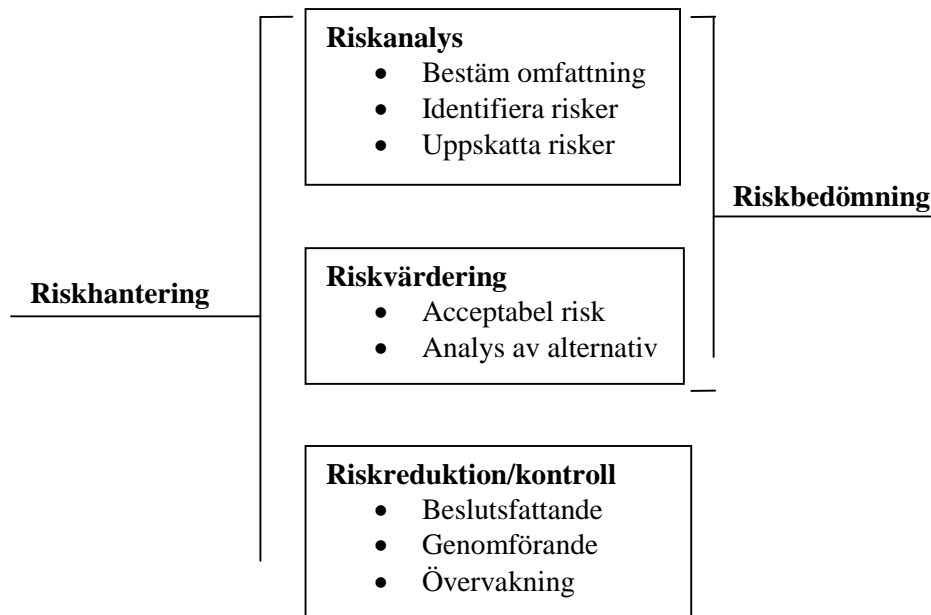
Området som analysen berör är beläget vid Ölandskajen i centrala Kalmar. Figur 2.1 visar en idéskiss över hur aktuellt område kan komma att nyttjas. Riskanalysen utförs dock i ett mycket tidigt skede och slutgiltig utformning är osäker. Idéskissen innebär placering av universitetsbyggnad som närmast 10 meter från Tjärhovsgatan. Övriga byggnader som kan bli aktuella i området är hotell, resecentrum och parkeringshus.



Figur 2.1. En översiktsbild av hur planerat område kan komma att utformas.

3 Riskhanteringsprocessen

Med begreppet risk menas i denna rapport en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens för en händelse som leder till negativa konsekvenser. Riskhantering innebär således hantering av händelser som kan ge negativa konsekvenser. Det kontinuerliga arbetet som bedrivs för att hantera risker kallas riskhanteringsprocessen. Nedan beskrivs kortfattat denna process som också illustreras i figur 3.1. Därefter beskrivs de ingående delarna, med tyngdpunkt på riskanalysdelen.



Figur 3. Figuren visar riskhanteringsprocessens olika delar, IEC (1995).

3.1 Riskanalys

En riskanalys innebär en systematisk identifiering av olycksrisker och bedömning av risknivåer. Analysen genomförs genom beräkningar eller uppskattningar av konsekvenser och sannolikheter för identifierade risker, Davidsson (2003).

Sammanvägning av sannolikhet och konsekvens kan utföras på många olika sätt i en riskanalys. Exempel på faktorer som påverkar vilken beräkningsmetod för risk som är lämplig är bl.a. syfte med analysen, analysens omfattning, tillgång till information och analysarbetets tidsåtgång.

En riskanalys kan antingen genomföras kvalitativt, kvantitativt eller genom en kombination av de båda metoderna. Att en analys är kvalitativ innebär att riskerna endast rangordnas, genom att ange om de är stora eller små. Kvantitativ analys innebär att riskerna beräknas. Semikvantitativ analys innebär en blandning mellan kvalitativ och kvantitativ metod.

3.1.1 Konsekvens

Beräkning av konsekvens är ett sätt att förutsäga följderna av en viss olycka, exempelvis vilka gaskoncentrationer som uppstår på ett givet avstånd från en utsläppskälla. I anslutning till detta görs en bedömning av vilka skador som kan uppstå, exempelvis skada på människa till följd av uppkommen koncentration.

3.1.2 Sannolikhet

Det finns olika metoder för att beräkna eller bedöma sannolikheten för att en händelse ska inträffa. Följande metoder är användbara, Davidsson (2003):

Empiriska skattningar.

Baseras på statistik över frekvenser för inträffade skadehändelser. Metoden är främst användbar för frekventa olycks kategorier, exempelvis bilrockar och bränder.

Logiska system:

När denna metod används kartläggs de orsaker som tillsammans eller var för sig kan leda till den händelse som analyseras. Sannolikheten för händelsen beräknas genom att kombinera sannolikhetsdata för varje ingående delhändelse.

Expertbedömninga:

Expertbedömningar är ofta den enda möjliga metoden på grund av brist på tillförlitlig data. Bedömningarna grundas på bedömarens erfarenheter varför kompetensen hos experten är av stor betydelse.

3.1.3 Osäkerheter

Risker är alltid förenade med osäkerheter. Därför är det i en riskanalys viktigt att, förutom beräkna eller bedöma konsekvens och sannolikhet, även beakta de osäkerheter som finns i analysen. Osäkerheter vid bestämning av sannolikhet beror bland annat på tillförlitlighet på olycksfrekvenser. Osäkerheter vid konsekvensberäkning beror till stor del på att verkligheten måste förenklas för att passa in i en beräkningsmodell. En förenkling innebär att information utelämnas för att göra en beräkning möjlig. Det är viktigt att i största möjliga utsträckning genomföra nödvändiga förenklingar så att konservativa resultat erhålls.

3.2 Riskvärdering

En riskvärdering utförs efter att en risk har identifierats och analyserats. Beslut fattas sedan beträffande om risken kan anses vara acceptabel eller inte. Begreppet acceptabel risk leder till svåra avvägningar. Exempel på problem kan vara vem som avgör vad som är acceptabelt och vilken nytta som krävs av ett risktagande för att det ska anses acceptabelt.

I Räddningsverkets rapport "Värdering av risk", Davidsson (2002), beskrivs följande fyra principer som kan användas som underlag för värdering av risk:

Rimlighetsprincipen:

Det bör inte i en organisation finnas risker som med rimliga medel kan undvikas. Principen leder till att risker som med ekonomiskt och tekniskt rimliga medel kan elimineras eller reduceras ska åtgärdas, oavsett hur stor risken är.

Proportionalitetsprincipen:

Det totala antalet risker som en organisation medför bör vara proportionerliga med de fördelar som organisationen skapar.

Fördelningsprincipen:

Riskerna bör vara fördelade så att vissa personer eller grupper inte utsätts för oproportionerligt stora risker i förhållande till de fördelar risken innebär för samma person eller grupp.

Principen om undvikande av katastrofer.

Risker bör hellre realiseras i olyckor med begränsade konsekvenser, som kan hanteras av de beredskapsresurser som finns tillgängliga, än i katastrofer.

3.3 Riskreduktion/kontroll

Denna del av riskhanteringsprocessen innebär genomförande av riskreducerande åtgärder och kontroll av att risken minskat. Beslutsfattande är en viktig del av detta moment i riskhanteringsprocessen. Det finns flera olika beslutskriterier som kan användas, enligt Mattsson (2000) kan beslutskriterierna delas in i fyra huvudkategorier:

Teknologibaserade kriterier:

Kriteriet innebär att bästa möjliga teknik som finns för att minska risker ska användas.

Rättighetsbaserade kriterier:

Detta kriterie innebär att alla personer har rätt att inte utsättas för en risk överstigande ett visst värde.

Nyttobaserade kriterier:

Beslutskriteriet innebär att en åtgärd väljs efter en avvägning mellan dess kostnad och nytta.

Hybridkriterier:

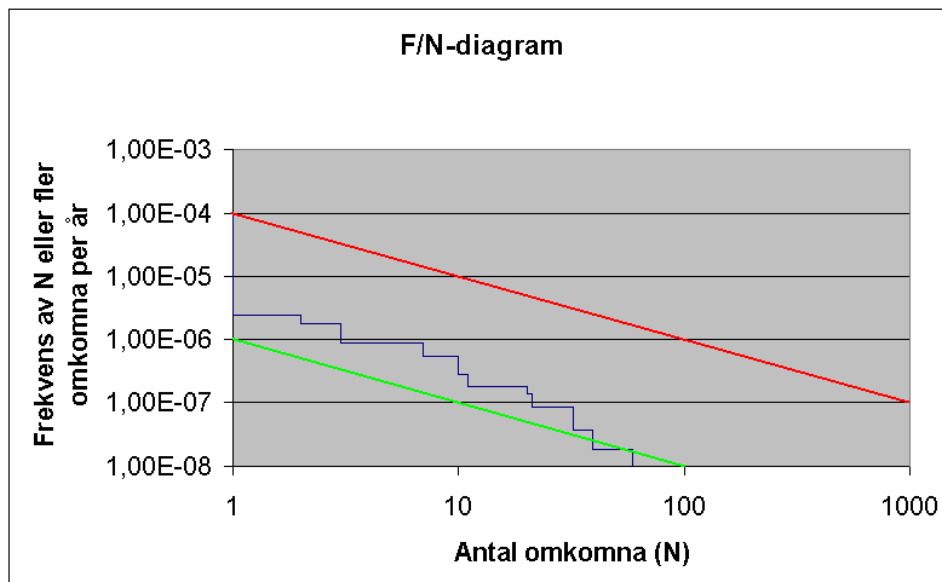
Detta innebär en kombination av flera av de ovanstående kriterierna. Exempelvis kan en maximal risknivå sättas (rättighetsbaserad) varefter de åtgärder som leder till en risknivå under den maximala utvärderas med nyttobaserade kriterier.

4 Acceptabel risk

Det finns inga nationella krav på vilken samhällsrisknivå som maximalt ska accepteras. Därför är det upp till beslutsfattarna att avgöra vilka risker som ska anses acceptabla. DNV (Det Norske Veritas) har gett förslag på risknivåer som kan användas för att avgöra om en risk är acceptabel eller inte, Davidsson (2002). Kriterierna baseras på att samhällsriskerna redovisas i form av en F/N-kurva, och individrisken redovisas som risken för dödsfall per år på ett visst avstånd från riskkällan. Kalmar kommun har tagit beslut på att acceptabel risk skall värderas utifrån kriterier enligt nedan, "Riskhanteringsmodell för nybyggnationer och etableringar i Kalmar kommun", Kalmar Brandkår.

4.1 Samhällsrisk

Samhällsriskerna redovisas ofta i form av ett F/N-diagram. I ett sådant diagram visas sambandet mellan den ackumulerade frekvensen av händelser och antal omkomna personer. Det innebär att frekvensen för N eller fler omkomna redovisas.



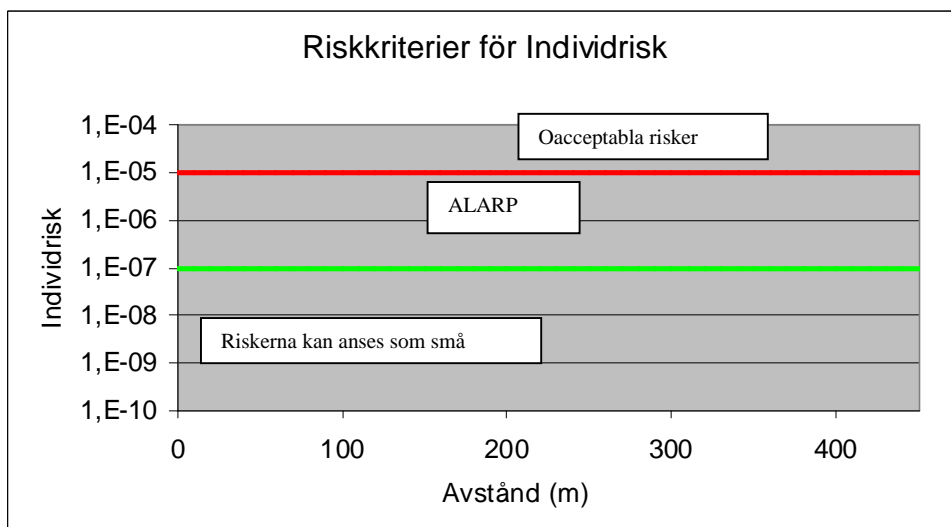
Figur 4.1. Figuren visar ett F/N-diagram där frekvensen per år för ett visst antal omkomna redovisas. Den röda linjen ligger på frekvensen (F) 10^{-5} för 10 omkomna (N). Det ska tolkas så att frekvensen för 10 eller fler omkomna är 10^{-5} . Frekvensen 10^{-5} innebär att det sker en gång på 100 000 år. I detta fallet innebär det således 10 eller fler dödsfall på 100 000 år.

Ovanför den röda linjen är riskerna oacceptabelt stora. Det innebär exempelvis att frekvensen för 10 eller fler omkomna inte får vara större än 10^{-5} . Mellan den gröna och röda linjen är det så kallade ALARP-området. ALARP står för "As Low As Reasonably Practicable" vilket ska tolkas som att om riskerna ligger inom detta område bör skäliga åtgärder vidtas för att sänka riskerna. Om riskerna befinner sig under den gröna linjen kan de anses vara små och acceptabla.

4.2 Individrisk

Individrisk definieras som risken att dö för en person som står på en given plats under ett års tid. Individrisken minskar med avståndet från riskkällan. I Davidsson (2002) föreslås följande kriterier för individrisk: en övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras är 10^{-5} per år och en

övre gräns för område där risker kan anses små är 10^{-7} . Risker mellan dessa två frekvenser ligger inom ALARP-området (se ovan).



Figur 4.2. Figuren visar hur individrisken presenteras. Y-axeln visar den årliga frekvensen att omkomma på ett visst avstånd från riskkällan, som visas på x-axeln.

5 Riskidentifiering

Farligt gods innefattar en stor mängd olika ämnen som klassificeras som farliga av olika anledningar. Det kan exempelvis vara brandfarligt, giftigt, frätande, explosivt m.m. Aktuell riskanalys inriktar sig på att undersöka ämnen som kan medföra konsekvenser på personer som befinner sig på minst ett tiotal meter från vägen. Därför analyseras endast händelser som kan ge konsekvenser på längre avstånd från vägen.

5.1 Antal transporter av farligt gods

En parameter som är mycket viktig för beräkning av frekvens av farligtgodsolycka är antalet transporter med farligt gods. En inventering av antalet farligtgodstransporter har genomförts för att erhålla en uppfattning om hur stor mängd som transporteras på den aktuella vägsträckan. Inventering har skett genom kontakt med samtliga aktörer på Tjärhovet som transporterar gods på vägsträckan. De transporter av farligt gods som identifierats i genomförd inventering redovisas i Bilaga 6.

I Bilaga 6 redovisas även en grovanalys som resulterar i att följande ämnen ingår i den mer detaljerade kvantitativa analysen:

1. Gasol
2. Ammoniaklösning
3. Brandfarlig vätska

Årligen utförs 9412 transporter med brandfarlig vätska, 26 transporter med gasol och 395 transporter med ammoniaklösning.

5.2 Gasol

Gasol är handelsnamnet för en brännbar gasblandning av i huvudsak propan och butan. Internationellt är den vanligaste benämningen LPG eller Liquified Petroleum Gas. Tankarna är tillverkade i ett segt tryckkärlsstål som tål större deformationskrafter än till exempel en tankvagn med brännbar vätska, Envall (1998).

Vid normalt tryck och temperatur är gasolen en gas, men vid ökat tryck eller minskad temperatur omvandlas gasen till vätskeform. Gasol transporteras i vätskefas under högt tryck. Vid ett eventuellt utsläpp av gasol kan antändning ske.

Antändning kan leda till tre olika skadeförlopp. Om gasen antänds direkt uppstår en jetflamma som kan uppgå till flera meter. Värmestrålning mot människor och byggnader blir betydande, i synnerhet i jetflammans riktning.

Om gas inte antänds direkt utan istället driver iväg i ett moln finns risk för en fördröjd antändning. Molnet antänds då av någon form av extern antändningskälla och risk finns att detta inträffar i ett tätbefolkat område. Hur långt molnet driver innan det antänds beror t.ex. på tillgång till antändningskälla, väderlek och områdets utformning.

Den tredje skadehändelsen som kan inträffa är en s.k. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). En BLEVE kan uppstå då en oskadad tank med tryckkondenserad gas värms upp. Detta kan inträffa då en tankbil med släp får ena tanken punkterad och en jetflamma uppstår, som i sin tur värmer upp den oskadade tanken på dragbilen. Trycket i den oskadade tanken stiger och till slut

brister tanken momentant. Tankens innehåll antänds och ett stort eldklot uppstår. BLEVE är ett mycket allvarligt skadeförlopp men sannolikheten för att det skall inträffa är mycket låg. Vid ett litet utsläpp bedöms en BLEVE ej kunna inträffa.

Sannolikhet för olika skadefall enligt Lamnevik och Palme (1997) redovisas i tabell 5.1.

Händelse	Sannolikhet
BLEVE	0,01
Jetflamma	0,3
Flamförbränning	0,69
Antändning	0,8

Tabell 5.1. Tabell redovisar sannolikhet för olika händelseförlopp vid utsläpp av tryckkondenserad brännbar gas enligt Lamnevik och Palme (1997).

5.3 Ammoniaklösning

Ammoniaklösning med koncentrationen 25 % transporteras i tankbilar. Vid ett utläckage av vätska kan giftiga ammoniakångor avgå och spridas med vinden. Mängden som avdunstar är beroende av temperatur och vindförhållanden.

Ammoniak är en färglös giftig gas med en starkt stickande lukt och redan mycket små mängder kan påverka människors hälsa allvarligt.

Flera faktorer påverkar hur långt dödliga doser av den giftiga gasen sprids. Några faktorer är utsläppets storlek, väderförhållanden och områdets utformning.

Ett värde som används för att beskriva ett ämnes giftighet är den dos som resulterar i att 50 % av dem som utsätts avlider, LD₅₀ eller Lethal Dose 50%. För gaser är ett liknande värde LC₅₀ eller Lethal Concentration 50 %. Detta värde definieras av hur stor koncentration som resulterar i att 50 % av de utsatta dör, Fischer (1998). LC₅₀- värde beräknas i Bilaga 2.

Redan vid mycket låga koncentrationer och kort exponeringstid kan ammoniak irritera luftvägar och ögon. Vid exponering av ammoniak i måttliga koncentrationer är den största risken svårigheten att hålla ögonen öppna, vilket medför orienteringssvårigheter. Kramp i andningsorgan, medvetslöshet, lungödem och chock kan även inträffa vid inandning av höga koncentrationer. Hudkontakt med gasformig ammoniak ger sveda och kontakt med ammoniak i vätskeform ger frät- och kylskador. I tabell 5.2 anges några av de gränser som förekommer.

Koncentration (ppm)	Effekter	Exponeringens varaktighet
5	Luktgräns.	-
25	Tydlig lukt, inga skadliga effekter för normalperson.	Maximalt tillåten koncentration för en arbetsdag.

50	Tydlig lukt, inga skadliga effekter för normalperson.	Maximal tillåten koncentration för vistelse i 15 minuter.
100	Besvärande att vistas i utan andningsskydd, lindriga ögonirritationer	-
300	Maximalt tolerabel utan allvarliga störningar.	1 timme.
400-700	Irritation av näsa och hals, ögonirritation, tårbildning. Särskilt känsliga personer (t ex barn, astmatiker) kan omkomma	Sällsynt exponering upp till 1 timme orsakar vanligen ingen allvarlig påverkan.
2000-3000	Krampaktig hostning, svår ögonirritation.	Ej tillåten koncentration, personer kan omkomma efter längre exponering.
5000-7000	Krampaktig andning, snabb kvävning.	Ej tillåten koncentration, personer kan omkomma efter kortvarig exponering.

Tabell 5.2. Tabell över ammoniakens påverkan på människan, Haeffler (2000).

5.4 Brännbara vätskor

Bensin, diesel, eldningsolja, metanol mm är alla exempel på vätskor som enligt ADR-S klassas som brännbara vätskor. Bensin är den vätska som har lägst flampunkt och antänds lättast jämfört med diesel eller eldningsolja som är relativt svåra att antända, Envall (1998). Den sammanlagda sannolikheten för antändning av en läckande brännbar vätska vid en olycka uppgår enligt brittisk statistik till 6 %, Purdy (1993).

Tankar på fordon som transporterar brandfarliga vätskor är tunnare och har följaktligen inte samma hållfasthet mot mekanisk åverkan som de tankar i vilka tryckkondenserade gaser transporteras. Sannolikhet att det skall uppstå en skada, på en tank med brännbar vätska, är alltså större. Vidare är också sannolikheten större att utsläppet skall bli stort, Lamnevik och Palme (1997).

Konsekvenserna av ett utsläpp med brandfarlig vätska beror inte så mycket på storlek på hålet som av storlek av den pöl som bildas ovan mark. En stor pöl kan leda till en stor brand vilket innebär hög effektutveckling och höga flammor. En stor brand genererar vidare en hög strålningsvärme mot människor och byggnader i brandens närområde.

6 Analys

I detta kapitel redovisas genomförd beräkningsgång. Först beräknas frekvens för farligtgoodsolycka, d.v.s. frekvens för en olycka med ett fordon med farligt gods inblandat och där det går hål på tankbil så att ett läckage uppstår. Aktuell frekvens beräknas med VTI-metoden, framtagen av Räddningsverket (se Bilaga 1).

Beräkningarna leder till en frekvens för farligtgoodsolycka med brännbar vätska, gasol respektive ammoniaklösning. Frekvensen förs in i ett händelsetråd, se figur 6.1 och 6.2.

De olika ämnen som analyserats kan ge upphov till ett stort antal händelseförlopp. Dessa illustreras i händelsetråd nedan. I scenario 1-8 sker gasolutsläpp som antas antända. Tre olika utsläppsstorlekar och tre olika händelseförlopp (jetflamma, fördröjd antändning respektive BLEVE) utreds. I scenario 9-11 undersöks brandfarlig vätska som antas antända och orsaka en pölbrand. Sannolikheter för de olika hålstorlekarna och händelseutfall redovisas i Bilaga 1. Scenario 12-14 utreder utsläpp av ammoniaklösning. Genom att multiplicera frekvensen för farligtgoodsolycka med respektive sannolikhet på trädets olika grenar erhålls i trädets högra del den slutliga frekvensen för de olika scenarierna som analyserats.

Genom beräkningsgång enligt ovan erhålls frekvens för att respektive scenario ska inträffa på aktuell del av väg.

För samtliga scenarier utförs beräkning av vilka konsekvenser som uppstår. Ammoniakutsläpp beräknas med Aloha. Gasolutsläpp beräknas med datorprogrammet Gasol (se kapitel 1.4.1). För brandfarlig vätska utförs strålningsberäkningar genom handberäkningar.

6.1 Skadekriterier

För ammoniak används ett LC₅₀-värde som gräns, med antagandet att alla som utsätts för det värdet dör. Konsekvens för brännbar gas bedöms utifrån andra gradens brännskada. Även konsekvenser för brandfarlig vätska bedöms genom avstånd till andra gradens brännskada. Innebörden är att alla som utsätts för andra gradens brännskada omkommer. Det är ett konservativt antagande eftersom 15 % som utsätts för 2:a gradens brännskada förväntas omkomma, Fischer (1998). Antagandet vägs upp av att ingen inomhus antas omkomma.

Konsekvenser redovisas som ett riskavstånd och en spridningsvinkel. Inom den zon som skapas av vinkeln och riskavståndet antas samtliga personer omkomma. Vissa scenarier har en cirkulär utbredning, vilket leder till en spridningsvinkel på 360°. LC₅₀-värde för ammoniak beräknas i Bilaga 2.

Individerisk:

Beräknas enligt följande formel:

$$IR = f \cdot 2 \cdot \frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{750} \cdot \frac{\alpha}{360}$$

där

f = frekvensen för enskilt scenario (frekvens/år)

r = beräknat riskavstånd för enskilt scenario (m)

a = avståndet från olyckan (m)

α = spridningsvinkel

Att termen $\sqrt{r^2 - a^2}$ divideras med 750 beror på att den analyserade vägsträckan är 750 meter lång.

Kvoten $\alpha/360$ kompenserar för att utsläppet endast sker i en riktning (vindriktningen). Pölbränder och BLEVE breder ut sig i alla riktningar varvid denna kvot inte inberäknas i formeln vid beräkning av dessa scenarier.

Samhällsriskens beräknas enligt:

$$n = \pi \cdot r^2 \cdot N \cdot \frac{\alpha}{360}$$

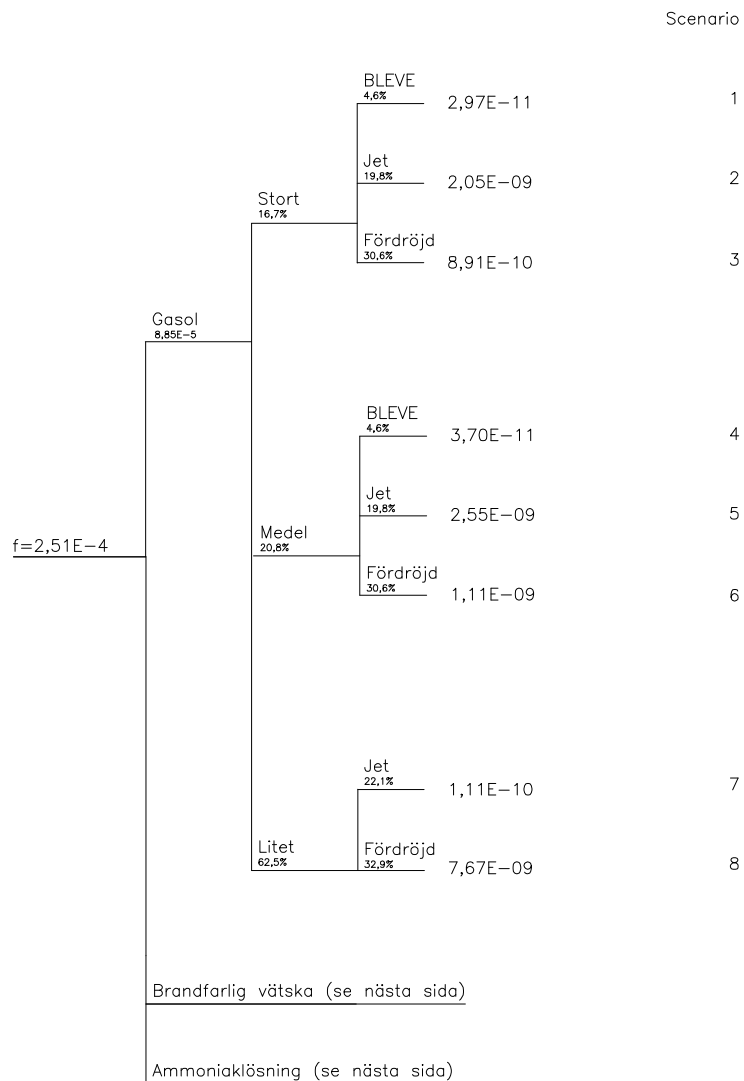
där

n = antalet omkomna individer (st)

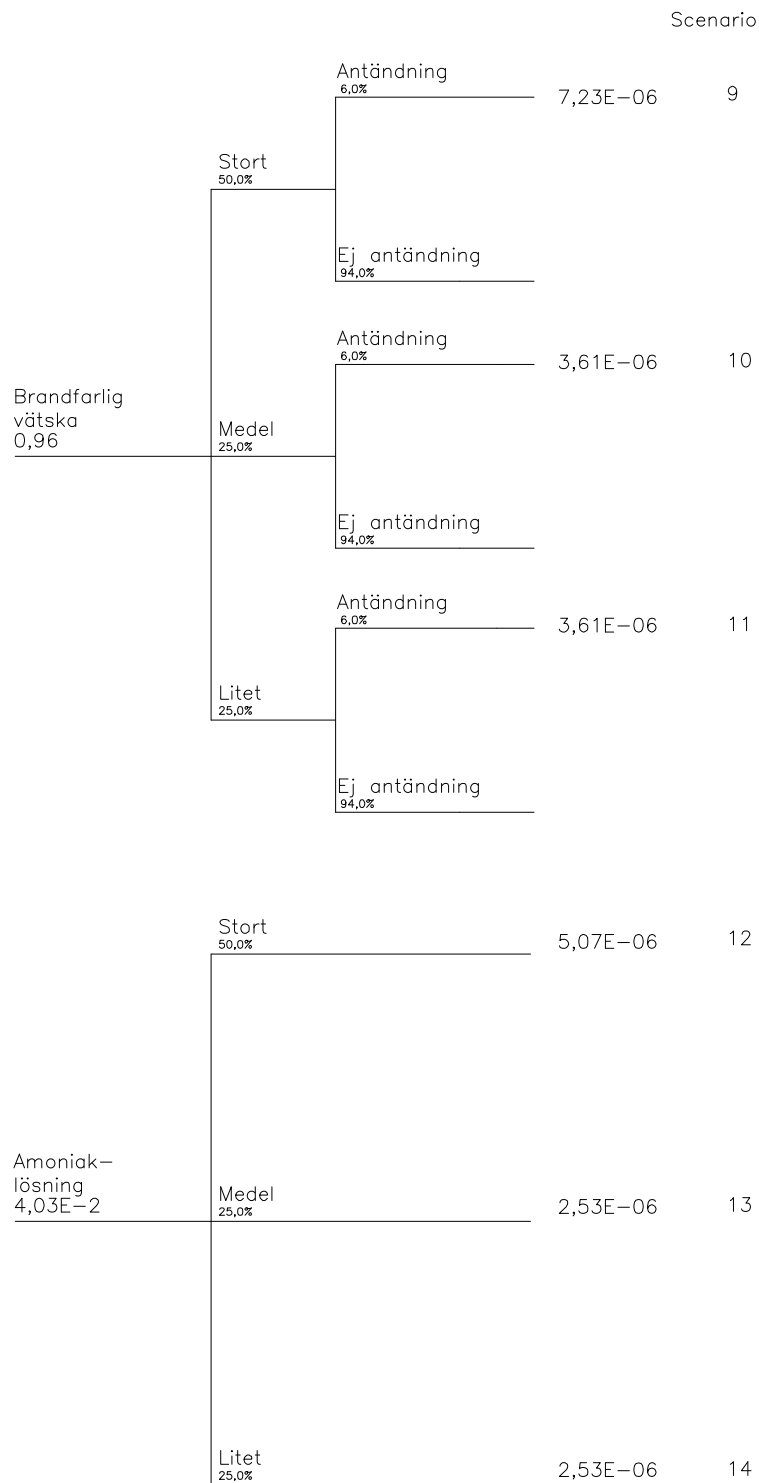
r = riskavståndet (m)

N = befolkningstätheten (inv/km²)

De olika frekvenserna för de olika olyckorna adderas, varpå den kumulativa frekvensen redovisas i resultatdiagrammet, som därför anger frekvensen för n eller fler döda.



Figur 6.1. Figuren visar händelseträdet som leder fram till frekvens för olika riskscenarier.



Figur 6.2. Fortsättning på figur från föregående sida.

Scenario	Riskavstånd (m)	Spridningsvinkel (°)	Frekvens (år ⁻¹)
1	250	360	2,970E-11
2	111	15	2,049E-09
3	257	15	8,910E-10
4	250	360	3,699E-11
5	63	15	2,552E-09
6	130	15	1,110E-09
7	29	15	1,111E-10
8	26	15	7,669E-09
9	35	360	7,229E-06
10	20	360	3,614E-06
11	9	360	3,614E-06
12	35	15	5,065E-06
13	19	15	2,533E-06
14	11	15	2,533E-06

Figur 6.3. Figuren visar riskavstånd, spridningsvinkel, och frekvens för de olika scenarierna.

7 Resultat

I detta kapitel redovisas resultat av riskanalys. Risk presenteras i form av individ- och samhällsrisk (dessa riskmått definieras kortfattat i kapitel 4.1 och 4.2). Vid studie av resultaten är det viktigt att vara medveten om följande konservativa antaganden som ligger till grund för beräkningarna:

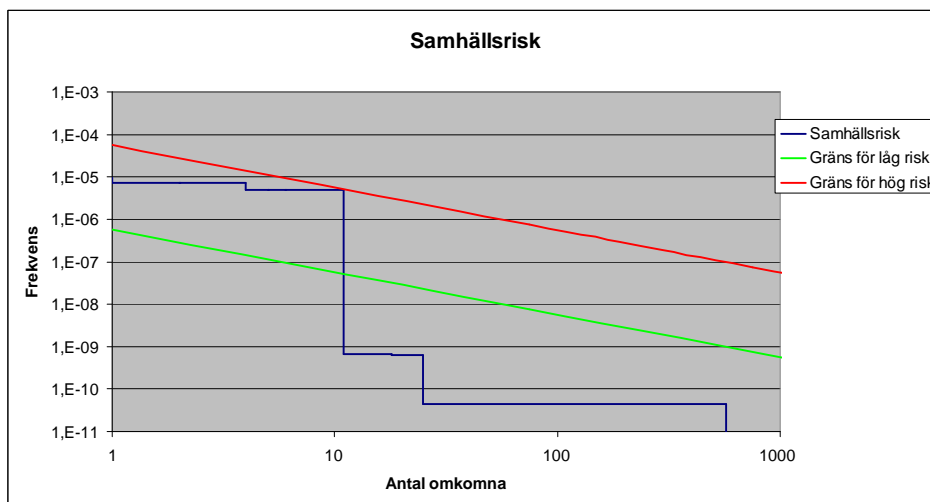
- Ingen hänsyn tas till skadebegränsande åtgärder, såsom utrymning, räddningstjänstinsats, utspädning av gaskoncentrationer till följd av träd eller liknande
- Samtliga personer som utsätts för andra gradens brännskada antas omkomma. Personer inomhus antas ej påverkas.
- Personer som utsätts för LC₅₀-värde vid utsläpp av giftig gas antas omkomma
- En vindhastighet på 2 m/s som ger konservativa resultat väljs
- Mängd transporter av farligtgodshar valts konservativt för att möjliggöra framtida flexibilitet
- Personer antas finnas precis intill vägen. De antas inte sätta sig i säkerhet om en olycka skulle inträffa.

Personer som befinner sig inomhus bedöms inte påverkas av farligtgodsoolycka.

7.1 Samhällsrisk

Vid kriterie för samhällsrisk med definitioner enligt DNV:s rekommendationer uppstår problem eftersom risken ökar ju längre sträcka som analyseras. Det finns svårigheter i att definiera hur stort transportarbete som skall motsvara en fast riskkälla, exempelvis en industri. I enlighet med SRV 1997, Värdering av risk, föreslås att riskkriteriet skall nyttjas för en sträcka av 1 km. Analyserad sträcka är 750 meter, vilket innebär att 75 % av risknivån skall tolereras med nämnd definition. Det är denna nivå som kommande resultatdiagram kommer att redovisa.

I figur 7.1 redovisas riskanalysens resultat beträffande samhällsrisk. Samhällsrisk ligger till viss del inom den nedre delen av ALARP-området.

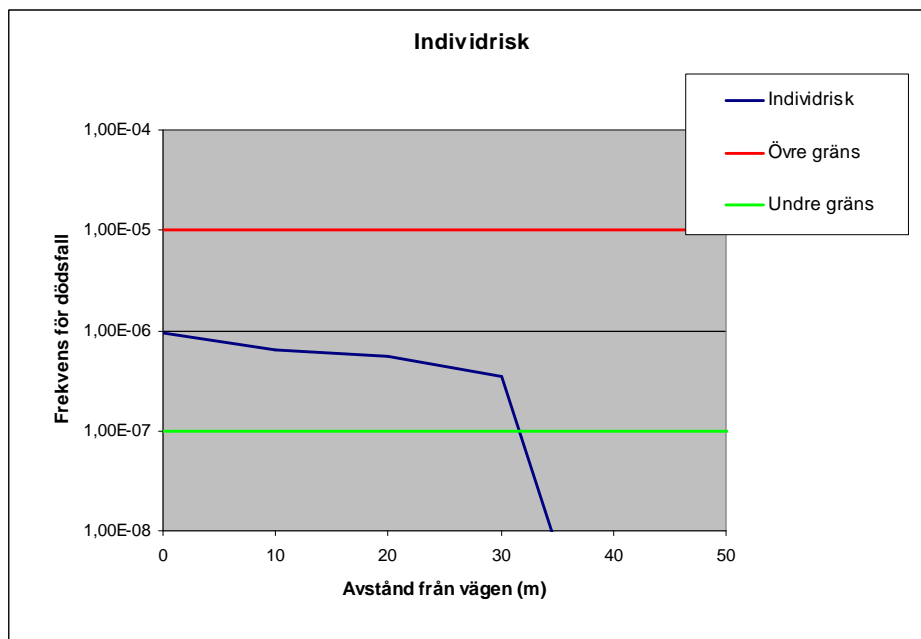


Figur 7.1. Figuren visar samhällsrisk i området om inga säkerhetshöjande åtgärder vidtas.

Samhällsrisk i området är i den övre delen av ALARP-området på grund av transporter med brandfarlig vätska.

7.2 Individrisk

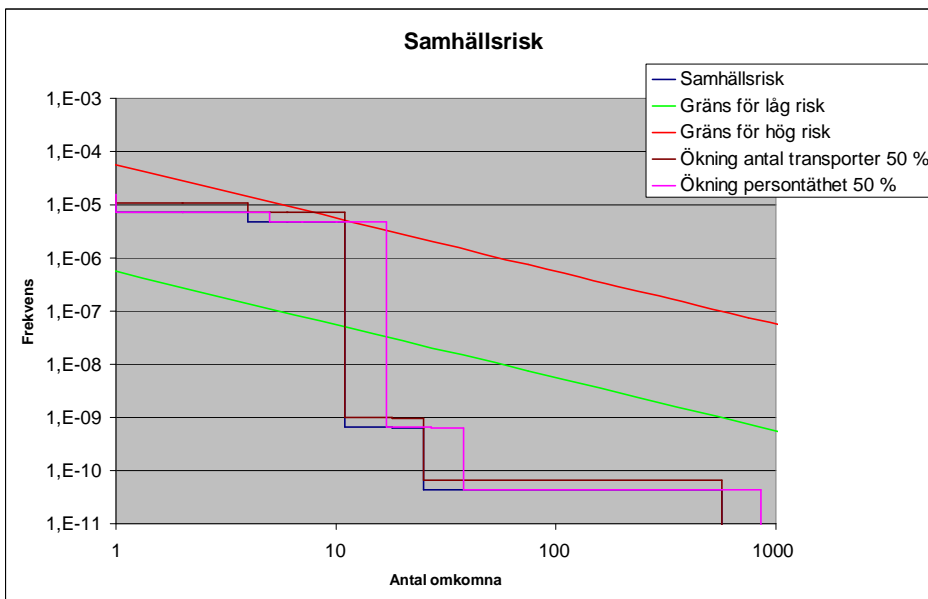
I figur 7.2 redovisas individrisk för aktuellt planområde. Närmast vägen ligger individrisknivån inom ALARP-området, men den sjunker snabbt på längre avstånd från vägkanten. På avstånd längre än 33 meter från vägkanten är individrisknivån under det undre gränsvärdet. Anledning är den risk som transport av brandfarlig vätska medför, eftersom brandfarlig vätska står för störst andel farligt gods på aktuell vägsträcka.



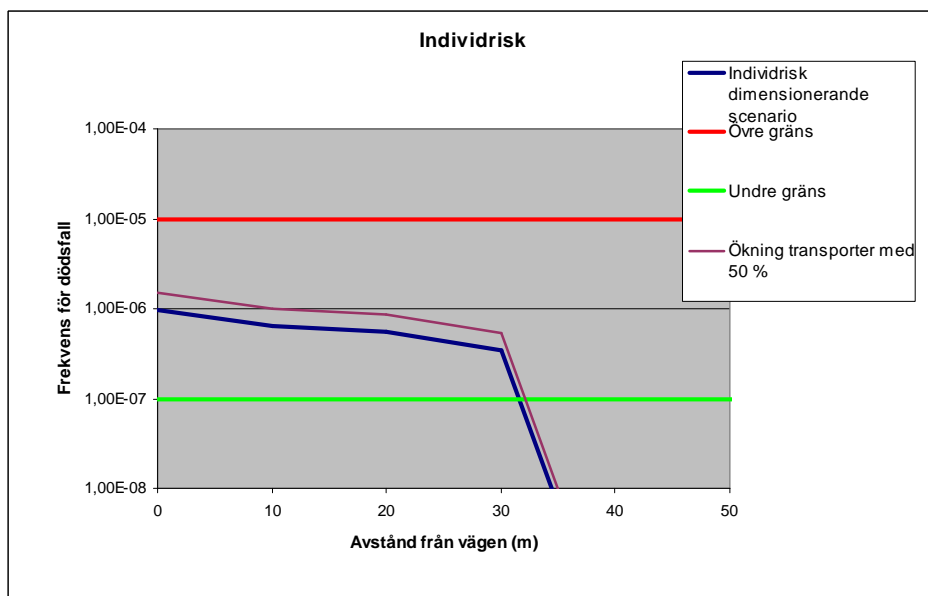
Figur 7.2. Figuren visar individrisk på olika avstånd från vägen.

7.3 Resultat av känslighetsanalys

Nedan redovisas resultatet av känslighetsanalyserna som utförts. Förändringar i persontäthet (ökning med 50 %) och förändringar i antalet transporter (ökning med 50 %) har studerats.



Figur 7.3. Figuren visar samhällsrisik i det dimensionerande scenariot och de två känslighetsanalyserna som utförts i Bilaga 5.



Figur 7.4. Figuren visar individerisk i det dimensionerande scenariot och känslighetsanalys som utförts i Bilaga 5.

8 Åtgärdsförslag

Samhällsrisik och individrisk ligger inom ALARP-området varför skäligen åtgärder bör vidtas för att minska risken till en acceptabel nivå, enligt ”Riskhanteringsmodell för nybyggnationer och etableringar i Kalmar kommun”, Kalmar Brandkår. Förslag på åtgärder är enligt nedan. Dessa skall kommuniceras med räddningstjänst.

Det bör förtydligas att det är mycket svårt att begränsa risknivån för personer som befinner sig utomhus i vägens närhet. Område på kortare avstånd än 10 meter från avkörningsskydd bör utformas så att det inte inbjuder till stadigvarande vistelse utomhus.

De verksamheter som är planerade i området skiljer sig beträffande personantal, lokalkännedom och vakenhet varför åtgärderna som presenteras för respektive verksamhet är olika.

Universitet och resecentrum

Vid byggnation av universitet eller resecentrum med ett avstånd överstigande 35 meter från väg bedöms inga åtgärder krävas.

Om universitet eller resecentrum skall byggas inom 35 meter från väg skall följande åtgärder vidtas:

- Avkörningsskydd skall uppföras för att tjäna två syften. Dels för att förhindra att tunga fordon kör av vägen och orsakar skador på personer och byggnader, dels att förhindra ett utsläpp av brandfarlig vätska nära planerad byggnad. Genom uppförandet av avkörningsskydd uppnås största möjliga avstånd mellan eventuellt läckage och fastigheten. Avkörningsskydd skall vara dimensionerat att motstå kollision av tunga fordon.
- Brunnar var 10:e meter för begränsning av pölbrands utbredning
- Inom 15 meter från avkörningsskydd får inte byggnad och dess fasad innehålla brännbart material. Eventuella fönster inom angivet område skall utföras i brandteknisk klass EI 30 och får ej vara öppningsbara. Detta motiveras med att utrymningstiden för byggnad bedöms understiga 30 minuter. Eventuell brännbar takfot skall kläs med plåt eller likvärdigt icke brännbart material samt isoleras mot brandgaser.
- Byggnaden skall utrustas med ett enkelt utrymningslarm som kan startas manuellt på varje våningsplan om byggnation sker inom 15 meter från avkörningsskydd
- Placering av utrymningsvägar i riktning från vägen. Återinrymning skall vara möjligt för eventuella utrymningsvägar i riktning mot vägen. I den mån utrymning mot vägen erfordras skall aktuella risker beaktas.
- Riktning varifrån tilluft tas får ej vara mot vägen
- Manuell avstängning av ventilationssystemet samt gastäta ventilationsspjäll skall finnas

Hotell

Vid byggnation av hotell 35 meter från väg:

- Riktning varifrån tilluft tas skall ej vara mot södra vägen
- Manuell avstängning av ventilationssystemet samt gastäta ventilationsspjäll

Om hotell skall byggas inom 35 meter från väg skall följande åtgärder vidtas:

- Avkörningsskydd skall uppföras för att tjäna två syften. Dels för att förhindra att tunga fordon kör av vägen och orsakar skador på personer och

byggnader, dels att förhindra ett utsläpp av brandfarlig vätska nära planerad byggnad. Genom uppförandet av avkörningsskydd uppnås största möjliga avstånd mellan eventuellt läckage och fastigheten. Avkörningsskydd skall vara dimensionerat att motstå kollision av tunga fordon.

- Brunnar var 10:e meter för begränsning av pölbrands utbredning
- Inom 15 meter från avkörningsskydd får inte byggnad och dess fasad innehålla brännbart material. Eventuella fönster inom angivet område skall utföras i brandteknisk klass EI 30 och får ej vara öppningsbara. Eventuell brännbar takfot skall kläs med plåt eller likvärdigt icke brännbart material samt isoleras mot brandgaser.
- Byggnaden skall utrustas med ett utrymningslarm (generellt krav för hotell)
- Placering av utrymningsvägar i riktning från vägen. Återinrymning skall vara möjligt för eventuella utrymningsvägar i riktning mot vägen. I den mån utrymning mot vägen erfordras skall aktuella risker beaktas.
- Riktning varifrån tilluft tas får ej vara mot vägen
- Manuell avstängning av ventilationssystemet samt gastäta ventilationsspjäll skall finnas

Parkeringshus

Vid byggnation längre än 15 meter från väg bedöms inga åtgärder krävas för parkeringshus eftersom det kan förutsättas vara ett begränsat antal personer i byggnaden, de är vakna och de vistas där endast tillfälligt.

Vid byggnation av parkeringshus inom 15 meter från väg skall följande åtgärder vidtas:

- Avkörningsskydd
- Brunnar var 10:e meter
- Placering av utrymningsvägar i riktning från vägen

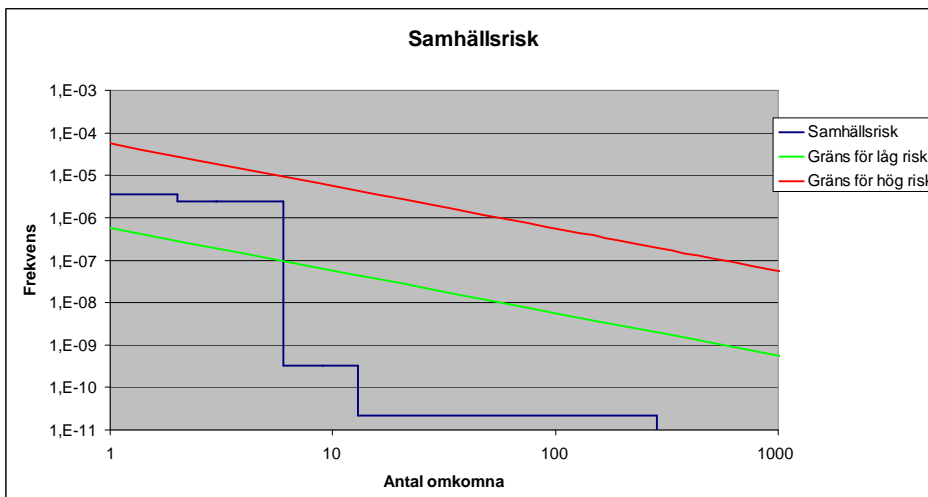
9 Risknivå om samtliga föreslagna åtgärder vidtas

I detta kapitel redovisas hur risksituationen förändras om samtliga föreslagna åtgärder vidtas.

Det finns stora osäkerheter i att undersöka effekten av olika åtgärder. Ett försök görs dock att ge en ungefärlig bild av hur åtgärder minskar risksituationen.

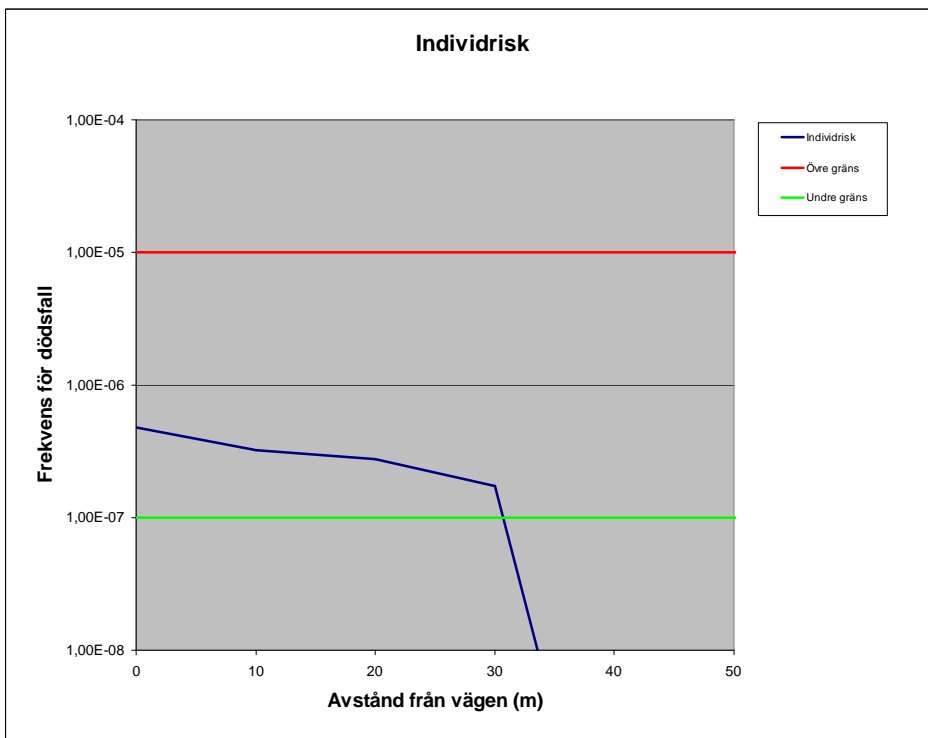
Ett avkörningsskydd antas minska sannolikheten för att det går håll på en tank med farligt gods med 50 %. Anledning är att olyckan inte blir lika allvarlig och sannolikheten för att tankbilen välter minskar. Antagen siffra är mycket osäker. Den måste dock antas för att ge en uppfattning av hur åtgärdsförslag inverkar på aktuell risknivå.

Vidare antas åtgärderna medföra minskad konsekvens för personer i omgivningen. Andelen som antas omkomma när de utsätts för farliga strålningsnivåer antas till 25 %.



Figur 9.1. Figuren visar samhällsrisiknivån om samtliga åtgärder vidtas.

Resultatet av åtgärderna blir att samhällsrisiken minskar kraftigt.



Figur 9.2. Figuren visar individerisiknivån om samtliga åtgärder vidtas.

Individerisiken minskar avsevärt till följd av åtgärderna.

10 Osäkerheter

En riskanalys innehåller alltid osäkerheter. Hur stora osäkerheterna i analysen är beror på ett antal faktorer. Det finns bland annat osäkerheter i antalet farligtgodstransporter, vilket ämne som transporteras och vilket händelseförlopp ett utsläpp kan leda till.

I konsekvensberäkningarna skapas osäkerheter eftersom verkligheten förenklas för att passa en given simuleringsmodell. Det leder främst till att avstånd med olika koncentrationer ska ses som ungefärliga värden, inte exakta riskavstånd.

I en riskanalys är det viktigt att beakta hur osäkerheterna påverkar beslutsfattande med riskanalysen som en del av ett beslutsunderlag. I detta fall bör osäkerheterna som finns i analysen innebära att resultatet ska ses som ett ungefärligt värde. Säkerhetsmarginaler finns redan inbyggda i analysen genom att de antaganden som görs vid osäkerheter utförs konservativt (se kapitel 7).

11 Slutsats

Riskanalysen har resulterat i att risknivån för aktuellt planområde ligger inom ALARP-området. Åtgärdsförslag har därför utarbetats. När risknivån ligger inom ALARP-området bör åtgärdernas effekt vägas mot deras kostnad. En bedömning av kostnad och nytta bör göras innan beslut fattas om vilka åtgärder som skall vidtas.

Effekten av de föreslagna åtgärderna blir att risknivån sänks kraftigt.

För att risknivån ska anses vara acceptabel krävs att kriterierna för acceptabel samhälls- och individrisk uppfylls.

Samhällsrisknivån ligger utan åtgärder ligger inom ALARP-området. Det innebär att skäligen åtgärder bör vidtas för att sänka risknivån.

Individrisknivån är i mitten av ALARP-området om inga åtgärder vidtas. Om åtgärder vidtas sänks individrisknivån till den nedre delen av ALARP-området. Individrisknivån är låg på avstånd längre än 33 meter från väggkant.

I känslighetsanalys med en ökning av personantalet med 50 % medför det att risknivån går över den röda linjen i samhällsriskkurvan, vilket indikerar en hög risk. Det bör beaktas att personantalsökningen är hög. Som en jämförelse kan nämnas att personantalet utomhus i dimensionerande scenario antagits till en person på 345 m² i jämförelse med en person på 230 m² i känslighetsanalys, d.v.s. en person på en yta på cirka 15 x 15 meter utomhus dagtid.

Vid ökning av antalet transporter med 50 % ökar samhällsrisknivån till över det övre gränsvärdet vilket tyder på en hög risknivå. Individrisknivån ökar något inom ALARP-området.

Känslighetsanalyserna visar att resultatet beror till stor del på antalet personer i omgivningen och antalet farligtgodstransporter. Med hänsyn till de föreslagna åtgärderna bedöms dock en god säkerhetsnivå föreligga för de aktuella byggnationerna om redovisade åtgärder vidtas. Åtgärderna innebär en god framtida flexibilitet.

Riskanalys utgör beslutsunderlag och bör granskas av räddningstjänst/byggnadsnämnd innan åtgärder fastslås.

12 Källförteckning

- CPR 18E (1999)* Committee for the prevention of disasters: Guidelines for Quantitative Risk Assessment ("Purple Book"), CPR 18E, The Hague, Holland 1999.
- Davidsson (2003)* Davidsson, Göran. Handbok för riskanalys, Räddningsverket, 2003.
- Davidsson (2002)* Davidsson, Göran m.fl. Värdering av risk, Räddningsverket, 2002.
- Drysdale (1998)* Drysdale D, "An introduction to Fire Dynamics", John Wiley & Sons Ltd, New York, USA 1998.
- Envall (1998)* Envall, Per, 1998, Farligt gods på vägnätet – underlag för samhällsplanering. Risk- och miljöavdelningen, Räddningsverket, Karlstad.
- Fischer (1998)* Fischer, Stellan. Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, försvarets forskningsanstalt, 1998.
- Haeffler (2000)* Haeffler L, Vägledning för riskbedömning av frys- och kylanläggningar med ammoniak, Räddningsverket, Karlstad, 2000.
- IEC (1995)* International Electrotechnical Commission, IEC. International standard 60300-3-9, Genève 1995.
- Gustavsson (2007)* Gustavsson, Björn, Uppgifter via e-post från Vägverket 2007.
- Karlsson (2000)* Karlsson, Björn, Quintiere, James G, 2000, Enclosure fire dynamics. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida.
- Lamnevik & Palme (1997)* Lamnevik, Stefan, Palme, Erik, 1997, Översiktsplan för Göteborg fördjupad för sektorn transporter av farligt gods Bilagor 1-5, Antagandehandling. DNR 785/92. Stadsbyggnadskontoret. Göteborg.
- Mattson (2000)* Mattson, Bengt. Riskhantering vid skydd mot olyckor – problemlösning och beslutsfattande, Räddningsverket, 2000.
- Mett (1997)* Mett, L, et. al. Kvantitativ riskanalys av ammoniakterminal vid Akzo Nobel i Stenungsund. DNV, projekt nr. 76371, 1997.
- Purdy (1993)* Purdy, Grant, 1993, "Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail". Journal of Hazardous Materials. 1993. Sidorna 229-259.
- RIB (2005)* RIB, Räddningsverkets informationsbank, 2005.
- Sanglén (2005)* Sanglén, Håkan. Riskanalys av farligtgodsled i Kalmar, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, 2005.
- SRV (1996)* SRV, 1996, Farligt gods - Riskbedömning vid transport. Handbok för riskbedömning av transporter med

farligt gods på väg eller järnväg (1996). Risk- och miljöavdelning, Statens räddningsverk. Karlstad.

SRV (1997)

SRV, Mattias Strömgren, Riskhantering vid fysisk planering, Karlstad, 1997.

SRV 1997

Värdering av risk, Statens räddningsverk, Karlstad 1997, Risk och miljöavdelningen. P21-182/97

Bilaga 1 - Frekvens för farligtgoodsolycka

Farligtgoodsolycka definieras i beräkningsmetoden som en olycka där ett farligt ämne kommer ut i omgivningen. Riskidentifieringen har lett till att följande ämnesgrupper ska beaktas: giftig kondenserad gas i tankbil, brännbar kondenserad gas i tankbil och brandfarlig vätska i tankbil.

Det förväntade antalet olyckor beräknas enligt Statens räddningsverks handbok "Farligt gods riskbedömning vid transport" som baseras på Väg- och trafikinstitutets rapportserie 387:1-6, SRV (1996).

Antal fordon skyltade med farligt gods i trafikolyckor/år beräknas enligt metoden med nedanstående formel:

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

där

O = Antalet trafikolyckor på aktuell vägsträcka

Y = Andelen singelolyckor

X = Andelen fordon skyltade som farligt gods

Trafikbelastningen som används i beräkningsmodellen bygger på uppgifter Lars Olof Sjögren, Kalmar Kommun.

En mätpunkt finns placerad på Järnvägsgatan. Där registrerades oktober 2009 veckomedeldygns trafik på 5660 fordon, varav 7 % var tunga (axelavstånd större än 3,3 meter). På Tjärhovsgatan utfördes den senaste trafikmätningen 2005 med resultatet 2042 fordon varav 10 % tung trafik. Aktuellt område sträcker sig från Järnvägsgatan till Tjärhovsgatan, d.v.s. hänsyn måste tas till båda siffrorna vid beräkning av frekvens för farligtgoodsolycka. Värdet för gatan med högst veckomedeldygns trafik väljs. Veckomedeldygns trafik är inte detsamma som årsmedeldygns trafik, vilket är det värde som skall användas i frekvensberäkningarna. April och oktober är de månader som bäst speglar årsgenomsnittet på trafikflöde (Sjögren 2010-02-25). Eftersom trafikmätningen är utförd i oktober bedöms värdena kunna användas som årsmedeldygns trafik utan att för stor osäkerhetsfaktor förs in i beräkningen.

Antal olyckor med farligt gods beräknas genom att multiplicera det ovan uträknade antalet fordon med farligt gods i trafikolyckor med ett farligtgoodsindex. Detta index varierar beroende på hastighetsbegränsningen, vägtypen, m.m. på den aktuella vägsträckan.

	Brännbar vätska	Ammoniak- lösning	Gasol
Antal farligtgodstransporter per år	9412,00	395,00	26,00
Antal fordon med FG/dygn (d)	25,79	1,08	0,07
ÅDT (b)	5660,00	5660,00	5660,00
Sträcka (km) (a)	0,75	0,75	0,75
Trafikarbete (c=a•b•365•10-6)	1,55	1,55	1,55
Olyckskvot (index)	1,20	1,20	1,20
förväntat antal olyckor (o)	1,86	1,86	1,86
Andel singelolyckor (Y) (tabellvärde)	0,15	0,15	0,15
Andel transporter skyltade med farligt gods (X=d/b)	0,00	0,00	0,00
Antal fordon skyltade med farligt gods i olycka (E) (Beräkningsmodellen)	0,01	0,00	0,00
Index för FG-olycka (i) (tabellvärde)	0,03	0,03	0,03
faktor 1/30 multipliceras med om det är tryckkondenserad gas			0,03
Förväntat antal olyckor med FG/år (E-i)	2,41E-04	1,01E-05	2,22E-08
Förväntat antal år mellan varje olycka med FG	4150	98707	44984494

Tabell B1.1. Beräkning av det förväntade antalet olyckor med farligt gods för respektive farligtgodskategori.

En del av värdena i tabellen är hämtade direkt från SRV (1996), och förklaras inte mer i detalj. Index för farligtgodsoolycka är detsamma som sannolikhet för att det farliga ämnet kommer ut om ett fordon som transporterar ämnet är inblandad i en olycka. Indexvärdet varierar kraftigt mellan brandfarlig vätska och tryckkondenserad gas. Det beror på att högre krav ställs på behållare för tryckkondenserad gas, vilket innebär att sannolikheten är lägre att det går håll på tanken än på transportbehållare för brandfarlig vätska SRV (1996).

Beräkningarna i tabell B1.1 ovan leder till en frekvens för farligtgodsolycka med de olika ämnena. Frekvensen anger hur ofta en olycka sker där det aktuella ämnet kommer ut ur sin transportbehållare. Ett utsläpp kan i sin tur leda till ett flertal olika händelser.

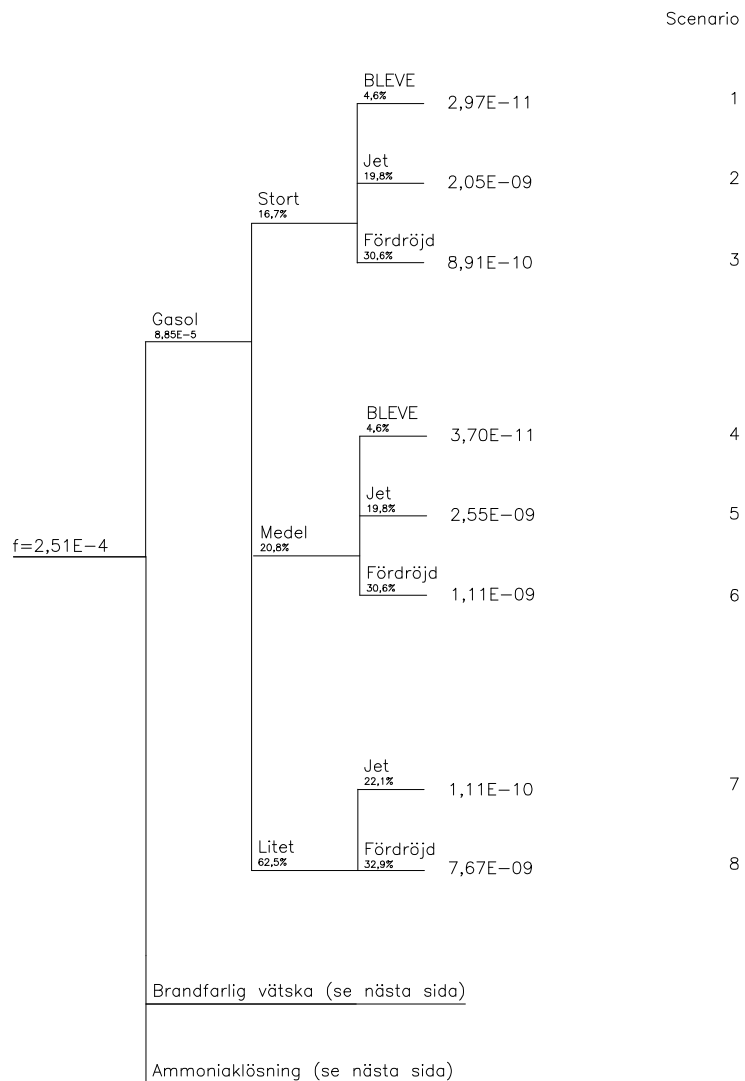
Tre olika hålstorlekar beaktas, stort (diameter 10 cm), medel (diameter 5 cm) respektive litet (diameter 1 cm). Sannolikheten för de olika hålstorlekarna kommer från SRV (1996) och är följande: stort 16,7 %, medel 20,8 % respektive 62,5 % för litet.

Sannolikhet för olika skadeutfall antas enligt Lamnevik och Palme (1997).

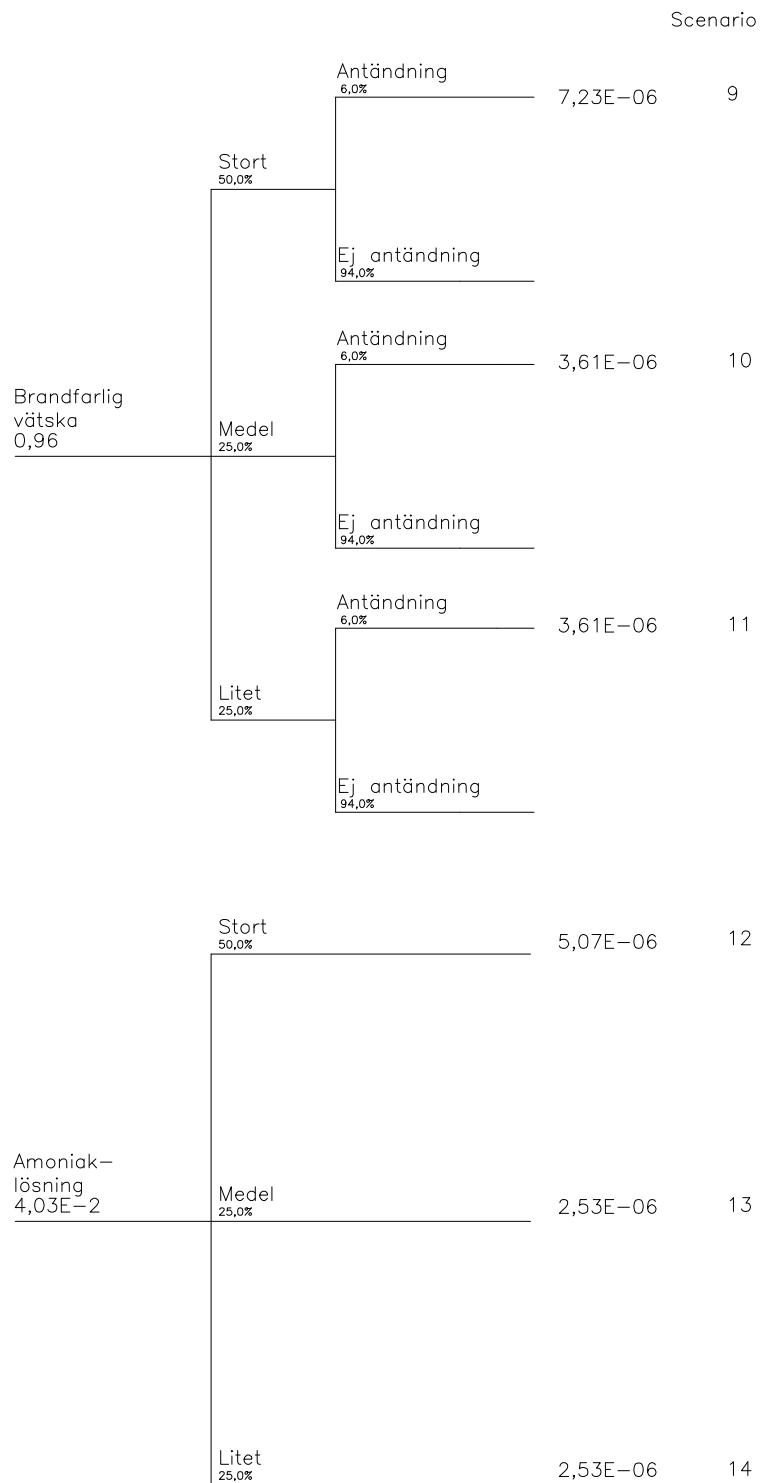
Händelse	Sannolikhet
BLEVE	0,01
Jetflamma	0,3
Flamförbränning	0,69
Antändning	0,8

Tabell B1.2. Tabell redovisar sannolikhet för olika händelseförlopp vid utsläpp av tryckkondenserad brännbar gas.

Även vid utsläpp av brandfarlig vätska beaktas tre olika utsläppsstorlekar. Stort utsläpp leder till en pöl med diametern 20 meter, medelstort leder till en diameter på 10 meter och litet utsläpp bildar en pöl med diametern 5 meter. Sannolikheten för respektive utsläpp är 50 % för stort och 25 % för medel och litet, enligt SRV (1996). I de flesta fall när ett utsläpp av brandfarlig vätska uppstår sker ingen antändning. Sannolikheten för antändning är 6 % enligt Purdy (1993).



Figur B1.3. Händelsetråd för gasoltransport.



Figur B1.4. Händelsetråd för brandfarlig vätska och ammoniaklösning.

Bilaga 2 – LC50 för ammoniak

För att beräkna LC₅₀-värdet för ammoniak används probitfunktionen enligt modell i kapitel 9, Fischer (1998).

Probitfunktionen beräknas enligt:

$$Pr = \alpha + \beta_1 \ln C + \beta_2 \ln t$$

där

Pr = ett mått på toxisk effekt

α , β_1 , β_2 = regressionsfaktorer

C = koncentrationen

t = exponeringstiden

Detta samband kan även uttryckas som:

$$Pr = \alpha + \beta_2 \ln(C^n t)$$

där

$$n = \beta_1 / \beta_2$$

Probitfunktionen, Pr, sätts till 0 enligt tabell 9.6 i ovanstående källa. Detta innebär att 50 % av de individer som utsätts för ammoniakutsläppet erhåller den skada som probitfunktionen beräknats för.

C löses ut ur ovanstående formel vilket ger:

$$C = (e^{-(\alpha/\beta_2)}/t)^n$$

Probitkonstanterna sätts till:

$$n = 2,0$$

$$\beta_2 = 1,0$$

$$\alpha = -19,7 \text{ för död}$$

och

$$\alpha = -17,6 \text{ för svåra skador och risk för bestående men.}$$

Dessa värden på konstanterna bygger på att individen har en låg fysisk aktivitet vilket medför en minutvolym i lungorna på 15 l/min.

Ovanstående beräkningar resulterar i följande koncentrationer

$$C = 4895 \text{ mg/m}^3 \text{ för död}$$

$$C = 1713 \text{ mg/m}^3 \text{ för svåra skador och risk för bestående men.}$$

I beräkningarna i denna riskanalys tas endast hänsyn till antalet omkomna.

Bilaga 3 – Väderförhållanden

Spridning av gaser i luften påverkas av det väderförhållande som råder. Vindhastigheten har en relativt stor påverkan på hur stora riskavstånd som skapas vid ett utsläpp. En låg vindhastighet medför att höga gaskoncentrationer uppstår på långa avstånd från utsläppskällan. Det beror på minskad turbulens, som leder till mindre luftinblandning och därmed ökade koncentrationer. En vindhastighet på 2 m/s har valts i simuleringarna vid spridning av giftig gas. En studie av vindhastighetsfördelning i Sanglén (2004) har skett. Där framgår att sannolikheten för att vindhastigheten är 2 m/s eller över är ca 87 %. Vindhastigheten ligger mellan 0-12 m/s. Genom att välja hastigheten 2 m/s används det värde som ger mest konservativa resultat av de vindhastigheter som råder 87 % av tiden. Vindhastigheten är normalt sett högre, men värdet väljs för att erhålla konservativa resultat.

Vid olika väderlek råder olika stabilitetsklasser. Den vanligaste stabilitetsklassen är D, Sanglén (2004), vilket också har använts i simuleringarna. De flesta övriga stabilitetsklasser leder till ett kortare riskavstånd varför vald stabilitetsklass leder till konservativa resultat.

Bilaga 4 - Persontäthet

Nedan ges en sammanställning över hur personantalet i området har beräknats.

B4.1 Universitet

Förutsättningar

Totalt: 450 personal och 2300 helårsstudenter enligt information från Christel Olsson, Linnéuniversitetet. Antagande görs att 50 % vistas samtidigt i skolan dagtid.

Beräkning

Totalt 2750 personer

50 % Antas vara på skolan dagtid (10 timmar per dygn)

Nattetid antas inga vara på skolan.

20 % antas vara utomhus dagtid.

Antal personer utomhus: $2750 \times 0,5 \times 0,2 = 275$ personer

Antal personer inomhus: $2750 \times 0,5 \times 0,8 = 1100$ personer

Området har en area på cirka $220 \times 150 = 33\,000 \text{ m}^2$

Det ger ett dimensionerande personantal på $2750 \times 0,5 \times 0,2 = 275$ personer

$275 \text{ pers} / 33\,000 \text{ m}^2 = 0,0083$ personer per m^2 eller en person per 120 m^2 .

B4.2 Hotell

Förutsättningar

Antag 100 rum

2 personer per rum året om

Antag 20 % utomhus dagtid och 5 % utomhus nattetid

Antal personer inne dagtid = 160 personer

Antal personer ute dagtid = 40 personer

Antal personer inne nattetid = 190

Antal personer ute nattetid = 10

Beräkning

Antag att hotellet upptar en yta om $60 \times 60 \text{ m}^2 = 3600 \text{ m}^2$

Personer utomhus dagtid: $40 / 3600 = 0,011 \text{ pers/m}^2$

Personer utomhus nattetid : $10 / 3600 = 0,0028 \text{ pers / m}^2$

B4.3 Resecentrum

Busstrafik förutsättningar

År 2009 registrerades 1673558 resor i kalmar tätort, 443758 resor i kalmar kommun och 2267163 regionala resor i hela länet (buss och tåg) enligt Christer Olson, KLT AB.

Busstrafik beräkning

Antag att 50 % av de som reser inom Kalmar tätort någon gång passerar centralstationen. Det innebär 836779 personer.

Antag att 50 % av de som åker inom Kalmar kommun någon gång befinner sig på centralstationen d.v.s. 221879 personer.

Av de regionala resorna i hela länet dras först tågtrafiken bort enligt nedan (då denna information har erhållits separat från SJ, d.v.s. $1000 \times 365 = 365\,000$).
Av resterande antas 10 % någon gång passera Kalmar central.
 $(2267163 - 365\,000) \times 0,1 = 190\,216$ personer.

Totalt innebär det $190\,216 + 221879 + 836779 = 1248874$ personer. Antag att resorna sker jämnt fördelat över ett dygns 16 timmar. Antag att personerna när de är på stationen, befinner sig där 10 minuter: $1\,248\,874 / (16 \times 365 \times 6) = 35$ personer vid varje tidpunkt på stationen.

Stationsområdet bedöms få en area på cirka 40×150 meter = 6000 m^2

Det ger en persontäthet på $35 / 6000 = 0,0058$ personer per m^2 eller en person på 171 m^2 .

Järnvägstrafik förutsättningar

Det sker cirka 10 avgångar och 10 ankommande tåg per dag enligt Ulf Västanfors, SJ.

Beräkning

Antag 50 personer per gång, det innebär 1000 personer.

På fredagar och lördagar är det cirka det dubbla, d.v.s. 2000 personer per dag.

Ovanstående ger ett medelvärde på $(1000 \times 5 + 2000 \times 2) / 7 = 1286$ personer

Antag en extra person för varje som reser vilket innebär $1286 \times 2 = 2571$ personer.

Antag att de befinner sig på stationsområdet 30 minuter varje gång. Tåtgång/anländer mellan kl 05:00 och kl 00:39, d.v.s. 20 timmar per dygn.

Det ger att $2571 / (20 / 0,5) = 64$ personer befinner sig hela tiden utomhus vid stationen.

Området för järnvägsstationen är cirka $70 \times 100 \text{ m} = 7000 \text{ m}^2$. Det innebär $64/7000 = 0,01$ personer per m^2 , d.v.s. en person per 109 m^2 .

Ett medelvärde för busstation och järnväg ger en $(64+35)/(7000+6000) = 0,0076$ personer per m^2 eller en person på 131 m^2 .

B4.4 Parkeringshus

Ett parkeringshus med plats för 100 bilar antas.

Antag 4 personer per bil. Personerna antas parkera bilen och finnas på parkeringshusets område i 30 minuter när de går till och från parkeringen. Parkeringen antas användas 12 timmar per dygn.

$400 \text{ personer} / (12/0,5) = 16$ personer antas finnas i parkeringshusets närhet hela tiden. Parkeringshuset och dess närhet antas uppta ett område på $50 \times 40 = 2000 \text{ m}^2$

Det innebär $16/2000 = 0,008$ personer per m^2 .

B4.5 Hela området

Total persontäthet hela området

Total area aktuellt område: $170 \times 320 + 200 \times 150 + 120 \times 270 = 116800 \text{ m}^2$

Antal personer utomhus dagtid $275 + 40 + 35 + 64 + 16 = 430$

Antal personer nattetid: 10

Det innebär en persontäthet på $0,00368$ personer per m^2 utomhus dagtid och $0,0000856$ personer per m^2 utomhus nattetid.

I den tidigare riskanalysen för Södra vägen är persontantalet framräknat genom att studera antalet personer som bor respektive arbetar inom ett område. Det ger ett personantal för området på ett annat sätt.

På Kvarnholmen var den totala persontätheten 5350 personer per km^2 dagtid
Nattetid var persontätheten 1920 personer per km^2 .

Antagandet gjordes att 20 % av personerna befann sig utomhus dagtid och 5 % nattetid. Det ger följande:

Dag utomhus: $5350 \times 0,2 = 1070$ personer per km^2 , d.v.s. $0,00107$ personer per m^2 , d.v.s. $934 \text{ m}^2/\text{person}$.

Natt utomhus: $1920 \times 0,05 = 96$ pers per km^2 d.v.s. $0,000096$ personer per m^2 .

Ett viktat medelvärde av de två metoderna används i den fortsatta analysen.

Viktningen är utförd med ett konservativt angreppssätt där det högsta värdet ges 70 %:

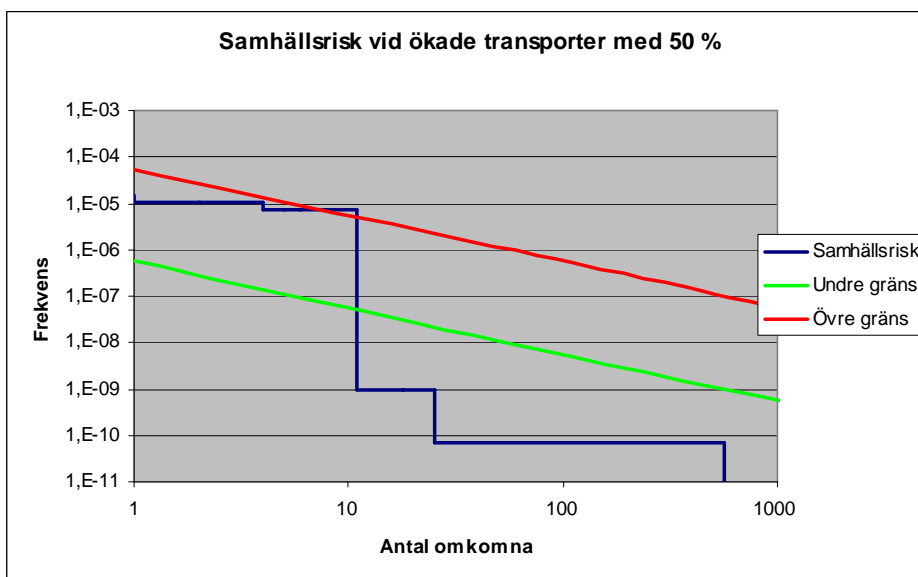
Dag utomhus $0,00368 \times 0,7 + 0,00107 \times 0,7 = 0,002897$ personer per m^2

Natt utomhus $0,0000856 \times 0,3 + 0,000096 \times 0,7 = 0,00009288$ personer per m^2

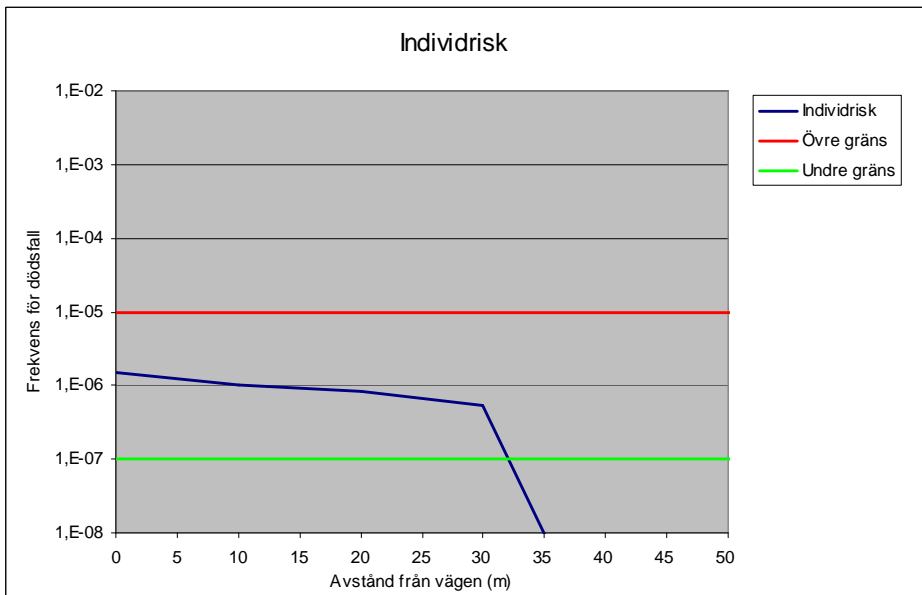
Bilaga 5 – Känslighetsanalys

Två känslighetsanalyser utförs. I den första känslighetsanalysen undersöks hur risknivån förändras om antalet farligtgodstransporter ökar med 50 %. Antalet farligtgodstransporter på sträckan kan i dagsläget anses som en i sammanhanget säker siffra. Anledningen är att fordonen på vägsträckan har ett givet mål eller start plats, d.v.s. Tjärhovet. Därmed är säkerheten i siffran bättre än för till exempel en generell vägsträcka mellan två orter där det är svårare att få fram exakta värden på hur många farligtgodstransporter som utförs. Anledning till att förändringen studeras i känslighetsanalysen är främst för att förändringar i transportmängder kan förändras i framtiden på grund av utökad eller förändrad verksamhet på Tjärhovet.

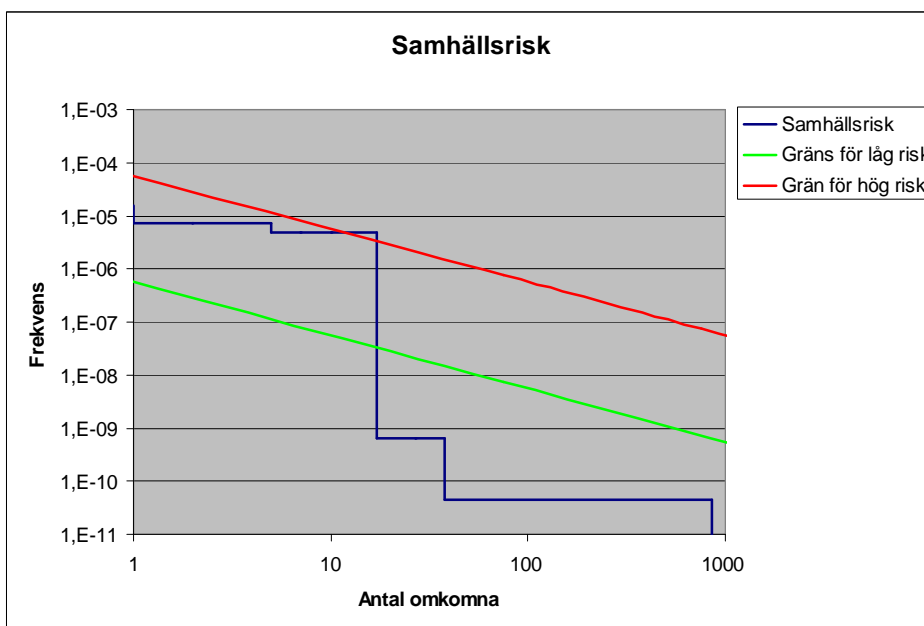
I den andra analysen undersöks hur risksituationen förändras om antalet personer i omgivningen ökar med 50 %. Antalet personer som befinner sig inom ett område är relativt svårt att uppskatta/beräkna. Antalet personer inomhus är enklare att uppskatta än antalet personer utomhus. För att hantera denna osäkerhet undersöks hur en förändring påverkar risksituationen.



Figur B5.1. Figuren visar samhällsrisk vid utökad transport av farligt gods. Samtliga transporter har ökat med 50 %.



Figur B5.2. Figuren visar individrisk vid utökad transport av farligt gods. Samtliga transporter har ökat med 50 %.



Figur B5.3. Figuren visar samhällsrisk om antalet personer i omgivningen ökar med 50 %.

Individrisken förändras inte i och med en ökning av antalet personer i omgivningen. Detta beror på definitionen av individrisk som innebär risken för att en person omkommer om den befinner sig på en punkt i ett år.

Bilaga 6 – Antal farligtgodstransporter

Kontakt har tagits med samtliga aktörer på Tjärhovet för att kartlägga vilka transporter på väg som sker till och från dem. Den farligtgodstransport som sker på vägen utgörs av följande:

Företag	Ämne	Totalt transporterad mängd med lastbil/tankbil
Kalmar lantmän	Myrsyra	24600 liter/år
	Propionsyra	73400 liter/år
	Ammoniumnitrat N34	4500 ton/år
	Gasol	26 transporter per år
Ragnsells	Spillolja	600 ton/år
Statoil	Bensin, diesel, eldningsolja	340 000 m ³ /år
Nynäs	Bitumen	15000 ton/år
	n-paraffin	4000 ton/år
FH Tank Storage	Brandfarlig vätska	29 000 ton/år
	Frätande vätska (lut och ammoniaklösning 25 %)	25 000 ton/år
Stena Reci	Lösningsmedel	52 transporter/år
	Ammoniakvatten 25 %	30 m ³ /vecka

B6.1 Grovanalys

Myrsyra och propionsyra är frätande och brandfarliga. Ämnens frätande egenskaper kan påverka personer i olyckans direkta närhet. Vid en antändning av vätskan kan värmestrålning skada personer inom några tiotals meter. Transport sker i 1000-liters containrar, 200-liters fat och 30-litersbehållare vilket minskar trolig utsläppsmängd om en olycka inträffar. Vätskorna bedöms ej nödvändigt att beakta mer noggrant i den kvantitativa riskanalysen med hänsyn till egenskaper, transportsätt och antalet transporter.

Ammoniumnitrat klassificeras som oxiderande och kan förvärra en uppkommen brand i och med att det avger syre vid upphettning. Ämnet är inte brännbart. Om en olycka endast medför ett utläckage av ämnet föreligger normalt ingen större risk för personer i omgivningen. Explosionsrisk kan föreligga om ämnet exempelvis blandas med ett fordons bränsle. Vid uppvärmning av ämnet utvecklas nitrösa gaser som är giftiga att andas in. En olycka med ämnet bedöms inte relevant att beakta djupare i analysen eftersom det bedöms vara låg sannolikhet att både ämnet och bränslet läcker ut och blandas.

Gasol förvaras tryckkondenserat. Gasen kan ge upphov till alvarliga konsekvenser långt ifrån olycksplatsen vid ett utsläpp varför den beaktas i den kvantitativa analysen.

Brandfarliga vätskor (Spillolja, bensin, diesel och eldningsolja) beaktas i den kvantitativa analysen med hänsyn till att det utförs ett stort antal transporter samt att det kan medföra konsekvenser för personer på planområdet.

Bitumen är inte farligt för personer i omgivningen. Det är klassat som farligt gods endast för att det är transporterats vid temperatur över 100 °C. Därför utreds den ej vidare i den kvantitativa analysen.

N-paraffin klassificeras ej som farligt gods. Därför utreds den ej vidare i den kvantitativa analysen.

Lut och ammoniaklösning är frätande ämnen i ADR-klass 8. Frätskador kan uppstå vid direkt exponering. Vid utsläpp av ammoniaklösning kan dock ammoniakgas avdunsta och spridas med vinden och orsaka skador på personer som befinner sig längre ifrån olyckan. Av denna anledning utreds ammoniaklösningen i den kvantitativa analysen.

B6.2 Förutsättningar och antaganden

En tankbil rymmer 15 m³ och en tankvagn 35 m³. Vid transporter antas 10 % ske endast med tankbil och 90 % med tankbil och släp.

Informationen som erhålls från verksamhetsutövarna ges i vissa fall i vikt och i andra i volym. För omräkning till volym används följande densitet:

Brandfarlig vätska klass 3	0,75 ton/m ³
Ammoniaklösning klass 8	0,9 ton/m ³

Ovanstående ger följande transporterade mängder av respektive ämne:

Brandfarlig vätska	9412 transporter per år
Gasol	26 transporter per år
Ammoniaklösning	395 transporter per år

Bilaga 7 - Strålningsnivå från flamma

I denna bilaga redovisas hur strålningsnivåerna beräknats vid de olika scenarierna.

Flambredd och flamhöjd

En flamma från en pölbrand antas bli lika bred som pölen. Flamhöjden beräknas enligt följande:

$$h_f = d_p \cdot 42 \left[\frac{b'}{\rho_a \sqrt{g \cdot d_p}} \right]^{0.61}$$

där

h_f = Flamhöjd (pölbrand) (m)

d_p = Pöldiameter (m)

b' = Förbränningshastighet per ytenhet vid pölbrand ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$)

ρ_a = Luftens densitet = 1,29 (kg/m^3)

g = Tyngdaccelerationen = 9,81 (m/s^2)

Strålning från flaman

Strålningen per ytenhet från flaman beräknas enligt:

$$P = \frac{0,35 \cdot b' \cdot h_c}{1 + 4h_f / d_f} \text{ W}/\text{m}^2$$

där

P = Strålning (W/m^2)

b' = Förbränningshastighet per ytenhet vid pölbrand = 0,055 ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}^1$)

h_c = Energivärde = 43,7 (MJ/kg^1)

h_f = Flamhöjd (pölbrand) (m)

d_p = Pöldiameter (m)

Värden för b' och h_c för bensen är hämtade ur Kalsson (2000).

Flamtemperatur

Flamtemperaturen beräknas enligt nedan:

$$P_s = \sigma \cdot T^4$$

där

P_s = Strålning från en svart kropp (W/m^2)

σ = Stefan-Boltzmanns konstant = $5,67 \cdot 10^{-8}$ ($\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^4$)

T = Flamtemperatur (K)

Strålningsnivå på olika avstånd från flamma

Strålningsnivån från flaman minskar med avståndet. Detta har att göra med att den utsända strålningen delvis absorberas av luften. Den atmosfäriska transmissionsförmågan beräknas enligt:

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c$$

där

τ_a = Transmissionsförmåga (-)

α_w = Absorptionsfaktor vattenånga (-)

α_c = Absorptionsfaktor koldioxid (-)

Vinkelkoefficienten (F_{\max}) definieras som andelen strålning från en yta som träffar en annan yta. Detta är en geometrisk faktor som kan beräknas för alla typer av ytor och som också påverkar hur stor strålningen blir mot en punkt på ett visst avstånd från flaman. Både transmissionsförmåga samt vinkelkoefficient beräknas med hjälp av diagram i avsnitt 11.1.3 i *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor*, Fischer (1998) vid flamtemperaturen 1200 K. 20 °C och 50 % relativ fuktighet antas vilket ger ett partialtryck för vattenånga (p_w) på 1170 Pa.

Värmestrålningen på olika avstånd beräknas enligt

$$P_{12} = P_1 \cdot \tau_a \cdot F_{12}$$

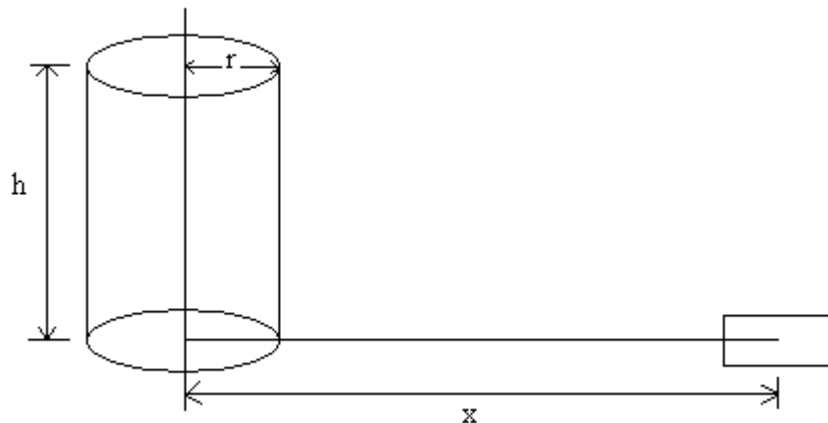
där

P_{12} = Infallande strålning från flamma till punkt (W/m^2)

P_s = Strålning från flaman (W/m^2)

τ_a = Transmissionsförmåga (-)

F_{12} = Vinkelkoefficient för flamma till punkt (-)



Figur B8. Vid strålningsberäkningar förenklas flaman till en cylinder, som strålar mot en punkt enligt figuren. Denna förenkling används vid beräkning av vinkelkoefficient.

Tiden som en individ utsätts för strålning har även den stor del i hur stor skada som individen åsamkas. För beräkningarna antas en exponeringstid på $t = 10$ sekunder innan personen hinner förflytta sig undan strålningen.

Beräkningarna ger följande riskavstånd till andra gradens brännskada:

Stort utsläpp	35 m
Medelstort utsläpp	20 m
Litet utsläpp	9 m

Det antas att samtliga som får andra gradens brännskada avlider. Det är ett konservativt antagande. Antagandet vägs upp av att ingen person som befinner sig inomhus bedöms avlida, även om de befinner sig inom riskområdet.