



Risakanalys transport av farligt gods

Mariestads centrum

2016-12-20

Risicanalys transport av farligt gods

Mariestads centrum

2016-12-20

Beställare: Mariestads kommun
542 86 Mariestad

Beställarens representant: Adam Johansson

Konsult: Norconsult AB
Box 8774
402 76 Göteborg

Uppdragsledare
Handläggare Herman Heijmans
Mia Ivarsson

Uppdragsnr: 104 33 71

Filnamn och sökväg: n:\104\33\1043371\5
arbetsmaterial\riskutredning\dokument\risicanalys mariestad.doc

Kvalitetsgranskad av: Johan Hultman

Innehåll

Sammanfattning	4
1. Inledning	6
2. Risker med transport av farligt gods	8
2.1 Typer av farligt gods.....	8
2.2 Konsekvenser av en olycka med farligt gods	9
3. Platsen	11
3.1 Området 1 Bantorget	11
3.2 Område 2 kvarteret Staren 8.....	12
3.3 Område 3 Stationshuset.....	13
3.4 Område 4 Del av Gamla stan 3:1/Strandvägen.....	13
3.5 Kinnekullebanan	15
3.6 Strandvägen	17
4. Riskbedömning i den fysiska planeringen	20
4.1 Vad är risker	20
4.2 Bedömningsgrunder för risker vid transport av farligt gods.....	22
4.3 Riskhantering.....	24
5. Beräkningsresultat	27
5.1 Område 1 Bantorget	28
5.2 Område 2 Kvarteret Staren 8	29
5.3 Område 3 Stationshuset.....	30
5.4 Område 4 Del av Gamla staden 3:1/ Strandvägen.....	30
6. Osäkerheter i beräkningarna	35
7. Diskussion och slutsatser	37
7.1 Område 1 Bantorget	37
7.2 Område 2 Staren 8	38
7.3 Område 3 Stationshuset.....	38
7.4 Område 4 Del av Gamla stan 3:1/Strandvägen.....	38
7.5 Skyddsåtgärder	40
8. Referenser	41

Bilaga 1: Riskberäkningar för transport av farligt gods på järnväg

Bilaga 2: Riskberäkningar för transport av farligt gods på väg

Sammanfattning

Mariestads kommun planerar för 4 områden i centralt läge. Områdena ligger nära Kinnekullebanan som är transportled för farligt gods. Ett av områden gränsar dessutom till Strandvägen där transporter med farligt gods förekommer. Enligt Länsstyrelsens riskpolicy skall risker med transporter av farligt gods beaktas vid fysisk planering inom 150 m från transportlederna. Mariestads kommun har därför uppdragit åt Norconsult AB att genomföra en riskanalys för områdena som redovisas i denna rapport.

Utifrån Trafikverkets prognos för godstransporter på Kinnekullebanan år 2040 och uppgifter om transporter på Strandvägen har transporterade mängder farligt gods förbi områdena beräknats. Uppgifter från Mariestads kommun för den planerade användningen av områdena har används för att beräkna antalet personer som kan förvänta vistas inom områdena. Risknivåer har sedan beräknats och jämförts med bedömningskriterier. När risknivåerna var högre än vad som kunde accepteras utan skyddsåtgärder har skyddsåtgärder föreslagits. Nedan listas områdena, deras planerade användning och föreslagna skyddsåtgärder.

Område 1 Bantorget: Ny bostadsbebyggelse

Följande skyddsåtgärder föreslås:

- Brandfarliga vätskor skall hindras från att rinna ner mot planområdet.
- Fasaden på byggnaderna riktade mot järnvägen utförs i obrännbart material.
- Friskluftsintag på byggnaderna skall förläggas på tak eller annat skyddat läge i förhållande till järnvägen.
- Byggnaderna skall kunna utrymmas i riktning bort från Kinnekullebanan.

Område 2 Staren 8: Inreda befintlig byggnad för bostäder

Följande skyddsåtgärder föreslås för hela området:

- Brandfarliga vätskor skall hindras från att rinna ner mot planområdet.

För delen som skall byggas om till bostäder föreslås följande:

- Fasaden på byggnaderna riktade mot järnvägen utförs i obrännbart material.
- Friskluftsintag på byggnaderna skall förläggas på tak eller annat skyddat läge i förhållande till järnvägen.
- Byggnaderna skall kunna utrymmas i riktning bort från Kinnekullebanan.

Befintlig bebyggelse för verksamheter och parkeringsplatsen bör kunna vara kvar utan ytterligare skyddsåtgärder men inga byggrätter bör etableras inom 30 m från järnvägen.

Område 3 Stationshuset: verksamhet kvar.

Inga skyddsåtgärder är nödvändiga.

Område 4 Del av Gamla staden 3:1/Strandvägen: parkering samt byggrätt som används till bostäder, hotell eller kontor/verksamheter.

Längs Strandvägen gäller följande:

- Skydd bör anläggas längs vägen som hindrar att brandfarliga vätskor rinner ner mot planområdet.
- Om den eventuella byggrätten placeras på ett avstånd på minst 14 m från vägen krävs inga skyddsåtgärder.

Längs Kinnekullebanan gäller följande i alla alternativ:

- Brandfarliga vätskor skall hindras från att rinna ner mot planområdet.

Om byggrätten etableras och används till hotell eller bostäder gäller dessutom följande:

- Fasaden på byggnaden utförs i obrännbart material.
- Friskluftsintag på byggnaderna skall förläggas på tak eller annat skyddat läge i förhållande till E18.
- Byggnaderna skall kunna utrymmas i riktning bort från Kinnekullebanan.

Används byggrätten till kontor eller verksamheter gäller endast följande:

- Byggnaderna skall kunna utrymmas i riktning bort från Kinnekullebanan.

1. Inledning

Mariestads kommun önskar klarlägga riskerna gällande transport av farligt gods på väg och järnväg i centrala Mariestad. Syftet är att ange förutsättningar för utveckling av 4 angivna områden, se *figur 1*.



Figur 1. De 4 områdena i centrala Mariestad.

Områdets namn och planerad användning redovisas nedan.

- Område 1 Bantorget: Ny bostadsbebyggelse
- Område 2 Staren 8: Inreda befintlig byggnad för bostäder
- Område 3 Stationshuset: verksamhet kvar
- Område 4 Del av Gamla staden 3:1/Strandvägen: parkering samt byggrätt som används till bostäder, hotell eller kontor/verksamheter

Riskfrågorna kring dessa områden behandlas i denna utredning som framtagits av Norconsult på uppdrag av Mariestads kommun. Här behandlas vilka risknivåer som kan uppkomma inom området med den planerade användningen. Riskerna jämförs med kriterier som anger vad som är acceptabla risknivåer och när skyddsåtgärder skall vidtas.

2. Risker med transport av farligt gods

2.1 Typer av farligt gods

Enligt internationella bestämmelser (ADR/RID) delas farligt gods in i nio klasser, se nedanstående *tabell 1*.

Tabell 1. Indelning av farligt gods.

Klass	Innehåll	Exempel
1	Explosiva ämnen	Massexplosiva varor (dvs. sprängämnen), fyrverkerier
2	Komprimerade, kondenserade eller under tryck lösta gaser	Brandfarliga gaser (gasol), giftiga gaser (ammoniak, svaveldioxid) och andra trycksatta gaser (kvävgas, syrgas)
3	Brandfarliga vätskor	Bensin, eldningsolja
4	Brandfarliga fasta ämnen	Kalciumkarbid
5	Oxiderande ämnen	Väteperoxid, ammoniumnitrat
6	Giftiga ämnen och smittfarliga ämnen	Kvicksilverföreningar och cyanider, bakterier, levande virus och laboratorieprover
7	Radioaktiva ämnen	Radioaktiva preparat för sjukhus
8	Frätande ämnen	Olika syror, lut
9	Övriga farliga ämnen och föremål	Asbest

2.2 Konsekvenser av en olycka med farligt gods

Nedan följer en allmän beskrivning av de olika sorters farligt gods som transporteras och potentiella följder av olyckor där farligt gods är inblandat. De förväntade följderna i form av dödsfall avser, om inget annat sägs, personer som vistas utomhus utan skydd.

Konsekvenserna för aktuella klasser beskrivs mera utförligt i *bilaga 1 och 2*.

Klass 1: Explosiva ämnen

En explosion av s.k. massexplosiva ämnen kan ge omkomna upp till ca 100 m från explosionen och byggnader kan raseras på flera hundra meters avstånd. Övriga explosiva ämnen kan, i huvudsak genom raserade byggnader, ge effekter på några tiotal meters avstånd.

Klass 2: Brännbara eller giftiga gaser

Utsläpp av brännbar gas i luft kan antändas direkt och orsaka en s.k. jetflamma. Om gasen inte antänds direkt bildas först ett brännbart gasmoln som sedan kan antändas relativt omgående eller driva iväg och antändas över bebyggelsen. Detta resulterar då i en flash brand (Flash Fire) eller gasmolnsexplosion (Vapor Cloud Explosion). I ytterst sällsynta komplicerade olyckor kan gastanken explodera och bilda ett eldklot, s.k. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion). Risken att omkomma av en jetflamma är vanligtvis liten på avstånd som överstiger 90 meter. Ett gasmoln som driver iväg med vinden kan hamna nära bebyggelsen och orsaka betydande skador vid antändning. En BLEVE kan ge upphov till omkomna på ett avstånd av 150 m.

Klass 3: Brandfarliga vätskor

Om en tank med mycket brandfarlig vätska (exempelvis bensin) skadas rinner bensinen ut och en s.k. pölbrand kan uppstå. Eldningsolja är så svårantändlig att brandrisken är försumbar. Risken att omkomma är som regel liten på avstånd som överstiger några 10-tals meter. Om ett utsläpp av brandfarliga vätskor kan rinna ner mot bebyggelsen finns risk för att en brand uppstår i det bebyggda området. Risken är svårberäknad eftersom den är beroende på områdets topografi och bedöms därför separat i *kapitel 5, Resultat*.

Klass 4: Brandfarliga ämnen såsom svavel, fosfor, karbid.

Dessa ämnen är fasta och skadar endast i olycksplatsens direkta omgivning.

Klass 5: Oxiderande ämnen

Olycka med endast dessa ämnen leder normalt ej till personsador, men om ämnena blandas med olja eller bensin kan det uppstå explosionsrisk och explosionerna kan var lika kraftiga som för ämnen i klass 1.

Klass 6: Giftiga ämnen.

Giftiga ämnen ger mestadels enbart effekter vid direktkontakt.

Klass 7: Radioaktiva ämnen

Dessa ämnen transporteras normalt endast i små mängder på väg och järnväg. Risker att omkomma är därför försumbar.

Klass 8: Frätande ämnen såsom saltsyra, svavelsyra.

Risk för skador är normalt störst inom ca 20 m eftersom skada uppkommer vid direkt exponering på personen.

Klass 9: Övriga farliga ämnen och föremål

Denna klass omfattar bl.a. miljöfarligt avfall dock inga ämnen som är brandfarliga eller explosiva.

3. Platsen

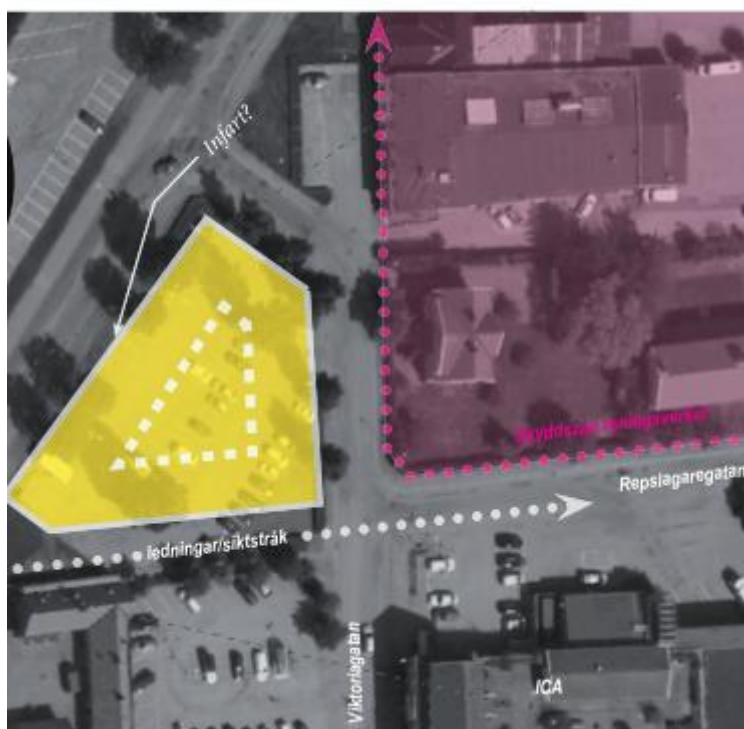
Planområdet ligger i centrala Mariestad och är uppdelat i 4 delområden, se översiktsfotot i *figur 1 i kapitel 1*. I texten nedan beskrivs område 1-4 var för sig.

För varje område har en beräkning genomförts av antalet personer som kan förväntas vistas inom området dagtid respektive nattetid. Dagtid räknas från 06.00 till 18.00, natt från 18.00 till 06.00. Beräkningarna har genomförts utifrån tomtarea, exploateringsgrad och angivet användningsområde.

3.1 Området 1 Bantorget

3.1.1 Beskrivning av området

Område 1 är beläget utmed Bangatan med ett avstånd på ca 45 m från järnvägen, Kinnekullebana, som används för transport av farligt gods. Planerat användningsområden för detta område är flerbostadshus i form av 4 våningar. Om hela området exploateras bör det rymma 40 lägenheter (Mariestad 2016), se *figur 2*.



Figur 2. Planområde 1, Bantorget (Mariestad, 2016)

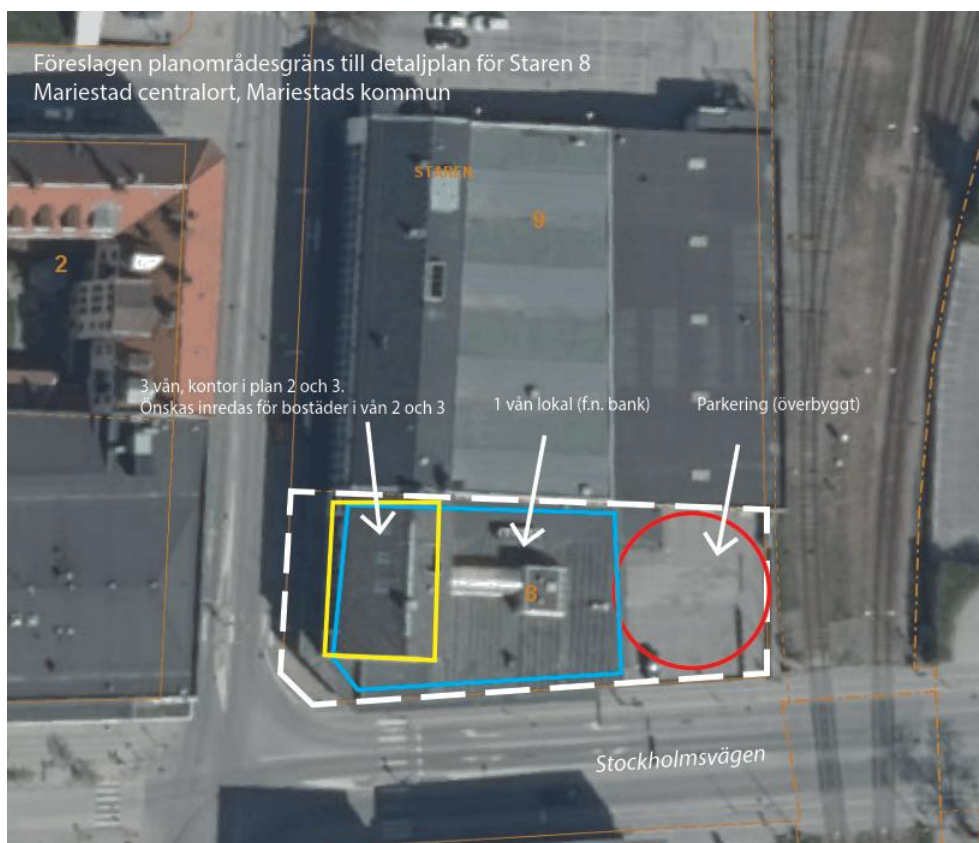
3.1.2 Persontäthet

Inom område 1 planeras boende för ca 40 lägenheter. Enligt SCB bor det i genomsnitt ca 2,1 personer per lägenhet i Sverige (SCB 2012). Detta ger ca 80 boenden inom området. Av dessa cirka 80 personer bedöms hälften (ca 40) befinna i området under dagtid medan alla antas vara närvarande nattetid.

3.2 Område 2 kvarteret Staren 8

3.2.1 Beskrivning av området

Område 2 är beläget i korsningen Nygatan och Stockholmsvägen med Kinnekullebanan i öster. Fastigheten kallas för Staren 8 och omfattar centrumverksamheter såsom bank, kontor, handel mm.



Figur 3. Planområde 2, Staren 8. (Mariestad, 2016)

Ny detaljplan kommer att tas fram för det markerade området i *figur 3* som är södra delen av Staren 8. Planområdets gräns är markerat med vit streckad linje. Banken (blå linje) kommer ha kvar sin verksamhet i markplan, området med kontor (gul linje) skall byggas om till ca 6 mindre lägenheter i våningsplan 2 och 3. Nuvarande

parkering skall enligt programområdet vara kvar, ev bli en överbyggd parkering. Området ligger ca 5 m från Kinnekullebanan. Avståndet från järnvägen till lokalen är ca 23 m och till de planerade bostäderna ca 44 m.

3.2.2 Persontäthet

Utifrån användningen av de olika delarna av området har en uppskattning gjorts av antalet personer inom området samt vistelsetiden under dagtid och nattetid. Enligt Mariestads kommun (Mariestad 2016) arbetar ca 24 personer på banken. i de planerade lägenheterna förväntas det ca 13 boenden varav hälften bedöms vara närvarande dagtid och alla nattetid. Av närvarande personer antas 7 % vara utomhus dagtid och 1 % nattetid. Sammanlagt ca 25 personer inom området dagtid och ca 13 nattetid.

3.3 Område 3 Stationshuset

3.3.1 Beskrivning av området

Området är beläget mellan Nygatan som ligger åt väster och Kinnekullebanan i öster. Områdets längd är ca 60 m och bredd 50 m, *se figur 1*. Det gamla stationshuset ligger 21 m till närmaste spår och 35 m till genomfartsspår. Det mäter ungefär 32 x 15 m. Stationshuset är ett byggnadsminne. Befintlig verksamhet såsom kiosk/café, pakethantering och Västtrafiks kommandocentral skall vara kvar.

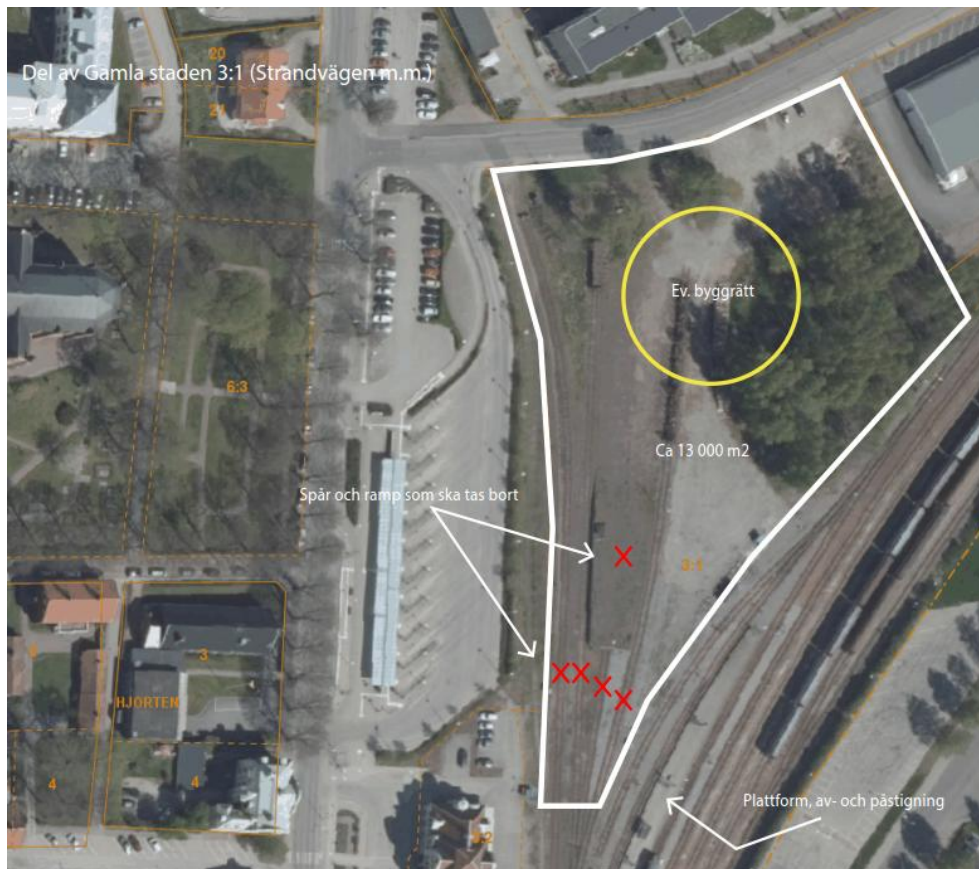
3.3.2 Persontäthet

Enligt Mariestads kommun (Mariestad 2016) arbetar för närvarande ca 10 personer i den verksamhet som bedrivs i Mariestads stationshus. Nuvarande verksamheter kommer vara kvar.

3.4 Område 4 Del av Gamla stan 3:1/Strandvägen

3.4.1 Beskrivning av området

Området är plant och gränsar till spåret vid Kinnekullebanan i sydöst och i norr till Strandvägen, som är sekundär transportled för farligt gods. Den västra delen av området går utmed Nygatan och därefter kommer en bussterminal och ett område med några gamla spår innan den befintliga järnvägen, *se figur 4 nedan*. Den gamla betongplattan och spåren skall tas bort och huvudtanken med området är att etablera pendelparkering/parkeringshus alternativt centrumverksamhet i form av hotellverksamhet i max 4 våningar, kontor eller flerbostadshus i 3-4 våningar. De senare alternativen kombineras med parkeringar för boenden och även annan parkering för övriga besökare till centrum.



Figur 4. Planområde 4, Bantorget (Mariestad, 2016)

3.4.2 Persontäthet

Arean på området är ca 13 000 m² (Mariestad 2016). Den eventuella byggrätten planeras få en BTA på 5000 m² och 3-4 våningar. Resten av området kommer att användas till parkering. Om en byggrätt etableras uppskattas området som kan utnyttjas till parkering till ca 10 500 m². Utifrån de olika användningsområden för området har sedan antalet personer som förväntas vistas där uppskattats.

Antal personer på parkeringen har beräknats utifrån tidigare studier av parkeringsområden i Göteborgs stad (Norconsult 2016) och Stenungsunds kommun (Norconsult 2015:2). Antal personer dagtid uppskattas till 5,4 och antalet personer nattetid till 0,5 i genomsnitt över 12-timmarsperioderna för dag respektive natt.

Uppskattningen för hotellet baseras på 2 tidigare studier där ett hotell i Värnamo kommun respektive Göteborgs stad har studerats (Norconsult 2015:1 och 2016)

som ger ca 40 personer dagtid på hotellet och 113 nattetid. Därtill kommer ca 4,4 personer på parkeringen dagtid och 0,4 nattetid.

Antal personer totalt i de planerade bostäder har beräknats utifrån uppgifter från SCB som anger att personer boende i lägenhet i Mariestad har tillgång till ca 40 m² golvyta i genomsnitt. Alla boenden antas vara närvarande nattetid och hälften dagtid. Därtill kommer samma antal personer på parkeringen som för hotellet.

För kontorsverksamhet har antagits att varje arbetsplats totalt kräver 25 m² golvyta vilket innebär 200 personer. Närvaron har antagits vara 9 timmar av de totalt 12 timmar på dagtid så att det genomsnittliga antalet närvarande utjämnat över dagtid är lika med 150 personer. Samma antal personer på parkeringen tillkommer som för hotellet.

Resultaten sammanfattas i *tabell 2*.

Tabell 2. Uppskattat genomsnittlig antal personer inom utredningsområdet

Användningsområde	Yta (m ²)	BTA byggnad	Uppskattat antal personer	
			dag	natt
Parkering	13 000		5	1
Parkering och hotell	10500	5000	43	113
Parkering och bostäder	10500	5000	60	124
Parkering och kontor/verksamheter	10500	5000	154	0,4

3.5 Kinnekullebanan

3.5.2 Transporterade mängder farligt gods

På Kinnekullebanan förekommer i nuläget inga godstransporter. En framtida upprustning av banan kan dock ändra på det. I Basprognosen för Kinnekullebanan, för 2040 (Trafikverket 2016:1) anges 1 godståg om dagen. Den prognosticerade längden för godstågen är 250 m vilket innebär att varje tåg består av i snitt 12 godsvagnar och ett lok. Detta innebär att ca 4 200 godsvagnar förväntas passera planområdet år 2040.

För att få en uppfattning om vad detta kan innebära avseende transporter av farligt gods används det nationella genomsnittet för andelen farligt gods av den totala mängden godstransporter. Detta räknas ut med stöd av siffror från TRAFAs som varje år samlar in nationell statistik för godstransporter i Sverige (TRAFAs 2016).

Utifrån denna statistik beräknas andelen farligt gods vara cirka 5,8 % av totala antalet godstransporter. Detta innebär ca 240 tågagnar med farligt gods förbi planområdet. Även indelningen av farligt gods i RID-klasser kan göras utifrån TRAFAs statistik, se *tabell 3*.

Tabell 3. Antaget antal transporter av farligt gods i olika klasser år 2040.

Klass	Andel	Antal transporter 2040
1 Explosiva ämnen	0,02 %	0,05
2.1 Brandfarliga gaser	17 %	43
2.2 Ej brandfarliga eller giftiga gaser	0,6 %	1,5
2.3 Giftiga gaser	5,9 %	14
3 Brandfarliga vätskor	23 %	55
4 Brandfarliga fasta ämnen	10 %	24
5 Oxiderande ämnen	23 %	57
6 Giftiga ämnen m m	2,9 %	7,0
8 Frätande ämnen	16 %	39
9 Övriga farliga ämnen	1,0 %	2,5
Totalt		240

För klass 3 har antagits att ca 75 % av transporterade mängder består av mycket brandfarliga vätskor som exempelvis bensin (ÖSA 2004).

För klass 5 räknas endast de oxiderande ämnen med som bedöms kunna leda till en massexplosion. De uppskattas stå för högst en tredjedel av den totala mängden.

Detta ger följande antal transporter i de kategorier som främst bedöms innebära risker för området, se *tabell 4*.

Tabell 4. Farligt gods på Kinnekullebanan 2040 som medför betydande risker för området.

Klass och ämnesgrupp	Antal vagnar 2040
1.1 Massexplosiva ämnen	0
2.1 Brandfarliga gaser	43
2.3 Giftiga gaser	14
3. Mycket brandfarliga vätskor	41
5. Oxiderande ämnen med explosionsrisk	18

I osäkerhetsanalysen i *kapitel 6* görs en bedömning av hur en ökning av transporterna med en faktor 3 kommer att påverka risknivåerna.

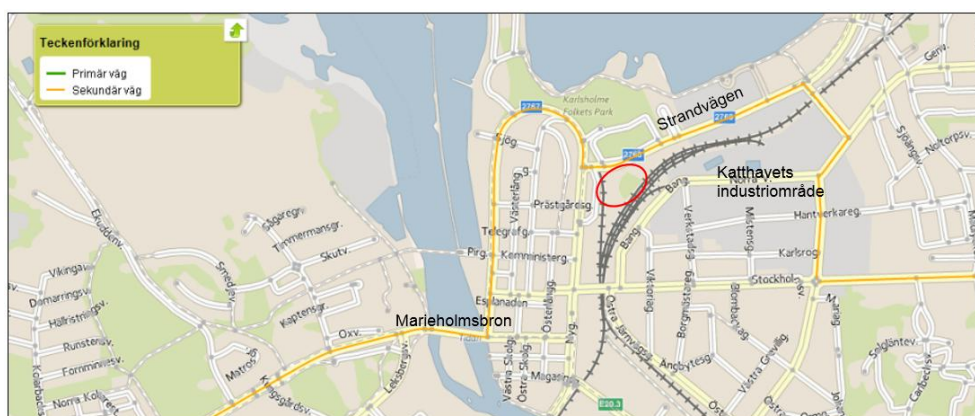
3.5.3 Sannolikhet för olyckor

Sannolikheten för olyckor på den aktuella sträckan av Kinnekullebanan har beräknats med Trafikverket beräkningsmodell (Banverket 2001) till $2,1 \times 10^{-7}$ per vagnkilometer. I beräkningarna har hänsyn tagits till 3 växlar och en plankorsning med bommar i närområdet, se *bilaga 1, figur 3*.

3.6 Strandvägen

3.6.1 Transporterade mängder farligt gods

Av *figur 5* framgår att Hamngatan/Nygatan/Strandvägen är en sk. sekundär transportväg för farligt gods (Trafikverket 2016:2). Detta innebär att vägen endast bör användas för transporter till och från målpunkter längs vägen.



Figur 5. Transportvägar för farligt gods i Mariestad. Röd ring anger läget på område 4 som gränsar till Strandvägen (Trafikverket 2016:2).

Den viktigaste målpunkten i Mariestad är Katthavets industriområde. Transporter dit kommer österifrån då Marieholmsbron har en viktbegränsning på 15 ton (Mariestad 2016), *se figur 6*, och därför inte får trafikeras av transportfordon för farligt gods i bulk som kan väga upp till 40 ton. Endast transporter av farligt gods som styckegods kan förekomma och dessa transporter medför klart lägre risknivåer än de s.k. bulktransporter.



Figur 6. Viktbegränsning för transporter över Marieholmsbron.

Detta innebär att transporter till Katthavets industriområde inte kommer att passera på Strandvägen förbi planområdet. Däremot kommer transporterna till tankstället på marinan i gästhamnen passera där. Antalet transporter dit bedöms vara högst en per vecka i genomsnitt över året med en klar topp under båtsäsongen. Detta innebär totalt ca 50 transporter per år. För att inte underskatta transporterade mängderna antas 100 transporter per år.

3.6.2 Sannolikhet för olyckor på Strandvägen

Sannolikheten för olyckor på Strandvägen fås från Trafikverkets handbok "Effektsamband för transportsystemet" (Trafikverket 2016:3). Risken för olyckor på en väg med en högsta tillåten hastighet på 50 km/h anges till 0,14 olyckor per miljon fordonskilometer och år eller $1,35 \times 10^{-7}$ per fordonskilometer och år.

Andelen singelolyckor på den här typen av väg är ca 15 % (SRV 1996) vilket innebär att det vid 85 % av olyckorna är minst två fordon inblandade. Om det

bortses från olyckor med fler än 2 fordon inblandade, vilket inte påverkar resultatet nämnvärt, så är risken för att ett fordon blir inblandat i en olycka på en 1 km lång sträcka av vägen lika med $1,35 \times 10^{-7} \times (1+0,85) = 2,5 \times 10^{-7}$.

4. Riskbedömning i den fysiska planeringen

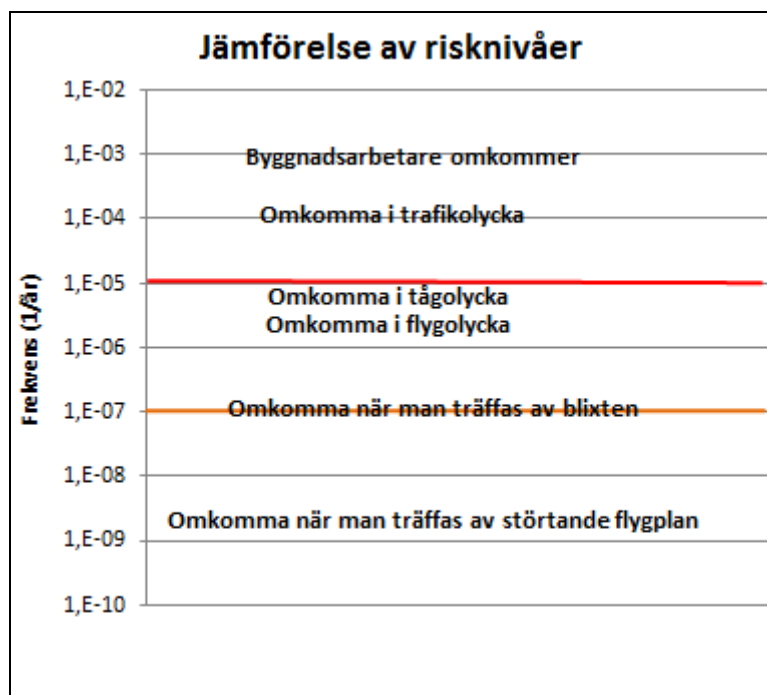
4.1 Vad är risker

Risker beror på att händelser kan inträffa som har oönskade konsekvenser. Viktiga frågor är: ”Hur ofta kan dessa händelser inträffa?” och ”Vad är följderna om den händelsen inträffar?”. Man talar om sannolikheten för en händelse och dess konsekvenser. Risk definieras därför oftast som sannolikheten för oönskade händelser multiplicerat med konsekvenserna av dessa händelser.

Sannolikheten brukar uttryckas som antal gånger en händelse förväntas inträffa under ett år. Detta kan bli ett väldigt litet tal för händelser som inte förväntas inträffa så ofta. En sannolikhet på 0,001 per år innebär att olyckan förväntas ske en gång på 1 000 år. Sannolikheten för olyckor med farligt gods är oftast mycket lägre, exempelvis 0,000 001 per år eller en gång på 1 000 000 år (matematiskt kan detta uttryckas som 1×10^{-6} per år).

En olyckshändelse kan få många olika konsekvenser: materiella skador, miljöskador, skadade personer och omkomna personer. Det är svårt att beräkna skador på miljön, hus och personer. I sådana fall måste man även medta hur svår skadan är. Det är enklare (rent utredningsmässigt) att räkna på antalet personer som omkommer. Därför uttrycks konsekvensen av en olyckshändelse med farligt gods oftast som antalet omkomna. En bakomliggande tanke är att antalet skadade och övriga skador är proportionerligt till antalet omkomna. Även när man sätter kriterier för risknivåer vid transport av farligt gods talar man mest om antalet omkomna.

Risker finns överallt omkring oss. Några risker och deras sannolikheter anges i *figur 7* nedan.



Figur 7. Exempel på vilka risknivåer som finns i samhället. De röda och orangea strecken är kriterier för bedömning av risknivåer och förklaras i *avsnitt 4.2*

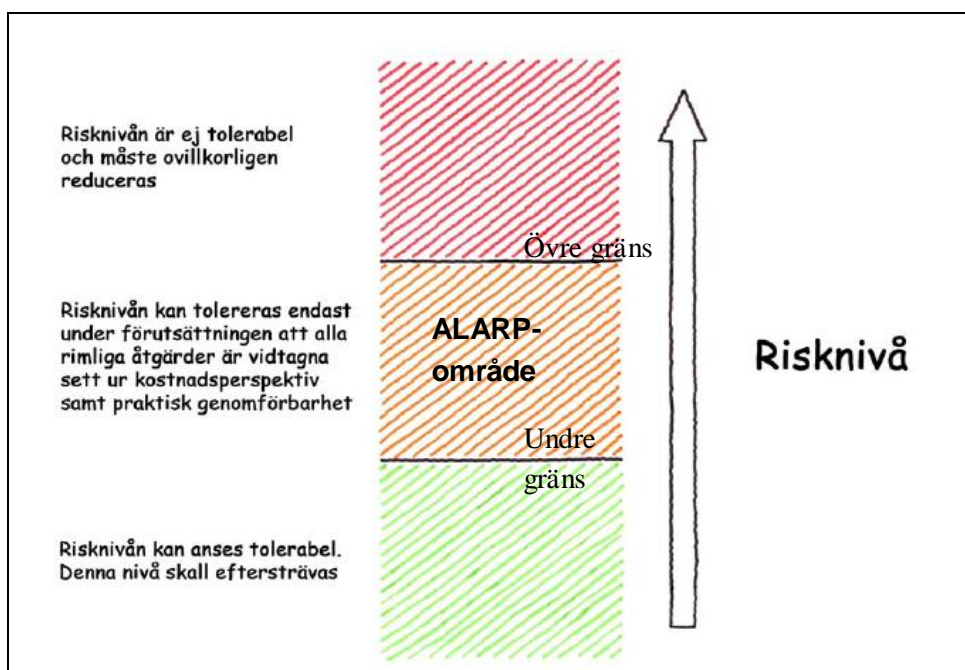
Vid riskutredning för den fysiska planeringen skiljer man på individrisk och samhällsrisk. Individrisken är risken för en person att omkomma i en olycka när han/hon befinner sig på en specifik plats i närheten av en sk. riskkälla. Man utgår från att personen befinner sig på denna plats under ett helt år. Risken uttrycks som risken att omkomma i en olycka under det året. Individrisken är ett mått på hur farligt det är på en viss plats och tar inte hänsyn till hur många människor som kommer att befinna sig på platsen. Individrisken är ett lämpligt mått vid riskbedömning för områden där det endast kommer att vistas ett fåtal människor.

Samhällsrisk är ett mått på hur stora olyckor en riskkälla kan orsaka. Detta beror dels på riskkällans farlighet men även på hur många människor som brukar befinna sig i riskkällans omgivning. Detta mått är användbart om planeringen innebär att många människor kommer att befinna sig inom 150 m från en transportled för farligt gods. Samhällsrisk anges som sannolikheten för olyckor där minst ett visst antal personer omkommer.

4.2 Bedömningsgrunder för risker vid transport av farligt gods

4.2.1 Kvantitativa kriterier för individrisk

I många fall – främst när det inte finns kommunala krav – tas kriterier för vad som kan bedömas vara en acceptabel risknivå från rapporten ”Värdering av risk” som tagits fram på uppdrag av dåvarande Räddningsverket (Räddningsverket ingår numera i Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB) (SRV 1997). I rapporten används en övre och en undre gräns, se *figur 8*. Om den övre gränsen överskrids bedöms risknivån vara så hög att den inte kan tolereras.



Figur 8. Risknivåer och gränserna mellan dem (Rtj Storgöteborg 2004).

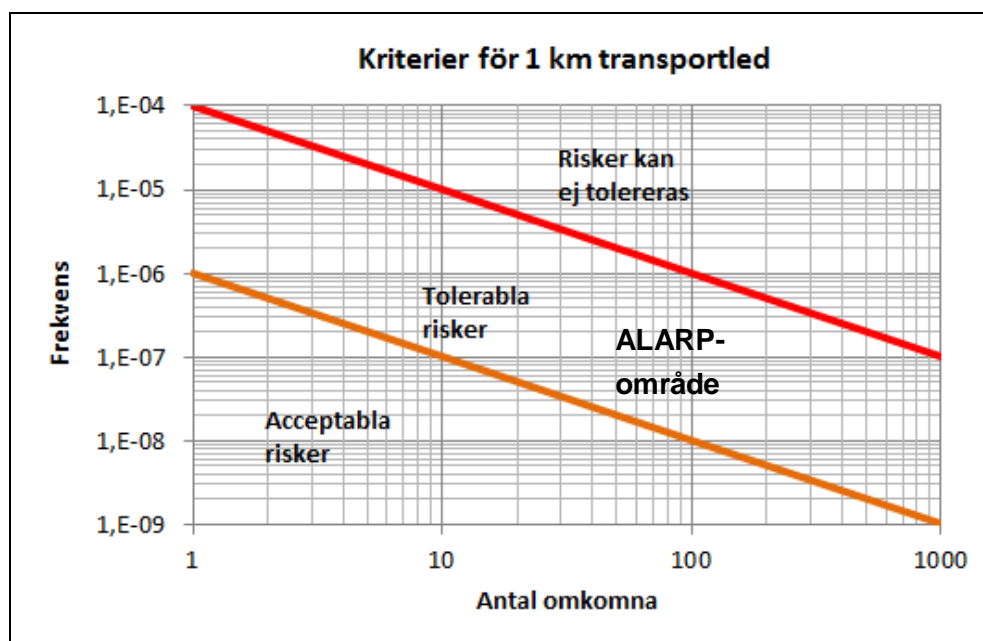
För individrisken ligger den övre gränsen på 1×10^{-5} per år och den undre på 1×10^{-7} per år. Den undre gränsen ligger under risken att omkomma till följd av naturolyckor, vilket innebär att en sådan risknivå inte ger en signifikant påverkan på individens totala risknivå. Om risknivån ligger under denna gräns så anses den vara acceptabel och inga ytterligare åtgärder krävs.

Den övre gränsen motsvarar högst en tiondel av den totala dödsfallsrisken för olika grupper i samhället. Om risknivån ligger över denna gräns så skall åtgärder vidtas och effekten av dessa åtgärder skall verifieras (Lst 2006).

Om risknivån ligger mellan den undre och den övre gränsen, det s.k. ALARP-området så skall alla rimliga åtgärder vidtas för att minska risknivån. Efter detta betraktas risknivån som tolerabel. Beräkningar av effekten av risknivåer krävs normalt inte.

4.2.2 Kvantitativa kriterier för samhällsrisk

Även för samhällsrisk finns det kriterier i ovannämnda rapport. Kriterierna utgår från samhällsriskenivåer för ett område på båda sidor om en sträcka av 1 km längs transportleden för farligt gods, se *figur 9*.

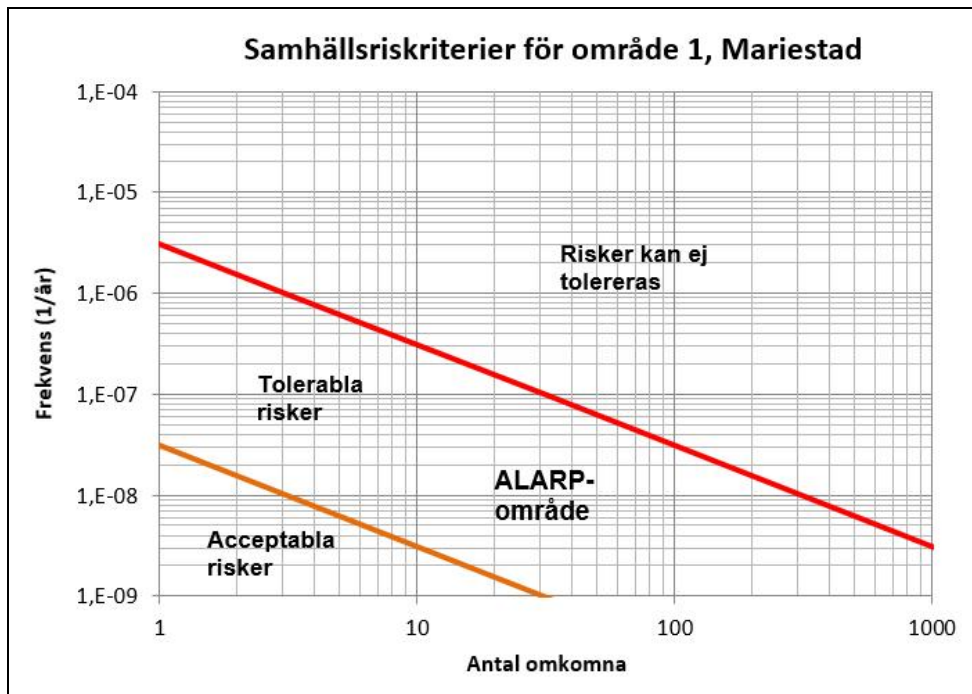


Figur 9. Riskkriterier för dubbelsidig bebyggelse längs 1 km transportled för farligt gods.

Kriterier i *figur 5* innebär till exempel att en olycka med högst en omkommen accepteras högst en gång på 1 000 000 år (orangea linjen). Olyckor med en omkommen kan inte tolereras oftare än en gång per 10 000 år (röda linjen). Olyckor med 10 omkomna kan accepteras om de är så sällsynta som en gång på 10 000 000 år. Om dessa olyckor förekommer oftare än en gång på 100 000 år så kan detta inte tolereras.

När risknivån ligger i det acceptabla området så krävs inga ytterligare åtgärder. Ligger risknivån i området med tolerabla risker (ALARP-område) så skall rimliga skyddsåtgärder vidtas.

Kriterierna ovan gäller för 1 km område längs transportleden. Kriterier för det aktuella området beräknas utifrån områdets längd längs transportleden och att området endast ligger på ena sidan av leden. Omräknade kriterier för område 1 visas i *figur 10*, kriterier för övriga områden har framräknats på samma sätt.



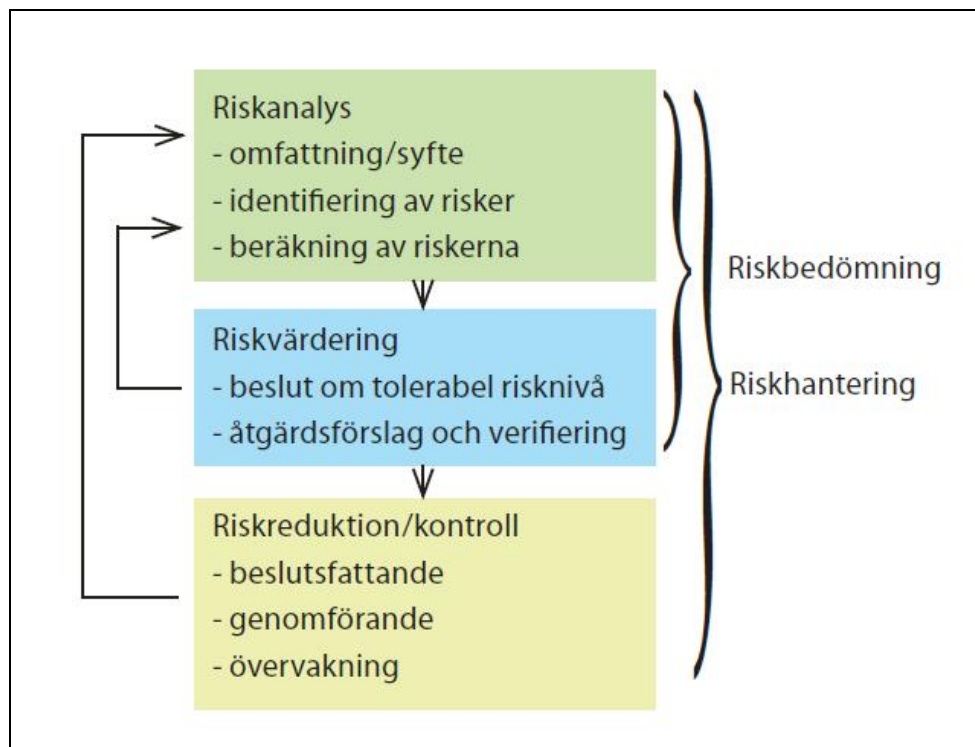
Figur 10. Riskkriterier omräknade till område 1, ca 62 m enkelsidig bebyggelse längs Kinnekullebanan.

4.3 Riskhantering

4.3.1 Metodik vid riskhantering i den fysiska planeringen

Krav på hantering av risker i den fysiska planeringen finns i plan- och bygglagen och miljöbalken. Hälsa och säkerhet skall beaktas så tidigt som möjligt i detaljplaneprocessen. Ofta startar detta arbete redan i programsamrådet för detaljplanen för att sedan bli mera detaljerat i plansamrådet. Riskfrågan bör då vara så pass utredd att den kan utgöra ett beslutsunderlag för att avgöra om risken anses tolerabel eller inte. Slutsatserna från riskbedömningen bör föras in i planhandlingarna. Om riskreducerande åtgärder krävs för att nå en tolerabel risknivå ska dessa om möjligt föras in som planbestämmelser på plankartan. Åtgärder som inte omfattas av detaljplanen bör befästas på annat sätt, till exempel genom avtal.

Riskhanteringsprocessen kan delas upp i tre delar; riskanalys, riskvärdering och riskreduktion/kontroll, se *figur 11* (Lst 2006). I den första delen beräknas riskerna, i den andra delen bedöms de och åtgärder föreslås och i den tredje delen tas beslut om åtgärderna.



Figur 11. Schema över riskhanteringsprocessen (Lst 2006)

I denna rapport genomförs den första delen – riskanalys – samt ges input till den andra delen – riskvärdering genom att riskerna jämförs med kriterier och förslag till åtgärder ges. Själva beslutet om hur riskerna skall värderas och den fortsatta hanteringen tas i kommunen med möjlighet för länsstyrelsen att överpröva beslutet.

Förslag till riskreducerande åtgärder ges redan vid risknivåerna inom ALARP-området, kravet på verifiering av dessa åtgärder aktualiseras normalt inte om risknivåerna underskrider gränsen för det tolerabla.

4.3.2 ALARP-området

ALARP-området är området i riskkriterierna där riskerna är lägre än det som inte kan tolereras men högre än det som kan accepteras utan vidare. ALARP betyder As Low As Reasonably Practicable. På svenska betyder detta att risknivån skall göras så lågt som är praktiskt möjligt när riskerna hamnar i detta område.

Området spänner över en faktor 100 i risknivåer, de lägsta nivåerna inom området är hundra gånger lägre än de högsta nivåerna. Området är så pass stort beroende på den osäkerhet som alltid finns i riskberäkningarna. Ofta anses att osäkerheten i resultaten av en riskberäkning kan vara så högt som en faktor 10, beroende på alla okända faktorer som ingår. Att ha ett brett område där det finns krav på visst hänsynstagande av riskerna säkerställer att inga risknivåer över det tolerabla släpps igenom utan vidare.

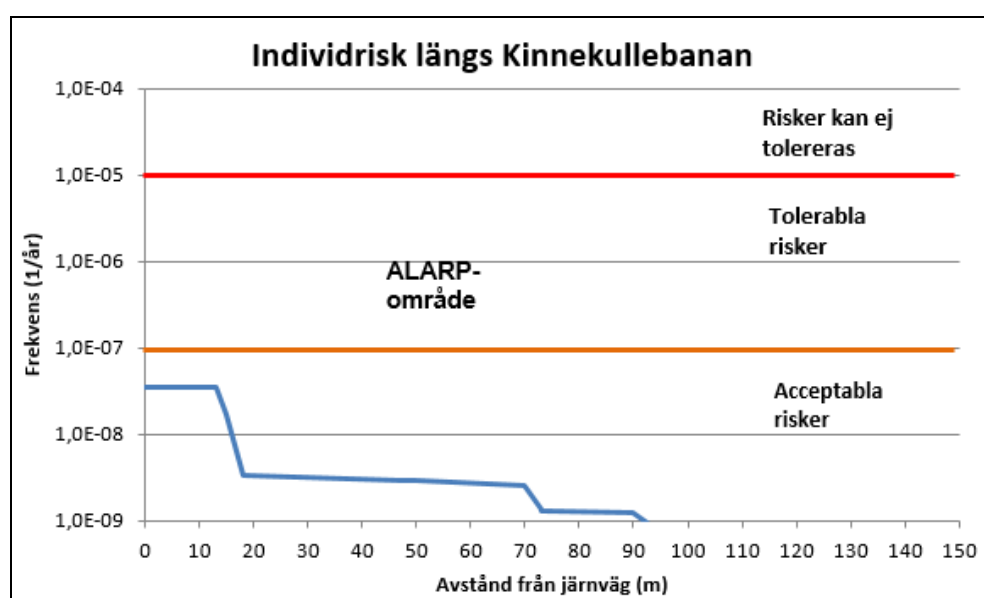
Kraven på skyddsåtgärder inom ALARP-området är att alla rimliga skyddsåtgärder, sett ur kostnadsperspektiv och praktiskt genomförbarhet, är vidtagna.

5. Beräkningsresultat

Resultaten för riskberäkningarna redovisas i detta kapitel utifrån förutsättningarna som redovisas i *kapitel 3*.

Ingångsvärden för sannolikheter och konsekvenser för de möjliga händelseförlopp när en olycka väl inträffat samt beräkningsmetoder redovisas i *bilaga 1 och 2*.

Beräkningsresultaten för individrisk från E18 framgår i *figur 12*. Först redovisas individrisken längs Kinnekullebanan. Risken beror på transporter av farligt gods på banan och är oberoende på utformningen av de 4 områdena som ingår i analysen.



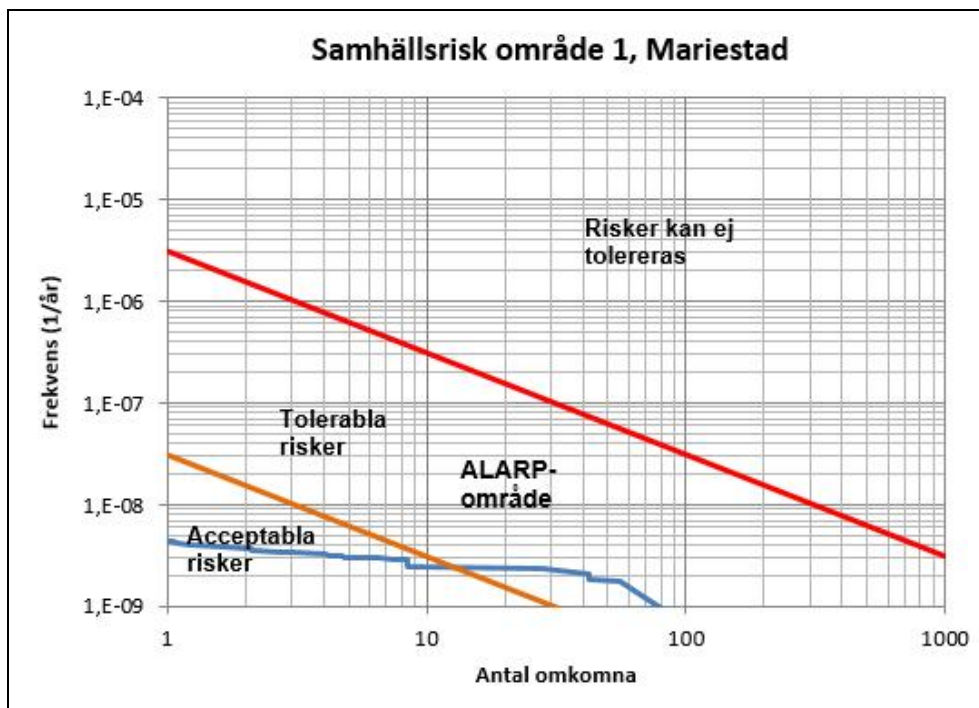
Figur 12. Individrisken längs Kinnekullebanan är acceptabel.

Individrisken längs banan på grund av transporter av farligt gods är acceptabel. Inga krav på skyddsåtgärder ställs därför utifrån individrisken.

Samhällsrisken redovisas för områdena var för sig i följande avsnitt där även ett resonemang om risksituationen inom områdena ges samt för område 4 risken från transporter av farligt gods på Strandvägen.

5.1 Område 1 Bantorget

Den beräknade samhällsrisk för område 1, Bantorget, visas i *figur 13*.

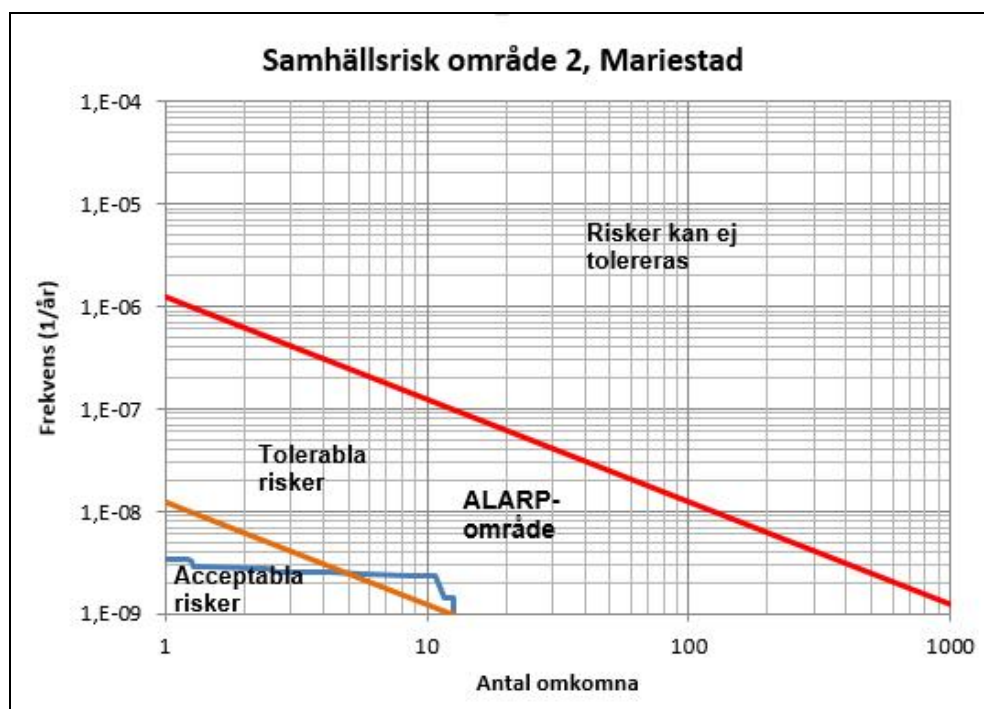


Figur 13. Samhällsrisk för område 1 ligger inom ALARP-området.

Samhällsrisk ligger inom det sk ALARP-området vilket innebär att rimliga skyddsåtgärder bör vidtas innan riskerna kan tolereras, detta behandlas i *kapitel 7*.

5.2. Område 2 Kvarteret Staren 8

Den beräknade samhällsrisk för område 2, kvarteret Staren 8, visas i *figur 14*.

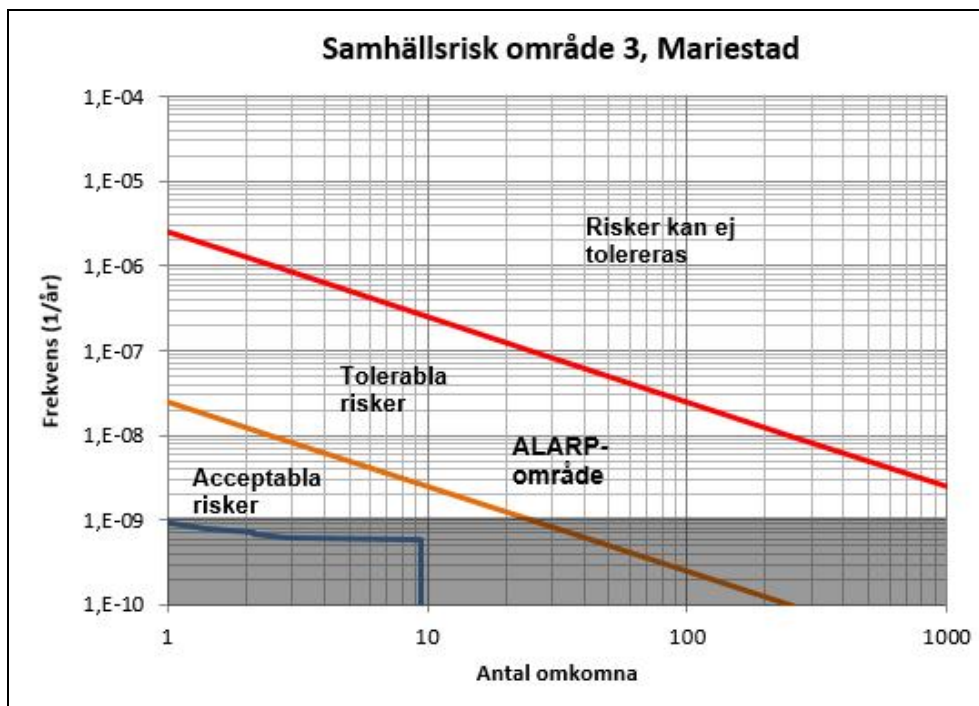


Figur 14. Samhällsrisk för område 2 ligger inom området för tolerabla risker.

Även för område 2 ligger samhällsriskerna inom det sk ALARP-området. Rimliga skyddsåtgärder bör vidtas innan riskerna kan tolereras, detta behandlas i *kapitel 7*.

5.3 Område 3 Stationshuset

Den beräknade samhällsriskens redovisas i *figur 15*.



Figur 15 Samhällsriskens för området ligger inom området för acceptabla risker. Risken ligger på en nivå som vanligtvis inte redovisas och som därför gråmarkerats.

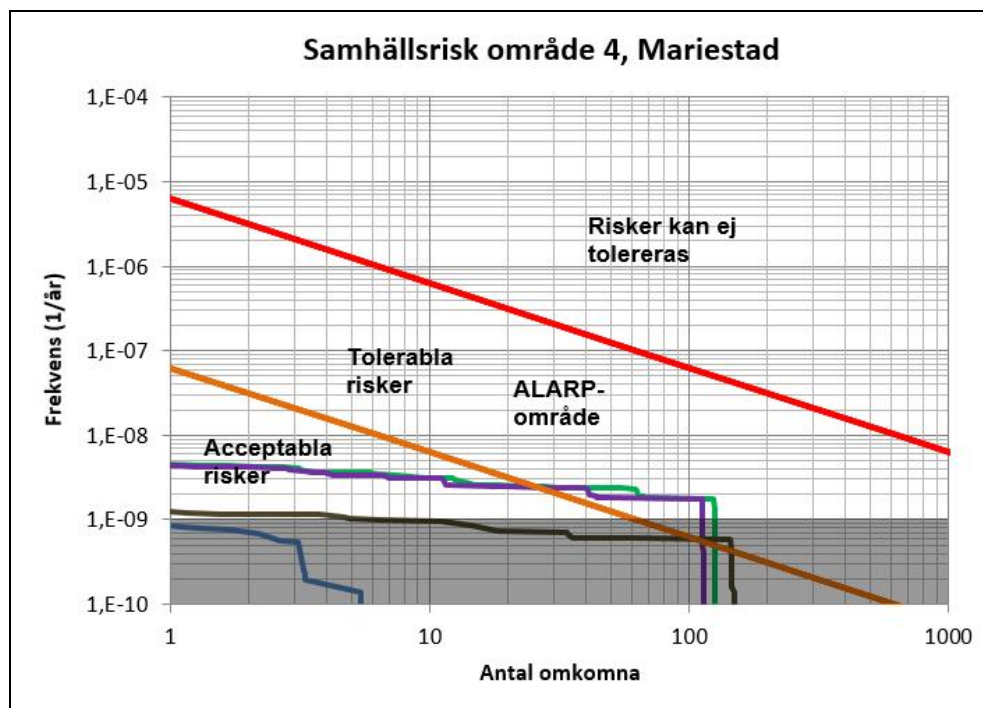
Samhällsriskens för området är acceptabel. Risken ligger dessutom på en nivå som är så låg att den vanligtvis inte redovisas (frekvens lägre än 1×10^{-9} per år). Området har gråmarkerats i *figur 15*. Inga skyddsåtgärder är nödvändiga.

5.4 Område 4 Del av Gamla staden 3:1/ Strandvägen

Området berörs av Kinnekullebanan i sydost och Strandvägen som är sekundär transportleden för farligt gods i norr. Först behandlas riskerna från Kinnekullebanan på samma sätt som för område 1-3. Därefter behandlas riskerna som orsakas av transporter av farligt gods på Strandvägen.

5.4.1 Kinnekullebanan

I figur 16 redovisas beräkningar för samhällsriskerna inom område 4 med olika användningsområden enligt avsnitt 3.4. Avståndet mellan närmaste järnvägsspår och byggrätten har antagits vara 30 m.

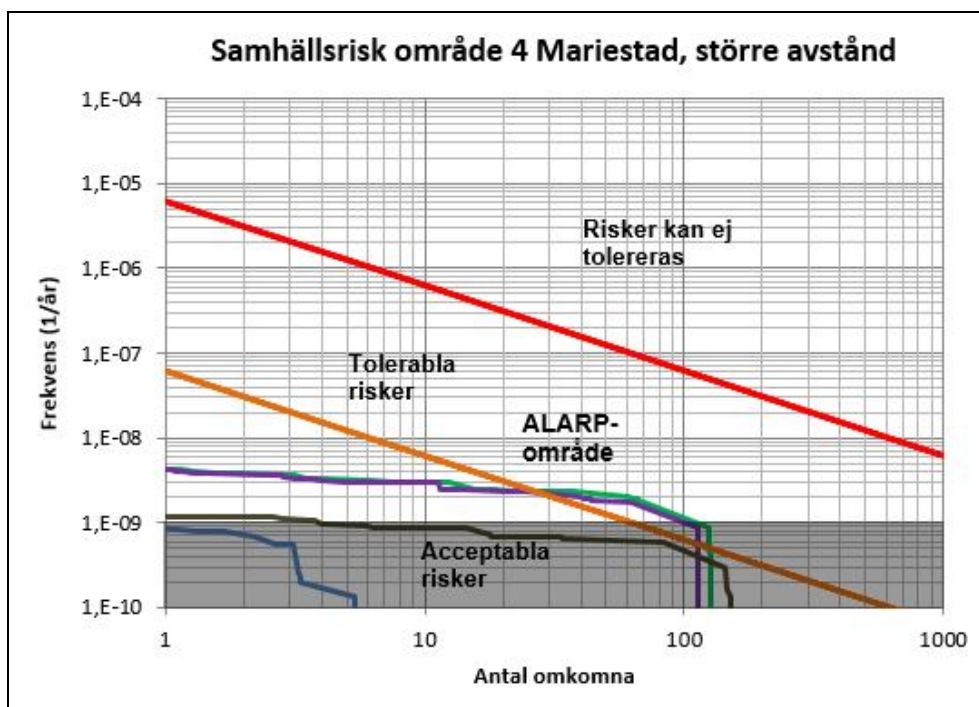


Figur 16. Samhällsriskerna för område 4 med olika användningsområden. Blått = enbart parkering, lila = hotell och parkering, grönt = bostäder och parkering, brunt = kontor och parkering. Risknivåerna ligger inom området med tolerabla risker för alla användningar som omfattar mer än enbart parkering. Riskerna ligger delvis på en nivå som vanligtvis inte redovisas och som därför gråmarkerats.

Samhällsriskerna beräknas vara tolerabel inom planområdet för användningsområdena hotell och bostäder. För kontor ligger risknivåerna på en nivå som är så låg att den vanligtvis inte redovisas (frekvens lägre än 1×10^{-9} per år) och därför kan betraktas som acceptabel. För enbart parkering är risknivån acceptabel.

Ovanstående innebär att det för användningsområdena hotell och bostäder bör undersökas vilka åtgärder som kan vidtas för att minska risknivåerna. Åtgärderna skall vara rimliga sett ur kostnadsperspektiv och praktisk genomförbarhet. Detta görs i kapitel 7.

Då byggrättens avstånd till järnvägen förväntas påverka risknivåerna genomfördes också en beräkning där ett avstånd på 50 m antogs mellan byggrätten och järnvägen. Beräkningsresultatet redovisas i *figur 17*.

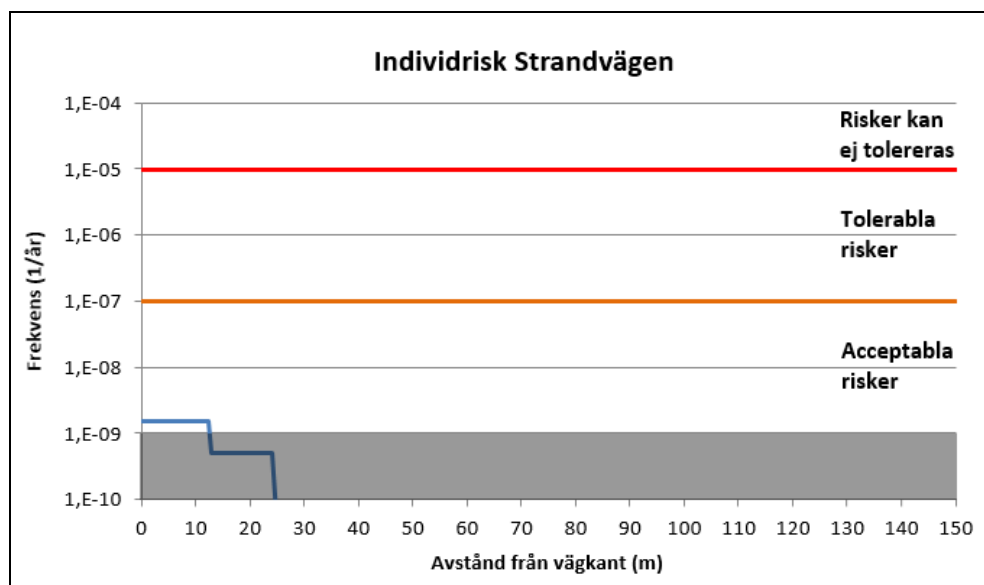


Figur 17. Samhällsrisiken för område 4 med olika användningsområden med större avstånd till järnvägen. Blått = enbart parkering, lila = hotell och parkering, grönt = bostäder och parkering, brunt = kontor och parkering. Risknivåerna ligger inom området med tolerabla risker för bostäder och hotell. Risker ligger delvis på en nivå som vanligtvis inte redovisas och som därför gråmarkerats.

Samhällsrisiken beräknas vara acceptabel inom planområdet för parkering och kontor medan den är tolerabel för hotell och bostäder. Detta innebär att kontorsverksamhet skulle kunna etableras utan vidare skyddsåtgärder på ca 50 m avstånd från järnvägen, för hotell och bostäder bör det även här undersökas vilka åtgärder som kan vidtas för att minska risknivåerna. Åtgärderna skall vara rimliga sett ur kostnadsperspektiv och praktisk genomförbarhet. Detta görs i *kapitel 7*.

5.4.2 Strandvägen

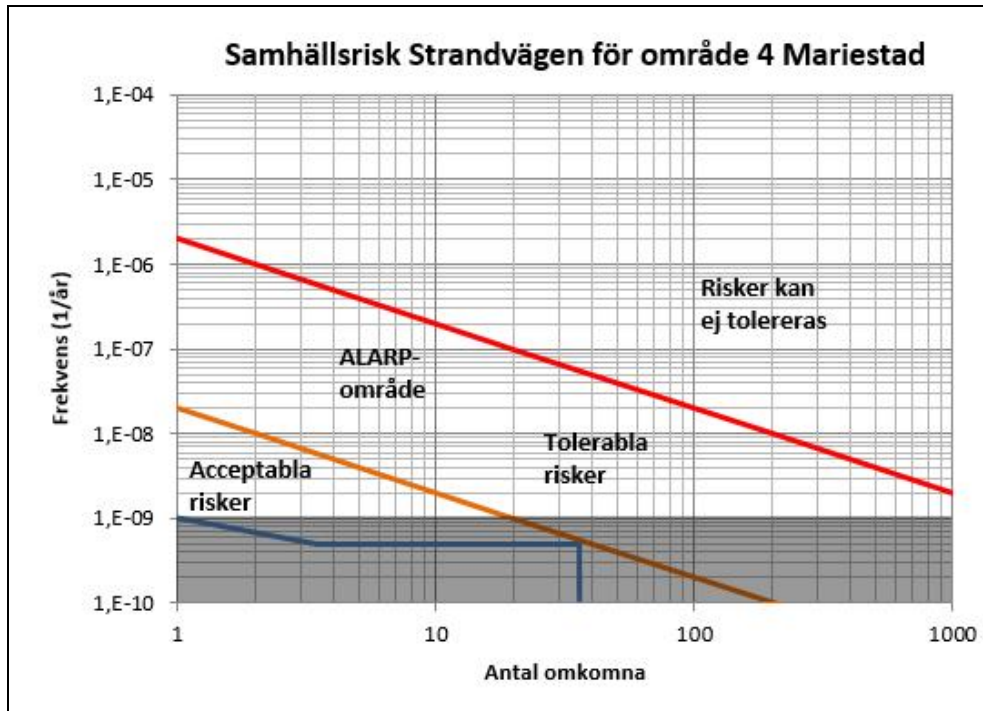
På Strandvägen förbi område 4 transporteras brandfarliga vätskor med tankbil till tankstället på marinen. Vid en olycka där tankarna skadas rinner bränslet ut och om det antänds uppstår en sk pölbrand. Den beräknade individrisiken redovisas i *figur 18*.



Figur 18. Individrisken från transporter av farligt gods på Strandvägen

Figur 18 visar att individrisken från transporter av farligt gods på Strandvägen är mycket lågt, det gråa området brukar vanligtvis inte redovisas då men har här tagits med för ökat tydlighet.

Samhällsrisken har beräknats för den användning av området som förväntas ge högsta risknivåer som är när byggrätten används för kontor eller verksamheter. Orsaken är att detta medför att många personer är närvarande dagtid vilket ger de högsta risknivåerna då även transporter av farligt gods på väg i huvudsak sker dagtid. Beräkningsresultatet visas i figur 19.



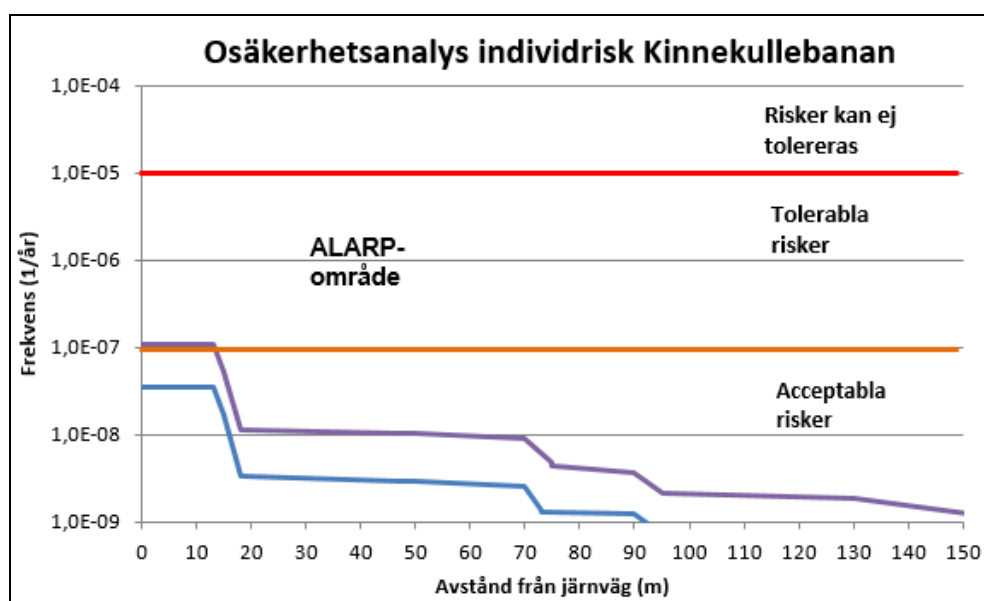
Figur 19. Samhällsrisik för område 4 från Strandvägen.

Vid beräkningarna har ett avstånd av ca 14 m antagits mellan byggrätten och Strandvägen, för parkeringsplatsen har inga särskilda begränsningar antagits. Samhällsrisiknivåerna är låga och ligger dessutom på en nivå som är så låg att den vanligtvis inte redovisas (frekvens lägre än 1×10^{-9} per år). Området har gråmarkerats i *figur 19*.

6. Osäkerheter i beräkningarna

Osäkerhet avseende framtida risknivåer beror generellt på att antalet personer som uppehåller sig inom områdena och antalet transporter av farligt gods kan bli högre än vad som antagits. I dagsläget förekommer inte några transporter med farligt gods på Kinnekullebanan men i beräkningarna antas ett godståg per dag enligt Basprognosen från Trafikverket för Kinnekullebanan 2040. För bullerberäkningar använder Trafikverket en prognos på 3 godståg per dag förbi området. I osäkerhetsberäkningarna används denna siffra för att beräkna hur detta påverkar risknivåerna. Osäkerhetsanalys har genomförts för individ- och för samhällsrisk med en tredubbling av antalet transporter av farligt gods. Syftet med detta är att kunna bedöma om det kan uppstå oacceptabla risknivåer i något av områdena 1-4 med dessa förutsättningar.

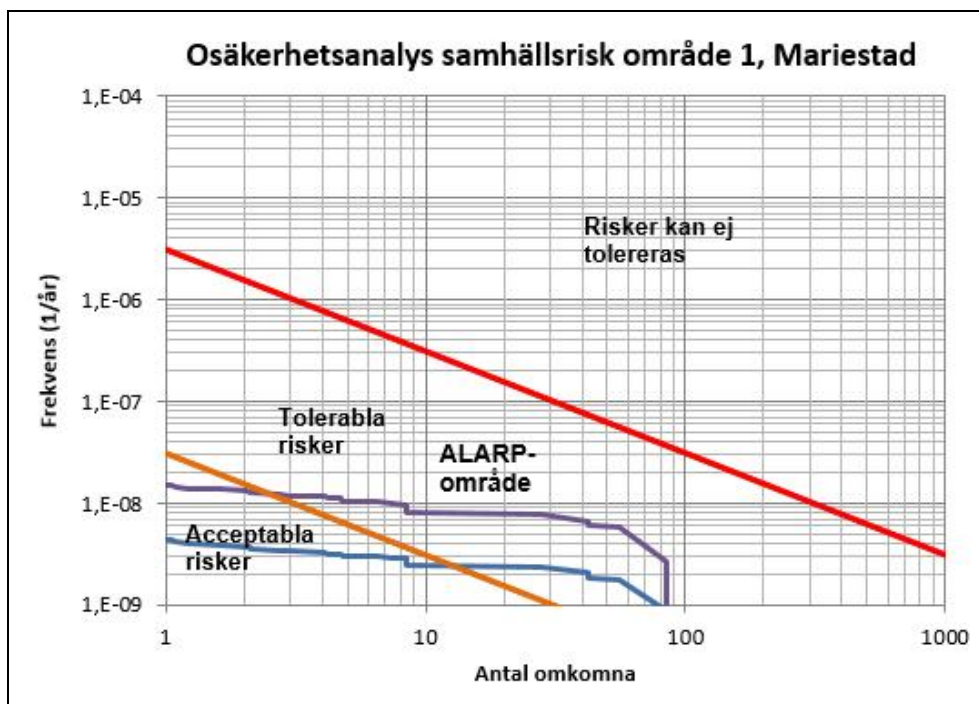
För att begränsa antalet diagram genomförs osäkerhetsanalysen endast för område 1. I figur 20 nedan redovisas resultaten av osäkerhetsanalysen avseende individrisk.



Figur 20 Resultat av osäkerhetsanalysen för individrisken. Vid en tredubbling av antalet transporter med farligt gods förbi området (lila kurva) överskrider nivån för acceptabla risker något upp till ca 15 m från järnvägen.

Upp till 15 m från järnvägen är ligger individrisken på gränsen till ALARP-området.

I figur 21 redovisas resultaten av osäkerhetsanalysen avseende samhällsrisk för område 1.



Figur 21 Resultat av osäkerhetsanalysen för samhällsrisk för område 1. Vid en tredubbling av antalet transporter med farligt gods förbi området (lila kurva) överskrids nivån för acceptabla risker fortfarande men nivån för tolerabla risker överskrids inte.

Samhällsriskerna ökar i figur 21 där den blåa kurvan anger den ursprungliga risknivån och den lila kurvan anger risknivån med 3 gånger så mycket transporter av farligt gods. Som synes ligger risknivån fortfarande i ALARP-området vilket innebär att bedömningen av vilka åtgärder som krävs inte påverkas.

Bedömningen av risksituationen ändras inte på ett betydande sätt om 3 gånger så mycket transporter av farligt gods antas förbi område 1-4. Beräkningsresultaten i kapitel 5 bedöms vara tillräckligt säkerställda för att kunna användas som underlag för behovet av skyddsåtgärder.

7. Diskussion och slutsatser

Riskberäkningar för de 4 områden visar på olika förutsättningar för områdena varför de kommer att behandlas var för sig i detta kapitel.

7.1. Område 1 Bantorget

Individriskan inom området är acceptabel medan samhällsriskan ligger inom det tolerabla området. Osäkerhetsanalysen visar att risknivån ligger kvar inom det tolerabla området (ALARP-området) även vid om antalet transporter tredubblas. Detta innebär att åtgärder skall tas fram som är rimliga sett ur kostnadsperspektiv och praktiskt genomförbarhet, se *avsnitt 4.3.2*.

En faktor som skall tas hänsyn till är att flest personer befinner sig inom området på natten då flest transporter av farligt gods bedöms genomföras. Detta ställer högre krav på genomförda skyddsåtgärder.

Det är scenarier i samband med olyckor med brandfarliga gaser som orsakar överskridandet av kriteriet för tolerabla risker. Nedan följer en beskrivning av dessa scenarier.

Startpunkten för alla scenarier är att en olycka med en tankbil med brandfarlig gas inträffar. Gasen är komprimerad till vätskeform och trycket i tanken är högre än omgivningstrycket. Om tanken med komprimerad gas får en skada kan gasen strömma ut vilket kan leda till flera olika händelseförlopp som alla leder till att brinnande gas når planområdet.

Åtgärder som bedöms rimliga är att fasaden på byggnaden riktad mot järnvägen utförs i obrännbart material. Dessutom skall friskluftsintag förläggas på tak eller annat skyddat läge i förhållande till järnvägen. Alla delar av byggnaden skall dessutom kunna utrymmas i riktning bort från järnvägen.

Åtgärderna bedöms ge en betydande sänkning av samhällsriskan som dock förväntas ligga kvar inom området för tolerabla risker. Åtgärderna skyddar enbart personer som befinner sig inomhus.

- Brandfarliga vätskor skall hindras från att rinna ner mot planområdet.
- Fasaden på byggnaderna riktade mot järnvägen utförs i obrännbart material.
- Friskluftsintag på byggnaderna skall förläggas på tak eller annat skyddat läge i förhållande till järnvägen.

- Byggnaderna skall kunna utrymmas i riktning bort från Kinnekullebanan

När dessa åtgärder genomförts bedöms risksituationen inom planområdet som tolerabel.

7.2. Område 2 Staren 8

Området består av två delar med olika användningsområden. Samhällsrisknivån ligger inom ALARP-området.

För den befintliga delen med kontor och parkering kan konstateras att den delvis ligger inom den 30 m gräns som används av Trafikverket där ny bebyggelse inte skall tillåtas. Risknivån från transporter av farligt gods är inte så höga att områdena inte kan användas som det ser ut idag men det är tveksamt om nybyggnation inom detta område bör tillåtas.

För den delen som skall byggas om till bostäder och som ligger längst från järnvägen gäller samma åtgärdsförslag som i område 1:

- Brandfarliga vätskor skall hindras från att rinna ner mot planområdet.
- Fasaden på byggnaderna riktade mot järnvägen utförs i obrännbart material
- Friskluftsintag på byggnaderna skall förläggas på tak eller annat skyddat läge i förhållande till E18.
- Byggnaderna skall kunna utrymmas i riktning bort från Kinnekullebanan

7.3 Område 3 Stationshuset.

Risknivåerna inom område 3 är acceptabla. En viktig faktor för detta är att området endast används för verksamheter som innebär att personerna huvudsakligen vistas inom området på dagtid då färre transporter av farligt gods förväntas ske. Genom plattformskant hindras brandfarliga vätskor från att nå området och byggnaden är uppfört i obrännbart material. Inga ytterligare åtgärder krävs.

7.4 Område 4 Del av Gamla stan 3:1/Strandvägen

Beräkningar för risknivån från Strandvägen visar att inga särskilda krav ställs på avståndet till parkeringsplatsen och att ett avstånd på 10 m mellan Strandvägen och den eventuella bygggrätten är tillräckligt för att uppnå acceptabla risknivåer från transporter av farligt gods på Strandvägen.

En förutsättning för detta är att brandfarliga vätskor inte kan rinna ner från Strandvägen mot planområdet vid en olycka på vägen vilket kräver att exempelvis ett dike eller lägre vall anläggs längs vägen.

För riskerna från transporter av farligt gods på Kinnekullebanan har 4 olika användningsområden prövats där alla har ett stort inslag av parkering men där tre innebär att en byggrätt med BTA på 5000 m² etableras inom området.

7.4.1 Enbart parkering

Riskenivåerna är acceptabla men parkering bör inte ske närmare än 15 m från järnvägen på grund av risken för att bilar skadas av stenskott från järnvägen om parkering sker närmare än så. Åtgärd bör dock vidtas för att hindra att brandfarliga vätskor rinner ner mot parkeringsplatsen.

7.4.2 Parkering och hotell

Figur 16 och 17 visar att samhällsrisken för denna användning av området ligger inom ALARP-området, såväl vid ett avstånd på 30 m från järnvägen som vid större avstånd. Rimliga åtgärder för hotellet är desamma som för bebyggelsen i område 1 och 2 där också användningsområdet innebär att personer vistas där på natten.

- Brandfarliga vätskor skall hindras från att rinna ner mot planområdet.
- Fasaden på byggnaden utförs i obrännbart material.
- Friskluftsintag på byggnaderna skall förläggas på tak eller annat skyddat läge i förhållande till E18.
- Byggnaderna skall kunna utrymmas i riktning bort från Kinnekullebanan.

7.4.3 Parkering och bostäder

Här är situationen densamma som för användningsområdet hotell. Åtgärderna är också desamma.

- Brandfarliga vätskor skall hindras från att rinna ner mot planområdet.
- Fasaden på byggnaden utförs i obrännbart material.
- Friskluftsintag på byggnaderna skall förläggas på tak eller annat skyddat läge i förhållande till E18.
- Byggnaderna skall kunna utrymmas i riktning bort från Kinnekullebanan.

7.4.3 Parkering och kontor/verksamheter

I det här fallet vistas inga eller få personer inom området nattetid vilket leder till betydligt lägre risknivåerna än vid användning av byggrätten för hotell eller bostäder. Ett avstånd på ca 50 m mellan byggrätten och Kinnekullebanan ger en

situation där risknivån är acceptabel och inga åtgärder är nödvändiga förutom att brandfarliga vätskor skall hindras från att nå planområdet.

Vid avstånd 30 m är risknivån delvis inom ALARP-området men ligger under den nivå som vanligtvis tas med i riskanalyser. Detta gör att endast några åtgärder kan krävas:

- Brandfarliga vätskor skall hindras från att rinna ner mot planområdet.
- Byggnaderna skall kunna utrymmas i riktning bort från Kinnekullebanan.

Åtgärderna nedan kan med fördel genomföras men är inte nödvändiga för att kunna uppnå en acceptabel risknivå.

- Fasaden på byggnaden utförs i obrännbart material.
- Friskluftsintag på byggnaderna skall förläggas på tak eller annat skyddat läge i förhållande till E18.

7.5 Skyddsåtgärder

Byggnader där personer skall övernatta leder till högre risknivåer än byggnader som enbart används på dagen. Detta beror på att transporter av farligt gods genomförs till större del på natten då de inte konkurrerar med persontransporter om utrymmet på banan. Kraven på skyddsåtgärder är därför högre för bostäder eller hotell än för kontor och andra verksamheter längs järnvägen. Medan kontor och verksamheter kan få finnas med endast några få skyddsåtgärder är därför kraven hårdare för bostäder och hotell-verksamheten.

Norconsult AB
Väg och Bana/Trafik

Norconsult AB
Mark och Vatten/Risk och Säkerhet

Herman Heijmans
herman.heijmans@norconsult.com

Mia Ivarsson
mia.ivarsson@norconsult.com

8. Referenser

- Banverket 2001 Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Banverket Miljösektionen Rapport 2001:5; 2001-10-22.
- Lst 2006 Riskhantering i detaljplanprocessen, Länsstyrelserna Skåne län, Stockholms län och Västra Götalands län, september 2006.
- Mariestad 2016 Uppgifter från Mariestads kommun förmedlade av Adam Johansson, planarkitekt Mariestads kommun, december 2016
- Norconsult 2015:1 Detaljplan för Refugen 1 m.fl. Värnamo kommun. Riskanalys transport av farligt gods, tankstation och gasstation. Norconsult 2015-05-18.
- Norconsult 2015:2 Jörlanda-Berg 1:66 mfl, Stenungsunds kommun. Riskutredning avseende transport av farligt gods och bensinstation. Norconsult 2015-11-30
- Norconsult 2016 Detaljplan för Nöjespark och hotell söder om Liseberg inom stadsdelen Krokslätt m.fl. i Göteborg. Riskanalys för transport av farligt gods 2016-11-21
- Rtj Storgöteborg 2004 Riktlinjer för riskbedömningar, Räddningstjänst Storgöteborg 2004.
- SCB 2012 Genomsnittlig bostadsarea per person efter region, hushållstyp boendeform och år. SCB 2012.
- SRV1997 Värdering av risk; FoU rapport, Räddningsverket 1997.
- TRAFÄ 2016 Bantrafik 2015, Statistik 2016:18, Trafikanalys, Sveriges statistiska centralbyrå och Trafikverket, 2016-06-08
- Trafikverket 2015 Effektsamband för transportsystemet – Fyrstegsprincipen Steg 3 och 4, Bygg om eller bygg nytt

Trafikverket 2016:1	E-post från Sarah Vo, samhällsplanerare Trafikverket region Väst, 2016-11-21
Trafikverket 2016:2	Uttag från NVDB (Nationella Vägdatabanken) 2016-04.
ÖSA 2004	Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen; Øresund Safety Advisers AB, 2004

Bilaga 1

Riskberäkning för transport av farligt gods på järnväg

Innehåll

1. Inledning	2
1.1 Beräkningsmetod.....	2
1.2 Ingångsdata till scenarieberäkningar	5
2. Scenarierna.....	9
2.1. Scenarier med sprängämnen, klass 1.	9
2.2 Scenarier med brandfarliga gaser, klass 2.1	18
2.3 Scenarier med giftiga gaser, klass 2.3.....	24
2.4. Scenarier med mycket brandfarliga vätskor, klass 3.1	27
2.5. Scenarier med oxiderande ämnen, klass 5.1	30
3. Beräkningsresultat.....	35
4. Referenser.....	39

1. Inledning

1.1 Beräkningsmetod

1.1.1 Inledning

Riskberäkningsmetoden kan delas upp i fyra steg.

1. Beräkning av sannolikhet för olyckor med olika ämnen
2. Beräkning av sannolikhet av olika scenarier utifrån händelseträäd
3. Beräkning av konsekvenserna av dessa scenarier avseende antalet omkomna utomhus och inomhus
4. Sammanräkning av resultaten som individrisk och samhällsrisk

Alla beräkningar genomförs i excelblad. Dessa excelblad finns för insyn för myndigheterna och endast vissa utdrag publiceras här.

Sannolikheter och effektområdets storlek har, för klass 2.1, klass 2.3 och klass 3 tagits från den nederländska beräkningsmetoden RBMII som är en av den nederländska staten godkänd metod för riskberäkning vid transport av farligt gods utifrån de modeller som presenteras i den s.k. Gula Boken: Methods for the calculation of Physical Effect due to releases of hazardous materials (liquids and gases) (PGS2 2005) och Lila Boken: Guidelines for Quantitative Risk Assessment (PGS3 2005). En bra beskrivning av utgångspunkter och parameterar hittas i del 2 av PGS3 som behandlar riskanalys för transport av farligt gods.

För klass 1.1 och klass 5.1 anges mera i detalj hur sannolikheterna och effektområdets storlek har beräknats.

1.1.2 Sannolikhetsberäkning

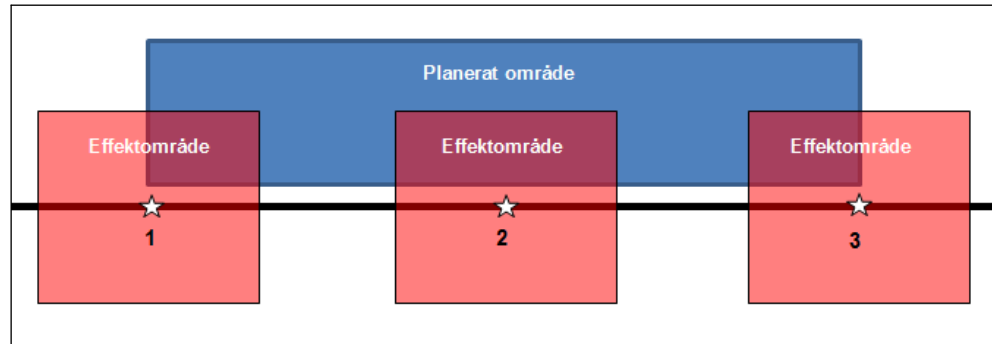
Olycksrisken för tåg beräknas enligt den av Banverket (numera en del av Trafikverket) angivna metod (Banverket 2001).

Antal transporter med olika klasser farligt gods ger sedan antalet olyckor med transporter av olika klasser farligt gods per kilometer. Beräkningsresultaten för dessa olyckor finns i *figur 4*. Att sannolikheten beräknas per kilometer beror på att sträckan som skall användas i sannolikhetsberäkningar varierar beroende på vilket scenario som är aktuellt.

Antal transporter med olika klasser farligt gods ger sedan antalet olyckor med transporter av olika klasser farligt gods per kilometer. Beräkningsresultaten för dessa olyckor finns i *figur 5*. Att sannolikheten beräknas per kilometer beror på att

vägsträckan som skall användas i sannolikhetsberäkningar varierar beroende på vilket scenario som är aktuellt

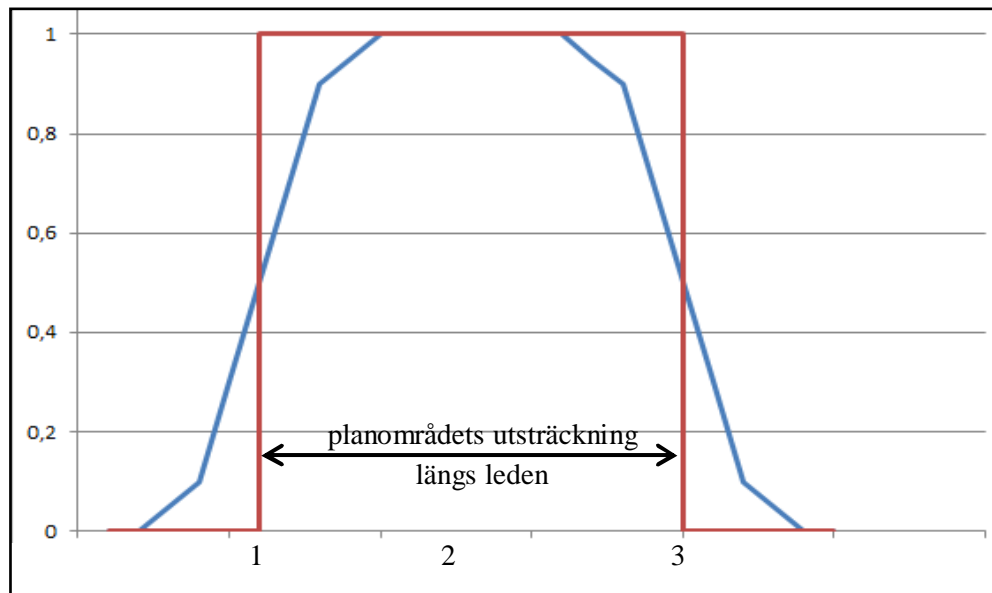
För samhällsriskén förklaras detta i *figur 1 till 3* nedan.



Figur 1. Tre olika lägen för en olycka med farligt gods med effektområde mindre än det planerade området..

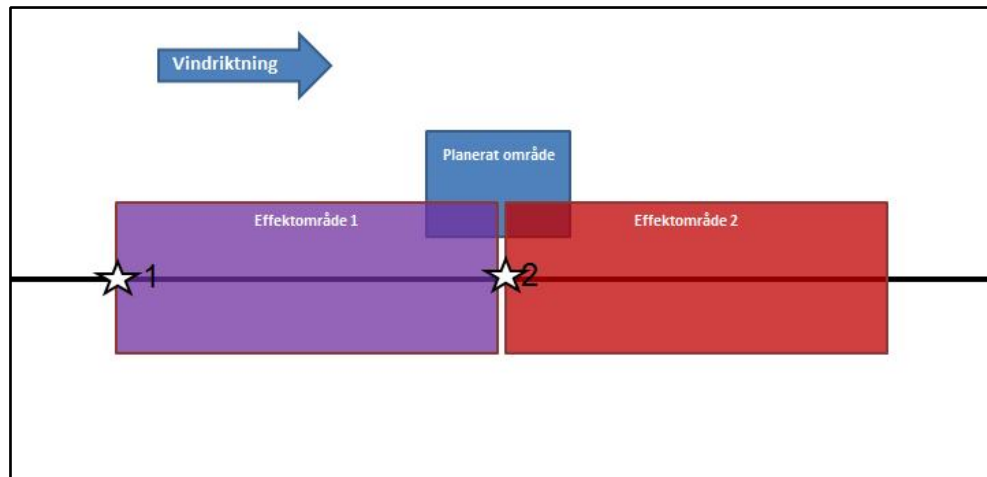
Tre lägen för olyckor visas. I läge 1 drabbas området av halva effekten, i läge 2 av hela effekten och läge 3 åter av halva effekten. Till vänster om läge 1 och till höger om läge 3 drabbas området av mindre än halva effekten. Detta förenklas till att området drabbas av hela effekten (som i olycksplats 2) för alla olyckslägen mellan 1 och 3. Olyckor utanför denna sträcka tas däremot inte med i beräkningen.

Approximationen förtydligas i *figur 2* nedan.



Figur 2. Förenkling av effekten av olyckor med farligt gods.

Om effektområdets längd utmed leden är större än planområdets längd utmed leden så är det effektområdets längd som är utgångspunkten. Detta visas i *figur 3* som visar effektområdet för exempelvis ett gasmoln som blåses av vinden längs med järnvägen. Om olyckan sker mellan läge 1 och läge 2 så antas området drabbas av effekten. Avståndet är lika med effektområdets utsträckning längs leden.



Figur 3. Två olika lägen (lila resp röda effektområdet) för en olycka med farligt gods (gas i detta fall) med effektområde större än det planerade området.

Vid individriskberäkningar bestäms sannolikheten för olyckor alltid av effektområdenas utsträckning längs leden.

Sannolikheten att en olycka leder till ett utsläpp av betydelse (>100 kg) för klass 2.1, 2.3, 3 och 5.1 har tagits från RBMII.

Händelseträden för klass 1.1 och klass 5.1 förklaras i nästa kapitel vid aktuella scenarier

Händelseträden för klass 2.1, 2.3 och 3 har tagits från RBMII. Programmet skiljer på sannolikheten för olika händelseförlopp beroende på om tågets hastighet är större eller mindre än 40 km/h. Därför presenteras två händelseträdd för var och en av klasserna 2.1, 2.3 och 3. Även i händelseträden för klass 1.1 och 5.1 används uppgifter från RBMII så även där presenteras händelseträdd för hastigheter större och mindre än 40 km/h.

1.1.3 Konsekvenser

Konsekvenserna beräknas med hjälp av effektområden för scenarier för ämnen i klass 2.2, 2.3 och 3. För ämnen i klass 1.1 och 5.1 används en något annorlunda metod som förklaras vid dessa scenarier.

Effektområden har tagits från den nederländska metoden RBMII som är föreskriven metod i Nederländerna vid denna sorts beräkningar. Effektområden har förenklats till att vara rektangulära. Storleken på dessa effektområden är generellt något större än på de effektområden som används i RBMII vilket leder till mera konservativa beräkningar.

I vissa fall finns det skäl att använda två effektområden i ett scenario. Detta är fallet då effekten av olyckan endast avklingar långsamt som exempelvis för olyckor med giftiga gaser i klass 2.3. För många scenarier avklingar effekten ganska snabbt från att alla omkommer till att nästan inga omkommer. I dessa fall används endast ett effektområde vars storlek har utökats för att även täcka de delar där endast en del av de närvarande omkommer.

Vindens påverkan tas med för de effekter som beror på vindriktningen. Alla vindriktningar mot området samlas till en vindriktning lodrätt från leden mot området. Vindriktningar längs leden beaktas också då vissa scenarier ger plymer längs leden som påverkar närmast leden.

Antalet omkomna i ett scenario beräknas utifrån ytan på området där scenariot påverkar, antal personer som befinner sig ute och inne inom detta område samt andelen av dessa som omkommer.

1.2 Ingångsdata till scenarieberäkningar

Olycksrisken för tåg beräknas enligt den av Banverket (numera en del av Trafikverket) angivna metod (Banverket 2001). Resultaten av beräkningen av olycksrisk per kilometer och år för de olika klasser farligt gods framgår av *figur 4 och 5*. Transporter av gods på järnvägen sker i stor utsträckning på natten då det finns bättre utrymme på banan pga. färre persontransporter. Utifrån en tidigare undersökning av fördelningen av godstransporter på Västra Stambanan antas att 25 % av godset transporteras dagtid och 75 % nattetid.

I *figur 5* framgår beräkningarna av persontäthet inom område 1 och i den delen av området som ligger närmast järnvägen (rad 1). Av platsskäl redovisas endast beräkningarna för område 1, beräkningarna för område 2-4 har genomförts på samma sätt.

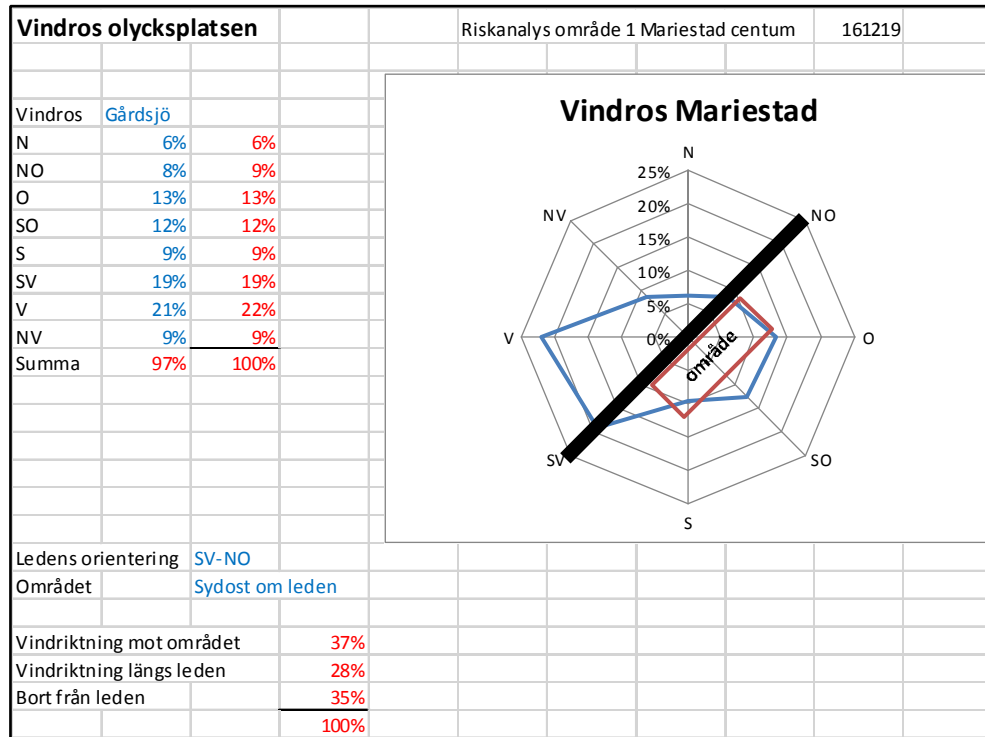
Ingångsdata 1(2)		Riskanalys område 1 Mariestad cent		161219	
Beräkning av olycksfrekvens enligt Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Banverket 2001:5					
Ingångsdata					
Sträcka	1	km	Färgernas betydelse:		Fylls i
Vagnaxel/vagn	2,75				Standard
Tåglängd	50	m			Beräknas
Vagnlängd	20	m			
Godståg/dag	1				
Persontåg/dag	18				
Längd godståg	250	m			
Längd persontåg	60	m			
Antal vagnar/tåg	2,5				
Antal tåg/dag	19				
Antal tåg/år	6935				
Antal tåg/v	133				
Antal växlar	3				
Plankorsn. bommar	1				
Plankorsn. ljus	0				
Plankorsn. Kryss	0				
Vagnaxelkm/år	4,8E+04				
Vagnkm	1,7E+04				
Beräkning olycksrisken					
		Intensitet		Frekvens	
Orsak	Parameter	Spårklass A	Spårkl. B o C	Spårklass A	Spårkl. B o C
Rälsbrott	Vagnaxelkm	5,0E-11	1,0E-10	2,4E-06	4,8E-06
Solkurva	Spårkm	1,0E-05	2,0E-04	1,0E-05	2,0E-04
Spårlägesfel	Vagnaxelkm	4,0E-10	4,0E-10	1,9E-05	1,9E-05
Växel sliten	Antal tågpassager	5,0E-09	5,0E-09	1,0E-04	1,0E-04
Växel ur kontroll	Antal tågpassager	7,0E-08	7,0E-08	1,5E-03	1,5E-03
Vagnfel	Vagnaxelkm	3,1E-09	3,1E-09	1,5E-04	1,5E-04
Lastförskjutning	Vagnaxelkm	4,0E-10	4,0E-10	1,9E-05	1,9E-05
Plankorsn. bommar	Antal tågpassager	5,0E-08	5,0E-08	3,5E-04	3,5E-04
Plankorsn. ljus	Antal tågpassager	1,5E-08	1,5E-08	0,0E+00	0,0E+00
Plankorsn. Kryss	Antal tågpassager	2,0E-08	2,0E-08	0,0E+00	0,0E+00
Annan/okänd	Tågkm	2,0E-07	2,0E-07	1,4E-03	1,4E-03
Summa	Olyckor per år/km			3,5E-03	3,7E-03
Antal tågkm/år				6,9E+03	6,9E+03
Olyckor per tågkm, år				5,0E-07	5,3E-07
Antal vagnkm/år				1,7E+04	1,7E+04
Olyckor per vagnkm, år				2,0E-07	2,1E-07

Figur 4. Ingångsvärden riskberäkning järnväg

Ingångsdata 2(2)		Riskanalys område 1 Mariestad cent		161219	
Beräkning olycksrisken per klass, dag tid och nattetid					
	antal vagnar totalt	antal vagnar dagtid/år	olycksrisk dagtid/km ,år	antal vagnar natt/år	olycksrisk natt/km,år
Klass 1, massexplosiv	0,0	0,0	0,0E+00	0,0	0,0E+00
Klass 2.1	43	10,8	2,2E-06	32,3	6,5E-06
Klass 2.3	14	3,5	7,0E-07	10,5	2,1E-06
Klass 3, bensin	41	10,3	2,1E-06	30,8	6,2E-06
Klass 5.1, explosionsrisk	18	4,5	9,0E-07	13,5	2,7E-06
Beräkning antal vagnar med mkt brandfarliga vätskor per godståg					
antal godståg	365				
andel m bensinvagnar	11%				
Områdesinfo					
Områdets storlek					
	Inne	Ute			
Planområdets avstånd le	45	45	m		
Planområdets bredd	40	40	m		
Planområdets längd	62	62	m		
Befolkningstäthet					
	Dag				
	Inne	Ute			
Befolkning inne +ute	42		personer		
Andel inne/ute	93%	7%			
Befolkning	39,1	2,9	personer		
Befolkningstäthet	1,6E-02	1,2E-03	pers/m2		
	Natt				
	Inne	Ute			
Befolkning inne +ute	84		personer		
Andel inne/ute	99%	1%			
Befolkning	83,2	0,8	personer		
Befolkningstäthet	3,4E-02	3,4E-04	pers/m2		
	Dag	Natt			
Antal personer första raden totalt	21	42			
	Dag				
	Inne	Ute			
Andel i %	93%	7%			
Antal personer 1:a rad	19,5	1,5			
	Natt				
	Inne	Ute			
Andel i %	99%	1%			
Antal personer 1:a rad	41,6	0,4			

Figur 5. Ingångsvärden riskberäkning järnväg, fortsättning

I figur 6 visas vindrosen som används vid beräkningar av vissa scenarier med gasutsläpp. Beräkningen av andelen av tiden som vinden kan föra gasen mot området respektive längs vägen framgår.



Figur 6. Vindros för Mariestad

2. Scenarierna

Här ges en generell beskrivning av scenarierna som kan leda till betydande konsekvenser för området utifrån de klasser farligt gods som kan komma att transporteras, *se rapporten*.

2.1. Scenarier med sprängämnen, klass 1.

2.1.1 Sannolikheter

Sannolikheten per vagnkilometer för en olycka med massexplosiva sprängämnen framgår av *figur 5*.

Vid en olycka finns olika utfall som här förenklas till följande:

- ingen brand eller explosion,
- explosion på grund av den mekaniska påverkan vid olyckan,
- brand i tåg som inte leder till explosion,
- brand i tåg som leder till explosion.

Sannolikhet för explosion på grund av den mekaniska påverkan vid olyckan

Sprängämnen som transporteras antas vara av emulsionstyp som är den typen som huvudsakligen används inom gruvindustrin. Ett antal studier har rapporterats (ERM 2008, FOA 2000) som visar att den hastighet som krävs för att en stöt skall leda till explosion av sprängämnet är jämförbara med typiska hastigheter för kulor från skjutvapen (500 m/s dvs. 1800 km/t). Vid förhöjda temperaturer sänks visserligen denna hastighet men ligger fortfarande vida över vad som förekommer vid en olycka.

Tidigare studier har visat att den kritiska hastigheten för att en projektil skall leda till en explosion för ett emulsionssprängämne är några tiotals gånger större än för dynamit. En studie med fallvikter på nitroglycerinbaserade sprängämnen har visat att sannolikheten för antändning låg under 0,1 %. I studien simulerades den stöten som skulle orsakas av ett fall på 12 m.

Sammantaget bedöms det att sannolikheten för detonation på grund av stöt vid en olycka med emulsionssprängämnen ligger under 0,1 %. Detta värde kommer att användas vid sannolikhetsberäkningarna.

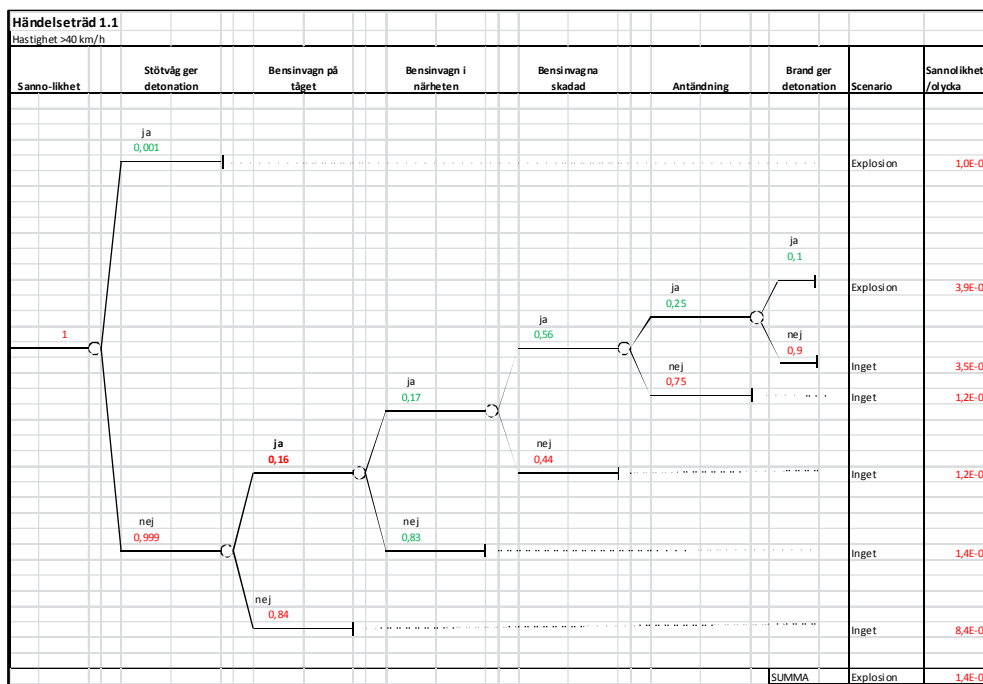
Sannolikhet för detonation på grund av brand

Sannolikheten för brand beräknas enligt följande.

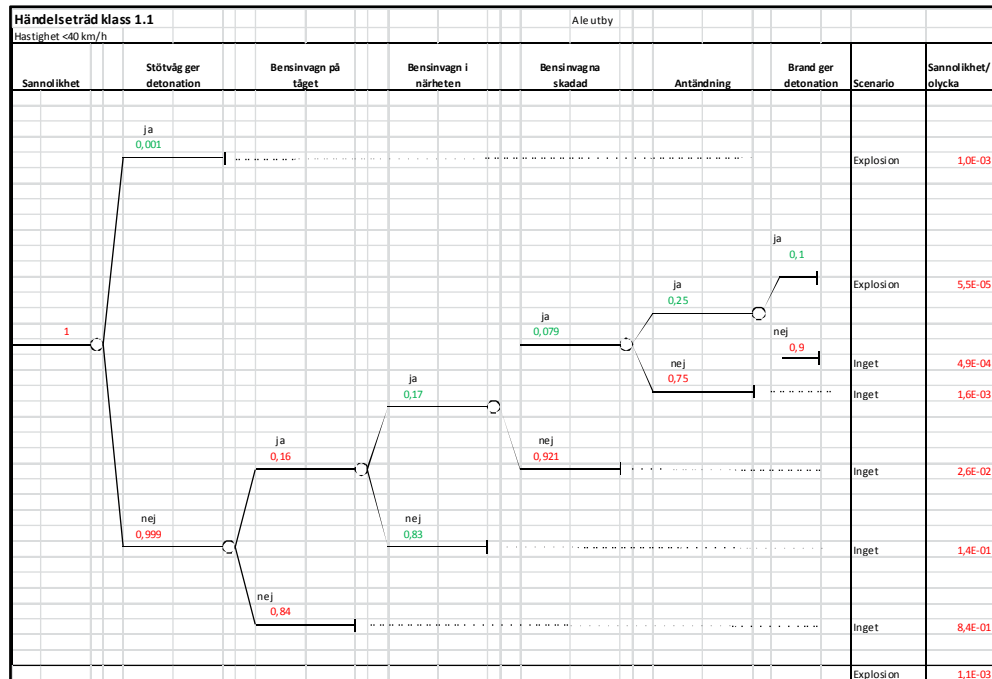
1. Det måste finnas en tankvagn med bensin eller annan mycket brandfarlig vätska med på tåget.
2. Vagnen måste befinna sig nära vagnen med sprängämnen, högst en vagn emellan
3. Vagnen med mycket brandfarlig vätska måste ha en skada som leder till ett betydande utsläpp
4. Vätskan måste antändas

Sannolikheten för detta framgår av händelseträden i *figur 7 och 8* nedan. Händelseträdet är baserat på statistik för tunnväggiga tankvagnar i RBMII.

Sannolikheten att en brand leder till detonation av sprängämnet uppskattas grovt till 10 %. Händelseträdet för hela händelseförloppet vid olycka med sprängämnen visas i *figur 7* för tåghastigheter över 40 km/h och i *figur 8* för tåghastigheter under 40 km/h.



Figur 7. Händelsetråd för olycka med sprängämnen, klass 1.1, tåghastigheter över 40 km/h.



Figur 8. Händelsetråd för olycka med sprängämnen, klass 1.1, tågastigheter under 40 km/h.

Sannolikheten för att en vagn med mycket brandfarliga vätskor skall vara med på tåget tas från ingångsdaten i figur 5. (I figur 7 och 8 anges ett värde från ett tidigare projekt, det aktuella värdet har dock använts i beräkningarna.)

Resultaten av sannolikhetsberäkningar för fallet en masseexplosion på grund av en olycka med en sprängämnestransport visas i tabell 2, avsnitt 3.

2.1.2 Konsekvenser

Explosionslast

Vid beräkning av explosionslast utgår från en explosion av 25 ton TNT.

Explosionens övertryck och impuls har beräknats nedan. De reflekterade värdena är aktuella när explosionen träffar en yta som är riktat vinkelrät mot explosionen. De oreflekterade värdena gäller för ytor som är riktade i samma riktning som explosionen.

Explosionsstyrkan beräknas med hjälp av figur 9 som tagits från rapporten Dynamisk lastpåverkan – Referensbok (SRV 2005). För en närmare förklaring av beräkningsmetoden hänvisas till denna rapport.

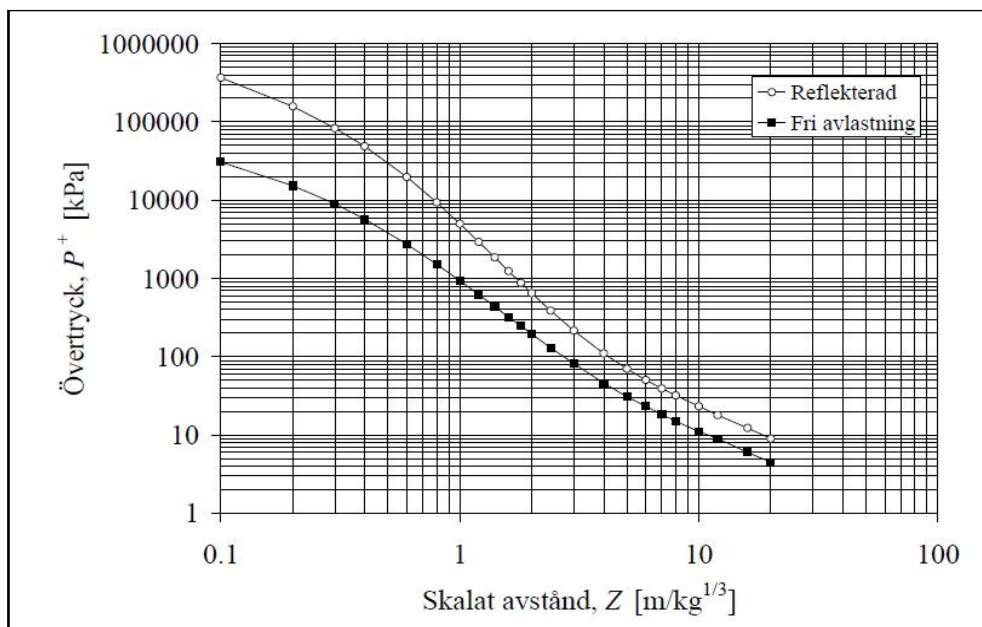
Z är det skalade avståndet enligt nedan

$$Z = \frac{R}{M^{1/3}}$$

R = avstånd från explosionscentrum (m)

M = mängd sprängämne i explosionen (kg)

Figur 9 ger övertrycket p_+



Figur 9 Reflekerat och oreflekerat övertryck som funktion av det skalade avståndet Z (från SRV 2007).

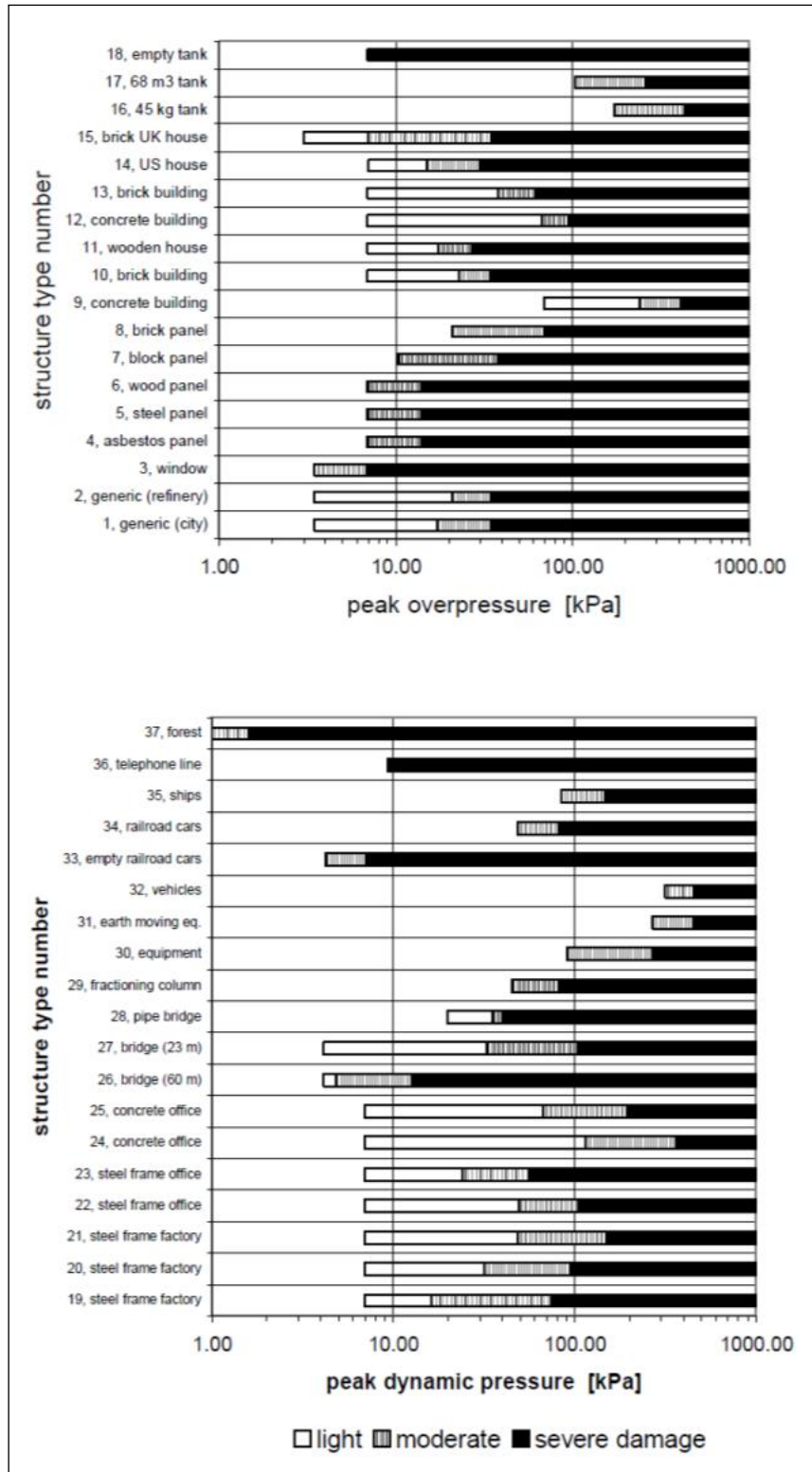
Resultaten visas i *tabell 1*.

Tabell 1. Explosionstryck som funktion av avståndet till explosionscentrum.

M (kg)		12500	25000
$M^{1/3}$ ($\text{kg}^{1/3}$)		23,2	29,2
Z	p^+		
$\text{m/kg}^{1/3}$	kPa	avstånd (m)	avstånd (m)
1	900	23	29
2	200	46	58
2,5	120	58	73
3	80	70	88
4	45	93	117
5	33	116	146
5,2	30	121	152
6	23	139	175
6,9	20	160	202
7,9	15	183	231

Skador på bebyggelsen

Enligt amerikanska undersökningar (EAI 1997) rasar vanliga hus vid ett övertryck (p^+) på 25-35 kPa medan en vanlig stadsbebyggelse bedöms få allvarliga skador vid ungefär samma övertryck, se *figur 10 och 11*. Detta tryck uppnås enligt *tabell 1* ungefär 146 m från platsen för explosionen vid en explosion av 25 ton TNT. (För en explosion med 12,5 ton TNT, se avsnitt 2.5 Scenarier med oxiderande ämnen, ämnen, är detta avstånd ca 116 m.)



Figur 10 Övertryck som leder till raserade byggnader mm.

Type	Description of structure
1	city
2	refinery
3	glass windows, large and small
4	corrugated asbestos siding
5	corrugated steel or aluminum panelling
6	wood siding panels, standard house construction
7	concrete or cinder-block wall panels, 8" or 12" thick (not reinforced)
8	brick wall panel, 8" or 12" thick (not reinforced)
9	blast-resistant reinforced concrete windowless building
10	multi-storey wall-bearing building, brick apartment house type, up to three storeys
11	wood-frame house
12	multi-storey reinforced concrete building with concrete walls, small window area, three to eight storeys
13	multi-storey wall-bearing building, monumental type, up to four storeys
14	typical American-style house
15	typical brick-built English house
16	45 kg LPG tank
17	68000-litre LPG bulk gas plant
18	floating- or conical roof tanks, empty
19	light steel frame industrial building, single storey, with up to 5-ton crane capacity, low strength walls which fail quickly
20	heavy steel frame industrial building, single storey, with 25- to 50-ton crane capacity, lightweight low strength walls which fail quickly
21	heavy steel frame industrial building, single storey, with 60- to 100-ton crane capacity, lightweight low strength walls which fail quickly
22	multi-storey steel frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, earthquake-resistant design
23	multi-storey steel frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, non-earthquake-resistant design
24	multi-storey reinforced concrete-frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, earthquake-resistant construction.
25	multi-storey reinforced concrete-frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, non-earthquake-resistant construction.
26	railroad girder bridges, single track deck or through, open floors, span 200 ft (60 m)
27	railroad girder bridges, single track deck or through, open floors, span 75 ft (23 m)
28	pipe bridge
29	fractioning column
30	truck-mounted engineering equipment (unprotected)
31	earth-moving engineering equipment (unprotected)
32	transportation vehicles
33	unloaded railroad cars
34	loaded boxcars, flatcars, full tank cars, and gondola cars (side-on orientation)
35	merchant shipping
36	telephone lines (transverse)
37	average deciduous forest stand

Figur 11. Beskrivning av byggnadstyper mm i figur 10.

Sammantaget antas att byggnader närmast järnvägen får allvarliga skador inom 160 m från explosionen. Bebyggelsen bakom skyddas i stor utsträckning av husen framför och antas inte få lika betydande skador.

Storleken av området längs vägen där husen rasar beräknas utifrån husens avstånd till vägen och Pythagoras sats.

Inom området där husen skadas allvarligt antas att husens raszon sträcker sig in mot ungefär halva huset och att det i raszonen omkommer cirka en tredjedel av de personer som vistas där (FOA 1997). Detta innebär att cirka en sjättedel av de boende inom detta område antas omkomma vid en explosion med sprängämnen.

Antalet omkomna beräknas utifrån antal i husraden närmast vägen, resultaten visas i *tabell 2*.

Skador utomhus

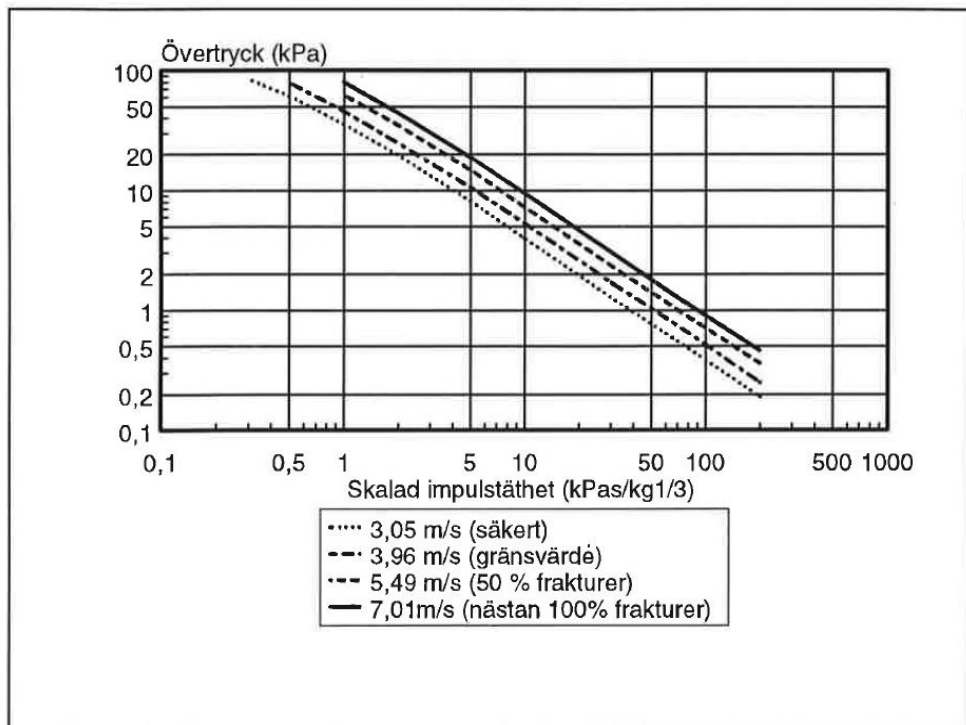
Direkta skador pga. tryck

Människan tål tryck relativt bra. Gränsen för lungskador anges vara ca 70 kPa, döda på grund av lungskador förväntas vid 180 kPa och 50 % omkomna vid 260 kPa. Detta innebär att inga omkomna förväntas pga. lungskador på ett avstånd på mer än 50 m från explosionen. (FOA 1997)

Indirekta skador

Indirekta skador kan uppstå genom att någon kastas mot något hårt föremål av tryckvågen eller att personer träffas av nedfallande byggnadsdelar.

Som skademått för skador pga. att någon kastas av tryckvågen tas skallskador. Enligt FOA får en person med kroppsvikt 70 kg skallfraktur på ca 50 m från explosionen, se *figur 12* och *tabell 1*. På 75 m har sannolikheten avtagit till 50 % och minskar till 10 % på ca 90 m.



Figur 12. Kombinationer av övertryck och skalad impulstäthet som ger allvarliga skador vid slag mot huvudet (från FOA 1997).

Personer utomhus kan även omkomma av fallande byggnadsdelar eller splitter och vi antar därför att alla personer som befinner sig kring hus som förväntas rasera omkommer i explosionen.

En gynnsam omständighet som inte beaktats i detta scenario är att det kommer att ta tid innan en brand i ett fordon med sprängämnen sprider sig till lasten och ger upphov till en explosion. Under denna tidsperiod finns möjligheter att evakuera personer från området. Praktiska erfarenheter från olyckor med sprängämnen visar att evakueringen ofta har kunnat genomföras och lett till en reduktion av antalet omkomna.

Det här beskrivna scenariot ger därför konservativa värden för det förväntade antalet omkomna.

Individrisk

En person antas omkomma om han befinner sig i området kring den bebyggelse som kommer att rasa vid en massexplosion. Avståndet beror på avståndet mellan transportleden och husen och husens bredd, som default används 30 m för detta.

Sannolikheten beräknas med att explosionen måste ske på de 250 m av vägen som är närmast individen.

Samhällsrisk

Sannolikheten för en person att omkomma inomhus är 17 % i de hus som antas rasa vid massexlosionen, dvs de som ligger inom 125 m från olycksplatsen. Alla personer som befinner sig utomhus kring husen antas omkomma, se avsnittet om individrisk.

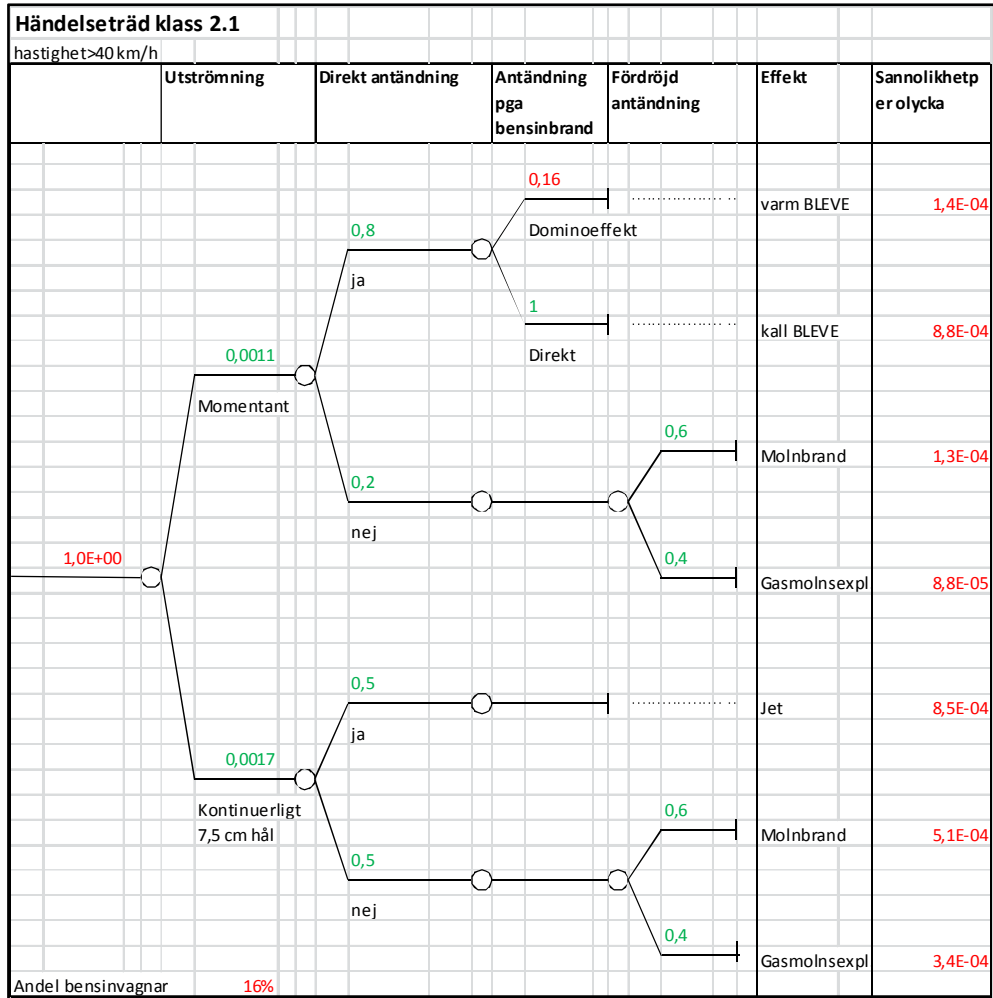
2.2 Scenarier med brandfarliga gaser, klass 2.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med brandfarliga gaser per kilometer järnväg har beräknats på samma sätt som för massexplösiva ämnen i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 4*.

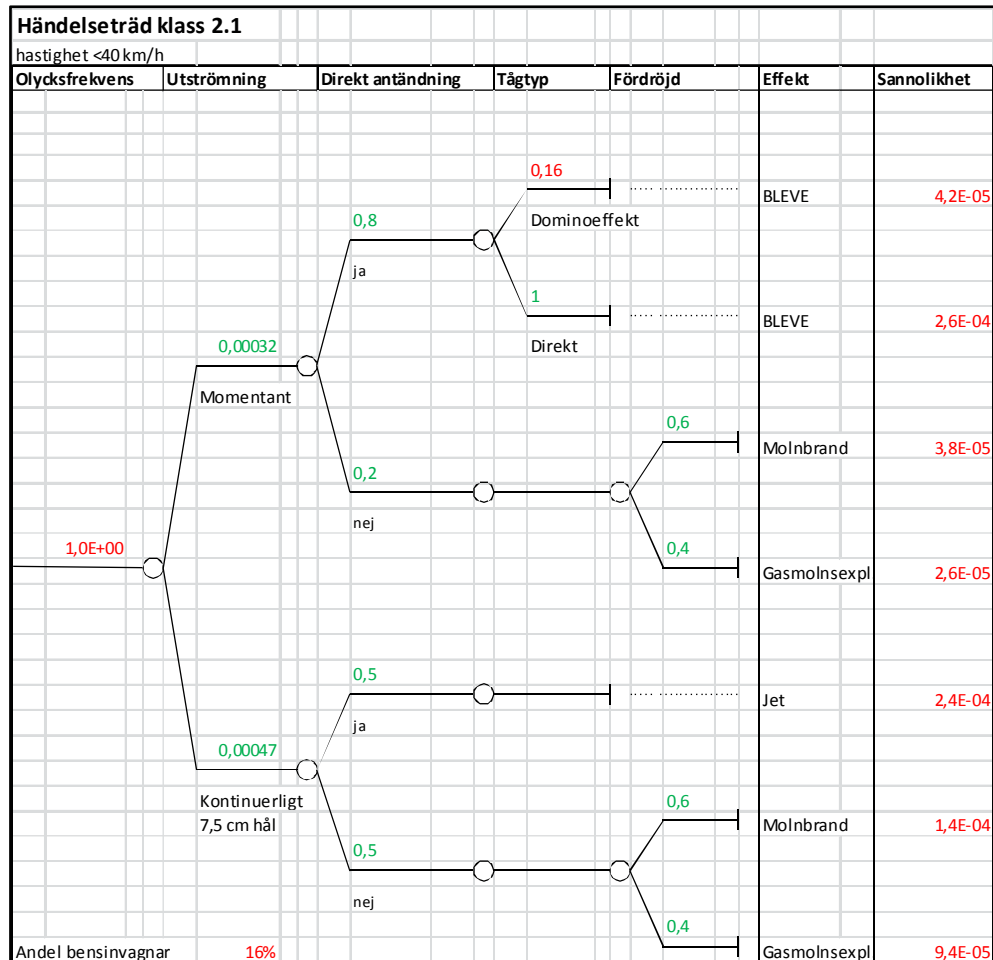
2.2.1 Scenario Jetflamma

I detta scenario uppstår ett hål på 7,5 cm i tanken på tankvagnen med komprimerad brandfarlig gas. Gasen sprutar ut och antänds vilket leder till en låga som sträcker sig från olycksplatsen in mot området. Inom ett område av 70x90 m (längs vägen x in mot området) förväntas alla omkomma. Utomhus på grund av att människorna hamnar i eller nära lågan, inomhus då byggnaden fattar eld och brinner ner.

Av händelseträden för brandfarliga gaser, *figur 14 och 15*, framgår att sannolikheten för scenario Jetflamma vid en olycka med brandfarlig gas med betydande utströmning är lika med $8,5 \times 10^{-4}$ vid tåghastigheter över 40 km/h och $2,4 \times 10^{-4}$ vid lägre hastigheter.



Figur 14. Händelseträäd olycka med brandfarlig gas, tåghastighet över 40 km/h



Figur 15. Händelsetråd olycka med brandfarlig gas, tåghastighet under 40 km/h

Individrisk

En individ omkommer om olyckan sker på de närmaste 70 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 90 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inom ett område på 70 m längs vägen och 90 m in från vägen antas omkomma, såväl inomhus som utomhus.

2.2.2 Scenario Gasbrand vid momentant utsläpp, Gasbrand M

I detta scenario havererar tanken och hela innehållet släpps ut momentant. Gasen blandas med luft tills den lägre brännbarhetsnivån är nådd (LFL) då gasen antänds.

Förbränningen kan ske som deflagration (flamfronten rör sig med en hastighet som är lägre än ljudets hastighet), vilket leder till en gasbrand, eller som en detonation (flamfronten rör sig med en hastighet som överstiger ljudets) vilket leder till en gasexplosion. Detta är scenario Gasbrand M respektive Gasexplosion M. För dessa scenarier spelar vindriktningen en mindre roll på grund av den stora mängden gas som expanderar och antänds snabbt. För scenario Gasbrand M antas gasmolnet ha sitt centrum på olycksplatsen och en storlek av 260x260 m. Inom ett område av 260x130 m (längs vägen x in mot området) omkommer alla ute och inne. Effektområdet har valts med marginal så att det även tas hänsyn till att gasmolnet förflyttar sig i viss mån med vinden innan det antänds.

Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 14 och 15* och är lika med $1,3 \times 10^{-4}$ vid hastigheter över 40 km/h och $3,8 \times 10^{-5}$ vid lägre hastigheter.

Individrisk

En individ omkommer vid detta scenario om han/hon befinner sig inom det brinnande molnet, dvs om olyckan händer inom 260 m från personen och om personen står på ett avstånd mindre än 130 m från järnvägen.

Samhällsrisk

Personer som vistas inne i det brinnande gasmolnet antas omkomma, inne såväl som ute.

2.2.3 Scenario Gasbrand vid kontinuerligt utsläpp, Gasbrand KT och KL

I detta scenario uppstår ett hål på 7,5 cm i tanken på samma sätt som i scenario Jetflamma. Den brandfarliga gasen antänds inte direkt men sprids med vinden från olycksplatsen. Gasen blandas med luft tills den lägre brännbarhetsnivån är nådd (LFL) då gasen antänds. Molnets utsträckning är då 70 x10 m i vindriktningen. Förbränningen kan ske som deflagration (flamfronten rör sig med en hastighet som är lägre än ljudets hastighet), vilket leder till en gasbrand, scenario Gasbrand K, eller till en detonation (flamfronten rör sig med en hastighet som överstiger ljudets) vilket leder till en gasexplosion, detta är scenario Gasexplosion K.

Vid Scenario Gasbrand K antas alla som vistas i det brinnande molnet omkomma, såväl inomhus som utomhus.

Sannolikheten för Scenario Gasbrand K vid en olycka framgår av händelseträdet i *figur 14 och 15* och är lika med $5,1 \times 10^{-4}$ vid hastigheter över 40 km/h och $1,4 \times 10^{-4}$ vid hastigheter under 40 km/h när en olycka sker med utsläpp av brandfarlig gas.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 6*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen in mot området, detta är scenario Gasbrand KT. Blåser vinden i banans riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasbrand KL. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individerisk

I scenario Gasbrand KT omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 10 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 70 m från leden.

I scenario Gasbrand KL omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 70 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 5 m från leden

Samhällsrisk

I scenario Gasbrand KT antas personer omkomma inom ett område med längd 10 m längs leden och bredd 70 m in från vägen.

I scenario Gasbrand KL antas personer omkomma inom ett område med längd 70 m längs leden och bredd 5 m in från vägen.

2.2.4 Scenario Gasexplosion vid momentant utsläpp, Gasexplosion M

Detta är samma som scenario Gasbrand M, med den skillnaden att gas/luftblandningen förbränns explosionsartat. En individ antas omkomma vid ett explosionstryck över 0,3 Bar. Detta inträffar vid en gasexplosion inom ett område på 330 x 330 m, centrum för explosionen antas ligga på leden.

Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med en tågagn med brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 14 och 15* och är lika med $8,8 \times 10^{-5}$ för tågastigheter över 40 km/h och $2,6 \times 10^{-5}$ vid lägre hastigheter.

Individrisk

I scenario Gasexplosion M omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 330 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 165 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inomhus eller utomhus inom ett område med längd 330 m längs leden och bredd 165 m från vägen antas omkomma. Inom ett område utanför detta område med längd 650 m och bredd 325 m antas 3 % av de som befinner sig inomhus omkomma.

2.2.5 Scenario Gasexplosion vid kontinuerlig utsläpp, Gasexplosion KT och KL

Dessa scenarier är detsamma som scenario Gasbrand KT och KL med den skillnaden att gas/luftblandningen förbränns snabbare vilket leder till en gasexplosion. En individ antas omkomma vid ett explosionstryck över 0,3 Bar. Detta inträffar i ett område av 95x95 m. Sannolikheten för detta per olycka med en tankvagn med brandfarlig gas är enligt händelseträden i *figur 14 och 15* lika med $3,4 \times 10^{-4}$ vid hastigheter över 40 km/h och $9,4 \times 10^{-5}$ vid lägre hastigheter.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 6*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen in mot området, detta är scenario Gasexplosion KT. Centrum för explosionen antas då ligga 48 m från järnvägen så att hela effektområdet ligger vid sidan om vägen.

Blåser vinden i banans riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasexplosion KL. Centrum för explosionen antas ligga på banan men mitt framför området. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasexplosion KT omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 95 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 95 m från leden.

I scenario Gasbrand KL omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 98 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 48 m från leden.

Samhällsrisk

I scenario Gasexplosion KT antas personer inomhus och utomhus omkomma inom ett område med längd 95 m längs leden och bredd 95 m in från vägen.

I scenario Gasexplosion KL antas personer omkomma inom ett område med längd 95 m längs leden och bredd 48 m in från vägen inomhus och utomhus.

2.2.6 Scenario BLEVE

Vid en BLEVE havererar tanken brandfarlig gas vilket leder till ett momentant utsläpp som antänds direkt. Detta kallas en BLEVE. Orsaken kan vara krafterna vid själva olyckan eller att en brand har uppstått som leder till att tanken hettas upp till trycket blir så stort att den exploderar. En BLEVE leder till att personer omkommer inom ett område av 140x140 m. BLEVE:ns centrum ligger på olycksplatsen. Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med en tankvagn för brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 14 och 15* och är lika med $(1,4+8,8) \times 10^{-4} = 1,0 \times 10^{-3}$ vid tåghastigheter över 40 km/h. vid hastigheter under 40 km/h är sannolikheten lika med $3,0 \times 10^{-4}$.

Individrisk

En person förväntas omkomma inom ett område med längd 140 m längs leden och bredd 70 m in från vägen.

Samhällsrisk

I scenario BLEVE antas personer omkomma inom ett område med längd 140 m längs leden och bredd 70 m in från vägen inomhus och utomhus.

2.3 Scenarier med giftiga gaser, klass 2.3

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med giftiga gaser per kilometer transportled har beräknats på samma sätt som för massexplösiva ämnen i *tidigare avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 5*.

Händelseträden för scenarier med giftiga gaser framgår i *figur 16 och 17* nedan.

Händelsesträd klass 2.3			
Hastighet >40 km/h			
Sannolikhet olycka dagtid/km, år	Utströmning	Effekt giftiga gaser	Sannolikhet dagtid/km, år
1	Momentant	Momentant utsläpp	1,1E-03
	Kontinuerligt 7,5 cm hål	Kontinuerligt utsläpp	1,7E-03

Figur 16. Händelsesträd för olycka med giftiga gaser, tågastigheter över 40 km/h

Händelsesträd klass 2.3			
Hastighet <40 km/h			
Sannolikhet olycka dagtid/km, år	Utströmning	Effekt giftiga gaser	Sannolikhet dagtid/km, år
1	Momentant	Momentant utsläpp	3,2E-04
	Kontinuerligt 7,5 cm hål	Kontinuerligt utsläpp	4,7E-04

Figur 17. Händelsesträd för olycka med giftiga gaser, tågastigheter under 40 km/h

2.3.1 Scenario Gasmoln M

I detta scenario havererar tanken och hela innehållet släpps ut momentant. På grund av det snabba händelseförloppet bedöms vindriktningen spela mindre roll.

Effektområdena har dock anpassats för att ta hänsyn till spridning med vinden i olika riktningar. Storleken av effektområde 1 bedöms vara 100x100 m med centrum på olycksplatsen. Effektområde 2 har storlek 114x114 m.

Sannolikhet för scenariot per olycka framgår av händelseträdet i *figur 16 och 17* och är lika med $1,1 \times 10^{-3}$ vid tåghastigheter över 40 km/h och $3,2 \times 10^{-4}$ vid lägre hastigheter.

Individerisk

En person har 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 100 m av järnvägen från där personen står och 50 m in från banan. En person har 30 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 114 m av järnvägen från där personen står och 57 m in från banan.

Samhällsrisk

Inom effektområde 1 antas alla som vistas utomhus inom molnet omkomma. Av de som vistas inomhus antas ca 10 % omkomma. Inom effektområde 2 antas 30 % av de som vistas utomhus omkomma. Av de som vistas inomhus antas 3 % omkomma.

2.3.2 Scenario Gasmoln K

Vid detta scenario uppstår ett hål på 7,5 cm i tanken med giftig gas. En gasplym uppstår som rör sig i vindriktningen. Sannolikheten per olycka för scenariot framgår av händelseträdet i *figur 16 och 17* och är lika med $1,7 \times 10^{-3}$ vid hastigheter över 40 km/h och $4,7 \times 10^{-4}$ vid lägre hastigheter.

Effektområde 1 har bredd 36 m och längd 240 m i vindriktningen. Effektområde 2 har bredd 121 m och längd 374 m i vindriktningen. Båda effektområden börjar vid olycksplatsen.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 6*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen till området, detta är scenario Gasmoln KT. Blåser vinden i järnvägens riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasmoln KL. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasmoln KT har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 36 m av leden från där personen står och 240 m in från vägen. En person har 30 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 121 m av leden från där personen står och 374 m in från vägen.

I scenario Gasmoln KL har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 240 m av leden från där personen står och 18 m in från vägen. En person har 30 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 374 m av leden från där personen står och 61 m in från banan.

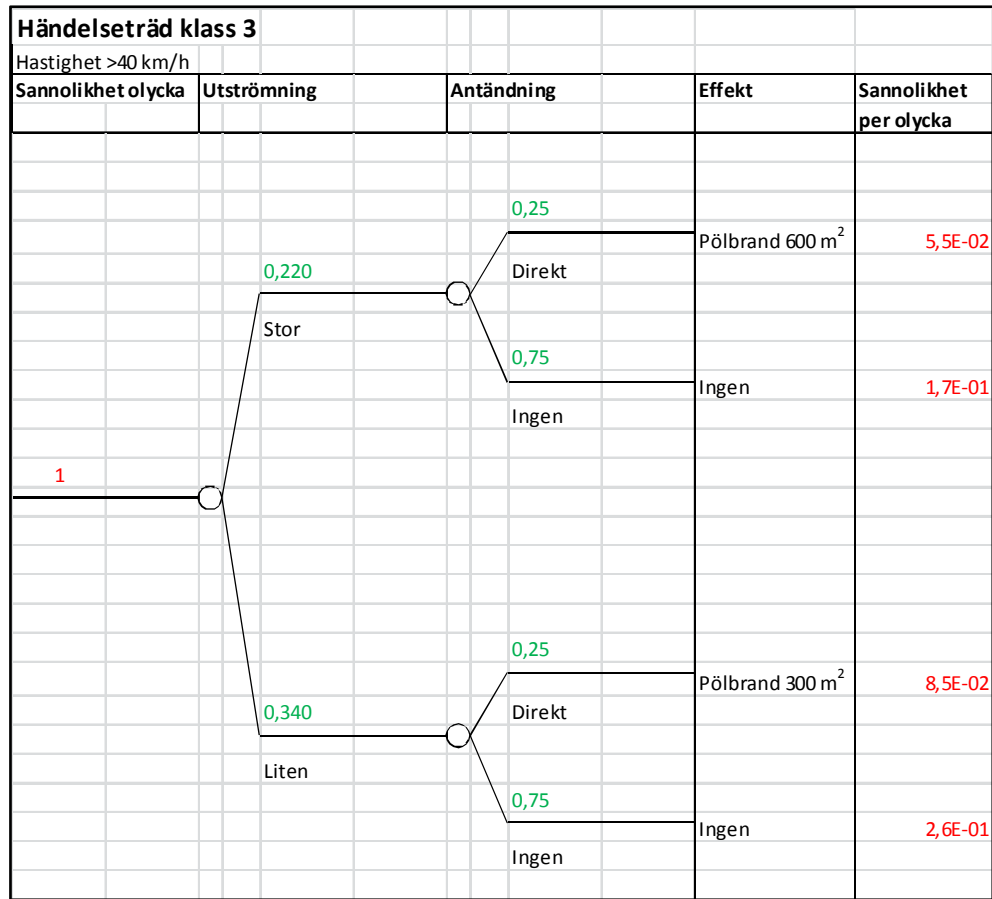
Samhällsrisk

Inom effektområde 1 antas alla som vistas utomhus inom molnet omkomma. Av de som vistas inomhus antas ca 10 % omkomma. Inom effektområde 2 antas 30 % av de som vistas utomhus omkomma. Av de som vistas inomhus antas 3 % omkomma här.

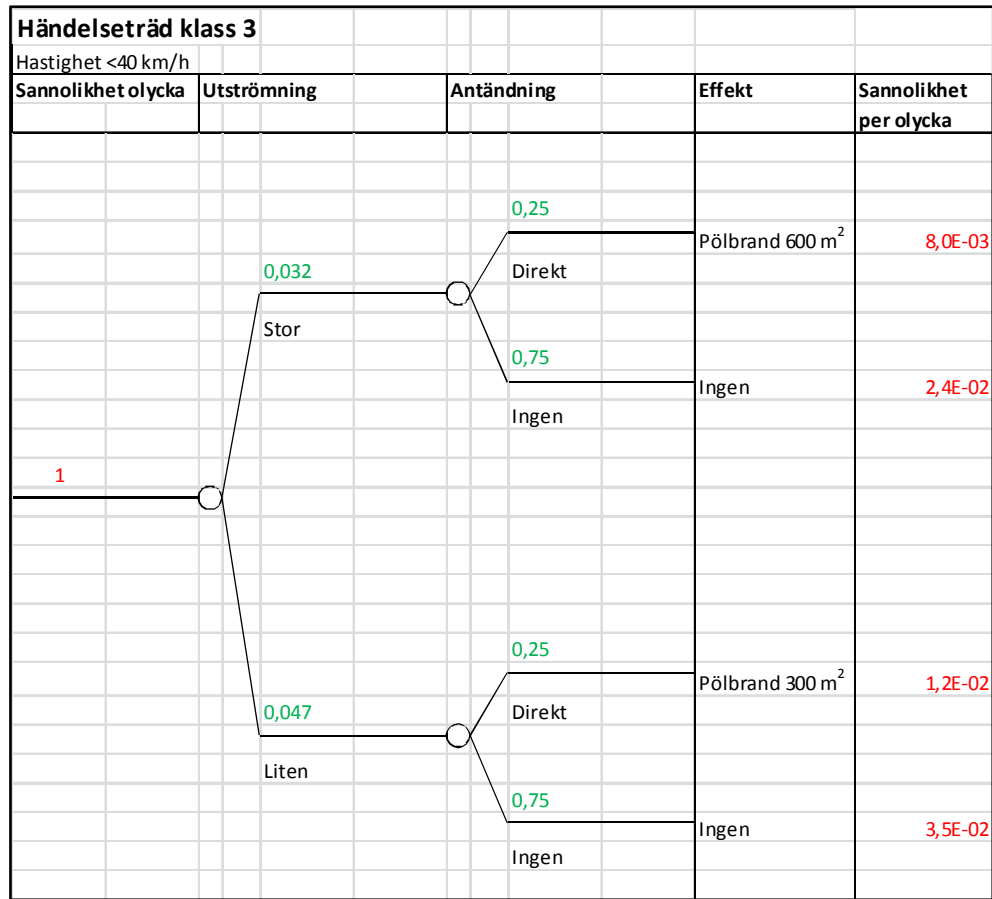
2.4. Scenarier med mycket brandfarliga vätskor, klass 3.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med mycket brandfarliga vätskor har beräknats på samma sätt som i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 5*.

Händelseträden för scenarier med mycket brandfarliga vätskor framgår i *figur 18 och 19* nedan.



Figur 18 Händelseträäd för mycket brandfarliga vätskor i klass 3.
Tåghastighet > 40 km/h



Figur 19 Händelseträd för mycket brandfarliga vätskor i klass 3.
Tåghastighet < 40 km/h

2.4.1 Scenarier Pölbrand S och M

I scenario Pölbrand sker en olycka där tanken skadas och ett utsläpp sker av mycket brandfarlig vätska (exempelvis bensin) som rinner ut till en pöl som sedan antänds. Värmestrålningen kan leda till att människor omkommer. Vid en stor pölbrand med en yta på 600 m² (Pölbrand S) antas personer inom ett område på 30x30m omkomma, såväl inne som ute. Vid en mindre pölbrand (Pölbrand M) antas personer inom ett område på 26x26 m omkomma såväl inne som ute. Områdena antas centrerade kring olycksplatsen.

Sannolikhet

Sannolikheten för scenario Pölbrand S vid en olycka med en tankvagn med mycket brandfarlig vätska är lika med $5,5 \times 10^{-2}$ vid hastigheter över 40 km/h och $8,0 \times 10^{-2}$ vid hastigheter under 40 km/h.

Sannolikheten för scenario Pölbrand M vid en olycka med en tankvagn med mycket brandfarlig vätska är lika med $8,5 \times 10^{-2}$ vid hastigheter över 40 km/h och $1,2 \times 10^{-2}$ vid hastigheter under 40 km/h.

Individrisk

I scenario Pölbrand S har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 30 m av järnvägen från där personen står och 15 m in från banan.

I scenario Pölbrand M har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 26 m av leden från där personen står och 13 m in från vägen.

Samhällsrisk

Inom ett område med längd 30 m längs vägen och bredd 15 m in från vägen antas alla omkomma såväl inomhus som utomhus i scenarion Pölbrand S.

I scenario Pölbrand M antas alla utomhus och inomhus omkomma inom ett område med längd 26 m längs vägen och bredd 13 m in från vägen.

2.5. Scenarier med oxiderande ämnen, klass 5.1

Sannolikheten för en olycka med en järnvägsvagn med oxiderande ämnen med risk för massexplosion per kilometer järnväg har beräknats på samma sätt som för massexplosiva ämnen i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 3*.

Händelseträdet för scenarier med oxiderande ämnen framgår i *figur 19 och 20* nedan.

2.5.1 Scenario Explosion S och M

I dessa scenarior har vi utgått från att transportererna sker som ammoniumnitrat som vid blandning med dieselolja kan leda till en explosion som motsvarar 25 ton TNT vid ett stort utsläpp av ammoniumnitrat och cirka hälften vid ett mindre utsläpp. Detta överskattar explosionens kraft eftersom den blandning som kommer att ske om båda ämnena rinner ut vid en olycka inte räcker för att åstadkomma ett effektivt sprängämne vilket egentligen kräver en ganska exakt blandning av dessa ämnen.

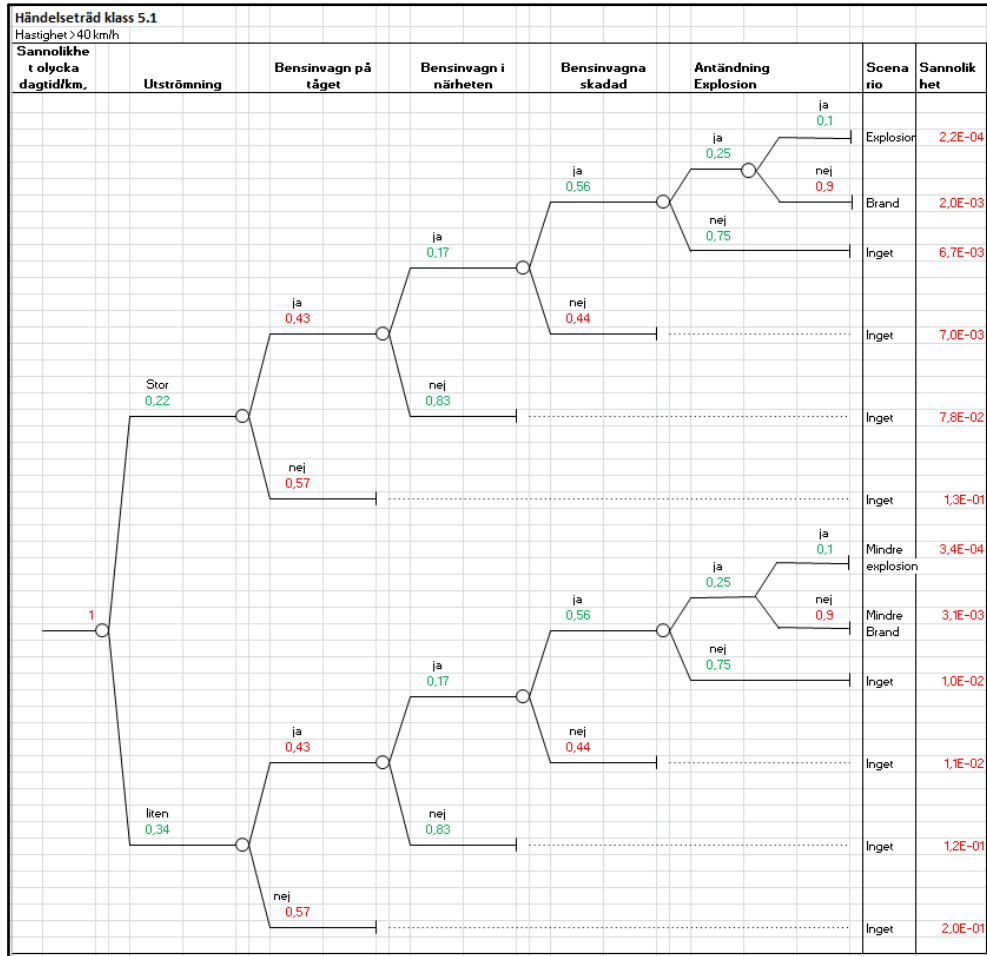
Konsekvenserna av dessa explosioner härleds på samma sätt som för massexplosiva ämnen i klass 1.

Sannolikhet

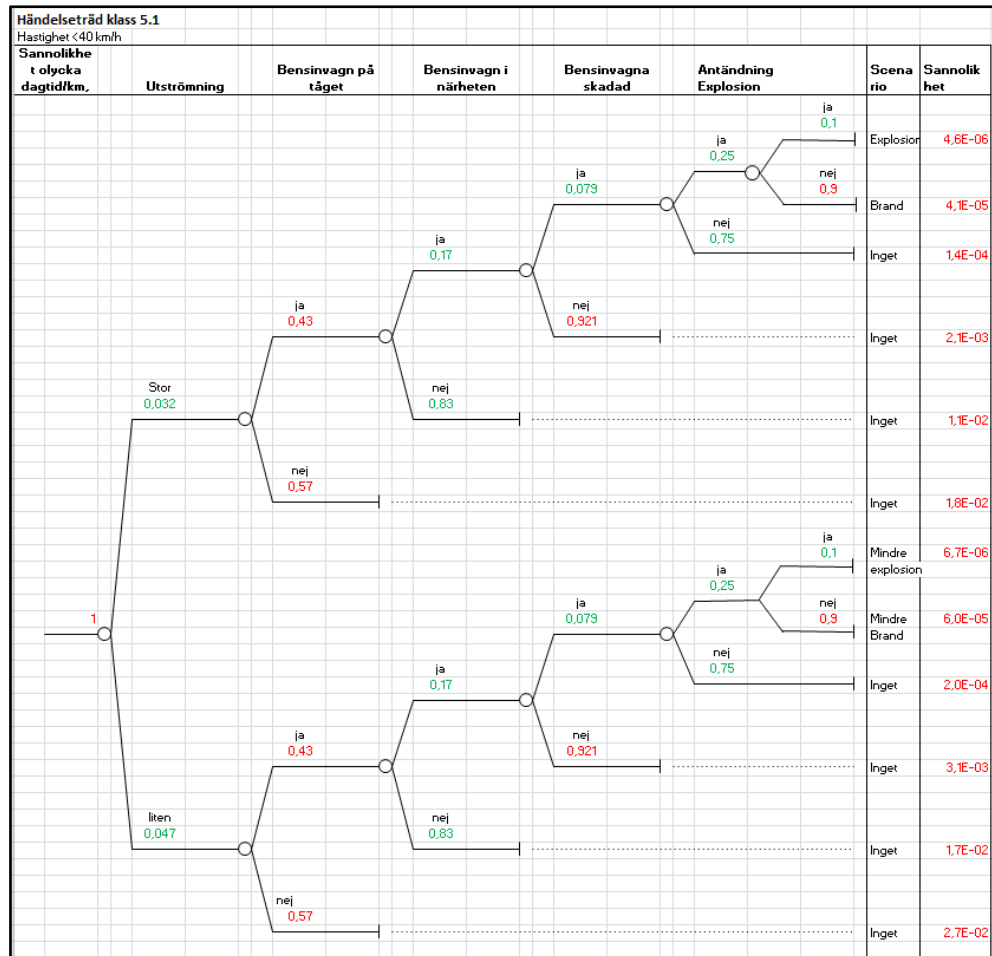
För att en olycka med en transport med oxiderande ämnen skall leda till betydande konsekvenser krävs att det oxiderande ämnet blandas med bensin och att blandningen antänds. För att detta skall ske måste flera förutsättningar vara uppfyllda:

1. Det måste finnas en tankvagn med bensin eller annan mycket brandfarlig vätska med på tåget.
2. Vagnen måste befinna sig nära vagnen med oxiderande ämnen för att en blandning skall kunna ske, högst en vagn emellan.
3. Vagnen med mycket brandfarlig vätska måste ha en skada som leder till ett betydande utsläpp.
4. Vätskan måste antändas.
5. Blandningen oxiderande ämne/brandfarlig vätska kan antingen brinna som en pölbrand eller explodera.

Sannolikheten för detta framgår av händelseträdet i *figur 19 och 20* nedan. Händelseträdet är baserat på statistik för tunnväggiga tankbilar. I de visade händelseträden utgås från att en vagn med mycket brandfarlig vätska finns med på 16 % av tågen. Denna siffra är tagen från ett äldre projekt och används här endast som exempel. I beräkningarna har den rätta siffran används som finns i *figur 5*.



Figur 19. Händelseträäd oxiderande ämnen i klass 5.1 som kan orsaka explosion. Tåghastigheter över 40 km/h



Figur 20. Händelseträäd oxiderande ämnen i klass 5.1 som kan orsaka explosion. Tåghastigheter under 40 km/h

Konsekvenser

Två scenarier finns beroende på storleken på utsläppet av det oxiderande ämnet. Storleken på utsläppet av den brandfarliga vätskan är av mindre vikt eftersom en explosiv blandning endast kräver en mindre mängd brandfarlig vätska (ca 1 del brandfarlig vätska på 7 delar oxiderande ämne). Ett stort utsläpp av oxiderande ämnen ger scenario Explosion S, ett något mindre utsläpp ger scenario Explosion M.

Konsekvenserna av en stor explosion har antagits vara densamma som för en explosion av 25 ton TNT. Konsekvenserna avseende individrisk och samhällsrisk för denna mängd sprängämne finns beskriven i scenariot för klass 1.1.

Konsekvenserna för en mindre explosion har antagits vara densamma som för en explosion av 12,5 ton TNT. Konsekvenserna avseende individrisk och samhällsrisk för denna mängd sprängämne finns också beskriven i scenariot för klass 1.1.

De scenarier där ingen explosion sker men det oxiderande ämnen deltar i branden av den brandfarliga vätskan ingår i beräkningarna för konsekvenserna av olyckor med klass 3.

3. Beräkningsresultat

I tabell 2 och 3 nedan presenteras resultaten av riskberäkningarna som visas i figur 12 och 13 i rapporten.

Tabell 2. Resultaten av riskberäkningarna dagtid

Sammanställning av beräkningsresultat dagtid												161219	
Klass	F _{klass} /år, km	Scenario	F _{scen} /år, km	Effektområde 1				Effektområde 2				Omkomna	
				längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}		
1.	0,0E+00	Massexplosion	0,0E+00	290	75	0,17	1,00	-	-	-	-	0	4,7
2.1	2,2E-06	Jet	1,8E-09	70	90	1,00	1,00	0,00	0,10	70	90	1,3E-10	42,0
		Gasbrand M	2,8E-10	260	130	1,00	1,00	-	-	-	-	7,4E-11	42,0
		Gasbrand KT	2,5E-11	10	70	1,00	1,00	-	-	-	-	2,5E-11	4,2
		Gasbrand KL	2,1E-11	70	5	1,00	1,00	-	-	-	-	2,1E-11	0,0
		Gasexplosion M	2,8E-10	330	165	1,00	1,00	-	-	-	-	6,3E-11	42,0
		Gasexplosion KT	2,6E-11	95	95	1,00	1,00	-	-	-	-	2,6E-11	42,0
		Gasexplosion KL	1,9E-11	95	47	1,00	1,00	-	-	-	-	1,9E-11	3,0
		Bleve	2,1E-09	140	70	1,00	1,00	0,00	0,07	210	105	2,9E-10	27,8
2.3	7,0E-07	Giftig gasmoln M	7,7E-10	100	50	0,10	1,00	0,03	0,30	114	57	7,7E-11	1,2
		Giftig gasmoln KT	2,7E-11	36	240	0,10	1,00	0,03	0,30	121	374	2,7E-11	4,8
		Giftig gasmoln KL	7,9E-11	240	18	0,10	1,00	0,03	0,30	374	61	7,9E-11	0,8
3.	2,1E-06	Stor pölbrand	1,1E-07	30	15	1,00	1,00	-	-	-	-	7,0E-09	0,0
		Liten pölbrand	1,7E-07	26	13	1,00	1,00	0,00	0,04	30	15	1,1E-08	0,0
5.1	9,0E-07	Stor explosion	5,3E-11	290	75	0,17	1,00	-	-	-	-	1,5E-11	4,7
		Liten explosion	8,2E-11	225	75	0,17	1,00	-	-	-	-	1,8E-11	4,7

Tabell 3. Resultaten av riskberäkningarna nattetid

Sammanställning av beräkningsresultat nattetid													161219	
Natt	Klass	F _{klass/år} , km	Scenario	F _{scen/år} , km	Effektområde 1			Effektområde 2			Riskanalys område 1 Mariestad			
					längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	F _{scen/år}	Om-komma
1.	0,0E+00	Massexplosion	0,0E+00	290	75	0,17	1,00	1,00	-	-	-	0	7,4	
2.1	6,5E-06	Jet	5,5E-09	70	90	1,00	1,00	1,00	70	90	0,00	0,10	3,8E-10	84,0
		Gasbrand M	8,5E-10	260	130	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	2,2E-10	84,0
		Gasbrand KT	7,6E-11	10	70	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	7,6E-11	8,5
		Gasbrand KL	6,4E-11	70	5	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	6,4E-11	0,0
		Gasexplosion M	5,7E-10	330	165	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	1,9E-10	84,0
		Gasexplosion KT	7,7E-11	95	95	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	7,7E-11	84,0
		Gasexplosion KL	5,8E-11	95	47	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	5,8E-11	6,2
		Bleve	6,3E-09	140	70	1,00	1,00	1,00	210	105	0,00	0,07	8,8E-10	55,6
2.3	2,1E-06	Giftig gasmoln M	2,3E-09	100	50	0,10	1,00	1,00	114	57	0,03	0,30	2,3E-10	1,6
		Giftig gasmoln KT	8,2E-11	36	240	0,10	1,00	1,00	121	374	0,03	0,30	8,2E-11	6,5
		Giftig gasmoln KL	2,4E-10	240	18	0,10	1,00	1,00	374	61	0,03	0,30	2,4E-10	1,1
3.	6,2E-06	Stor pölbrand	3,4E-07	30	15	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	7,0E-09	0,0
		Liten pölbrand	5,2E-07	26	13	1,00	1,00	1,00	30	15	0,00	0,04	3,2E-08	0,0
5.1	2,7E-06	Stor explosion	1,6E-10	290	75	0,17	1,00	1,00	-	-	-	-	4,6E-11	7,4
		Liten explosion	2,5E-10	225	75	0,17	1,00	1,00	-	-	-	-	5,5E-11	4,7

I tabell 4 och 5 redovisas resultaten som representeras av de lila kurvor i *figur 20 och 21* i rapporten.

Tabell 4. Resultaten av osäkerhetsberäkningarna dagtid

Sammanställning av beräkningsresultat dagtid												161208			
Klass	F _{klass} /år, km	Scenario	F _{scen} /år, km	Effektområde 1				Effektområde 2				Riskanalys område 1 Mariestad centrum			
				längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	F _{scen} /år	Omkomna		
1.	0,0E+00	Massexplosion	0,0E+00	290	75	0,17	1,00	-	-	-	-	-	-	0	4,7
2.1	6,5E-06	Jet	5,5E-09	70	90	1,00	1,00	70	0,10	0,00	0,00	0,10	0,10	3,8E-10	42,0
		Gasbrand M	8,5E-10	260	130	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	2,2E-10	42,0
		Gasbrand KT	7,6E-11	10	70	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	7,6E-11	4,2
		Gasbrand KL	6,4E-11	70	5	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	6,4E-11	0,0
		Gasexplosion M	8,5E-10	330	165	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	1,9E-10	42,0
		Gasexplosion KT	7,7E-11	95	95	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	7,7E-11	42,0
		Gasexplosion KL	5,8E-11	95	47	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	5,8E-11	3,0
		Bleve	7,6E-09	140	70	1,00	1,00	210	0,07	0,00	0,00	0,07	0,07	1,1E-09	27,8
2.3	2,1E-06	Giftig gasmoln M	2,3E-09	100	50	0,10	1,00	114	0,30	0,03	0,03	0,30	0,30	2,3E-10	1,2
		Giftig gasmoln KT	8,2E-11	36	240	0,10	1,00	121	0,30	0,03	0,03	0,30	0,30	8,2E-11	4,8
		Giftig gasmoln KL	2,4E-10	240	18	0,10	1,00	374	0,30	0,03	0,03	0,30	0,30	2,4E-10	0,8
3.	6,2E-06	Stor pölbrand	3,4E-07	30	15	1,00	1,00	-	-	-	-	-	-	2,1E-08	0,0
		Liten pölbrand	5,2E-07	26	13	1,00	1,00	30	0,04	0,00	0,00	0,04	0,04	3,2E-08	0,0
5.1	2,7E-06	Stor explosion	4,8E-10	290	75	0,17	1,00	-	-	-	-	-	-	1,4E-10	4,7
		Liten explosion	7,4E-10	225	75	0,17	1,00	-	-	-	-	-	-	1,7E-10	4,7

Tabell 5. Resultaten av osäkerhetsberäkningarna dagtid

Sammanställning av beräkningsresultat nattetid											161208				
Natt	Klass	F _{klass} /år, km	Scenario	F _{scen} /år, km	Effektområde 1			Effektområde 2			Riskanalys område 1 Mariestad				
					längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	F _{scen} /år	Omkomna	
1.	0,0E+00	0,0E+00	Massexplosion	0,0E+00	290	75	0,17	1,00	1,00	-	-	-	0	7,4	
2.1	1,9E-05	1,6E-08	Jet	1,6E-08	70	90	1,00	1,00	1,00	70	90	0,00	0,10	1,2E-09	84,0
		2,6E-09	Gasbrand M	2,6E-09	260	130	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	6,6E-10	84,0
		2,3E-10	Gasbrand KT	2,3E-10	10	70	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	2,3E-10	8,5
		1,9E-10	Gasbrand KL	1,9E-10	70	5	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	1,9E-10	0,0
		1,7E-09	Gasexplosion M	1,7E-09	330	165	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	5,6E-10	84,0
		2,3E-10	Gasexplosion KT	2,3E-10	95	95	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	2,3E-10	84,0
		1,7E-10	Gasexplosion KL	1,7E-10	95	47	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	1,7E-10	6,2
		2,3E-08	Bleve	2,3E-08	140	70	1,00	1,00	1,00	210	105	0,00	0,07	3,2E-09	55,6
2.3	6,3E-06	6,9E-09	Giftig gasmoln M	6,9E-09	100	50	0,10	1,00	1,00	114	57	0,03	0,30	6,9E-10	1,6
		2,5E-10	Giftig gasmoln KT	2,5E-10	36	240	0,10	1,00	1,00	121	374	0,03	0,30	2,5E-10	6,5
		7,1E-10	Giftig gasmoln KL	7,1E-10	240	18	0,10	1,00	1,00	374	61	0,03	0,30	7,1E-10	1,1
3.	1,8E-05	1,0E-06	Stor pölbrand	1,0E-06	30	15	1,00	1,00	1,00	-	-	-	-	2,1E-08	0,0
		1,6E-06	Liten pölbrand	1,6E-06	26	13	1,00	1,00	1,00	30	15	0,00	0,04	9,7E-08	0,0
5.1	8,1E-06	1,4E-09	Stor explosion	1,4E-09	290	75	0,17	1,00	1,00	-	-	-	-	4,2E-10	7,4
		2,2E-09	Liten explosion	2,2E-09	225	75	0,17	1,00	1,00	-	-	-	-	5,0E-10	4,7

4. Referenser

- Banverket 2001 Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Banverket Miljösektionen Rapport 2001:5m 2001-10-22
- EAI 1997 High explosive assessment model, 5th industrial version in SI units, Engineering Analysis Inc. 1997
- ERM 2008 SAFEX-paper Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong Express Rail Link: An overview of the explosives aspects in a quantitative risk analysis for the road transport of cartridged emulsion explosives and accessories through a densely populated area. ERM-Hong Kong Ltd, 2008
- FOA 1997 Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, Försvarets Forskningsanstalt, september 1997
- FOA 2000 Explosivämneskunskap, Institutionen för energetiska material, Försvarets Forskningsanstalt 2000
- PGS2 2005 Methods for the calculation of Physical Effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases), Dutch Organization for Applied Scientific Research under supervision of the Committee for the Prevention of Disasters, 2005.
- PGS3 2005 Guidelines for quantitative risk assessment, Dutch Organization for Applied Scientific Research under supervision of the Advisory Council in Dangerous Substances, 2005
- SRV 2005 Dynamisk lastpåverkan – Referensbok, Statens Räddningsverk, Karlstad, Avdelningen för stöd till räddningsinsatser, 2005
- SRV 2007 Bebyggelsens motståndsförmåga mot extrem dynamisk belastning, delrapport 1 Last av luftstötväg, Statens

Räddningsverk, Avdelningen för stöd till
räddningsinsatser, 2007

Bilaga 2

Riskberäkningar för transport av farligt gods på väg

Innehåll

1. Inledning	2
1.1 Beräkningsmetod.....	2
1.1.1 Inledning	2
1.2 Ingångsdata till scenarieberäkningar	5
2. Aktuella scenarierna	8
2.1. Scenarier med sprängämnen, klass 1.1	8
2.2 Scenarier med brandfarliga gaser, klass 2.1	17
2.3 Scenarier med giftiga gaser, klass 2.3.....	22
2.4. Scenarier med mycket brandfarliga vätskor, klass 3.1	25
2.5. Scenarier med oxiderande ämnen, klass 5.1	27
3. Beräkningsresultat.....	29
4. Referenser.....	30

1. Inledning

1.1 Beräkningsmetod

1.1.1 Inledning

Riskberäkningsmetoden kan delas upp i fyra steg.

1. Beräkning av sannolikhet för olyckor med olika ämnen
2. Beräkning av sannolikhet av olika scenarier utifrån händelsetråd
3. Beräkning av konsekvenserna av dessa scenarier avseende antalet omkomna utomhus och inomhus
4. Sammanräkning av resultaten som individrisk och samhällsrisk

Alla beräkningar genomförs i excelblad. Dessa excelblad finns för insyn för myndigheterna och endast vissa utdrag publiceras här.

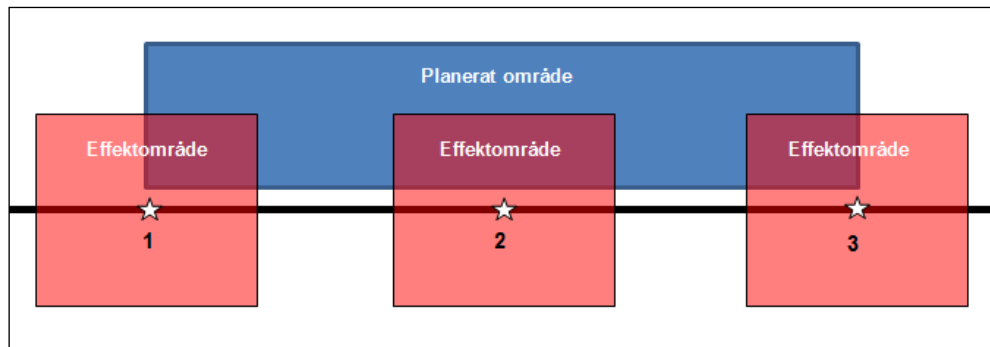
Sannolikheter och effektområdets storlek har, för klass 2.1, klass 2.2 och klass 3 tagits från den nederländska beräkningsmetoden RBMII som är en av den nederländska staten godkänd metod för riskberäkning vid transport av farligt gods utifrån de modeller som presenteras i den s.k. Gula Boken (PGS2 2005) och Lila Boken (PGS3 2005). För klass 1.1 och klass 5.1 anges mera i detalj hur sannolikheterna och effektområdets storlek har beräknats.

1.1.2 Sannolikhetsberäkning

Sannolikheten för en olycka med transport av farligt gods beräknas utifrån de av Trafikverket angivna sannolikheter för personskaedolyckor per fordonskilometer på en vägsträcka av den aktuella typen (Vägverket 2008). Olycksrisken för enstaka fordon har beräknats ur risken per fordonskilometer för olyckor på vägsträckan med antagandet en viss andel av olyckorna är singelolyckor och resten olyckor har två fordon inblandade. Uppgifterna om hur stor andel av olyckorna är singelolyckor fås från rapporten Farligt gods – Riskbedömning vid transport (SRV 1996).

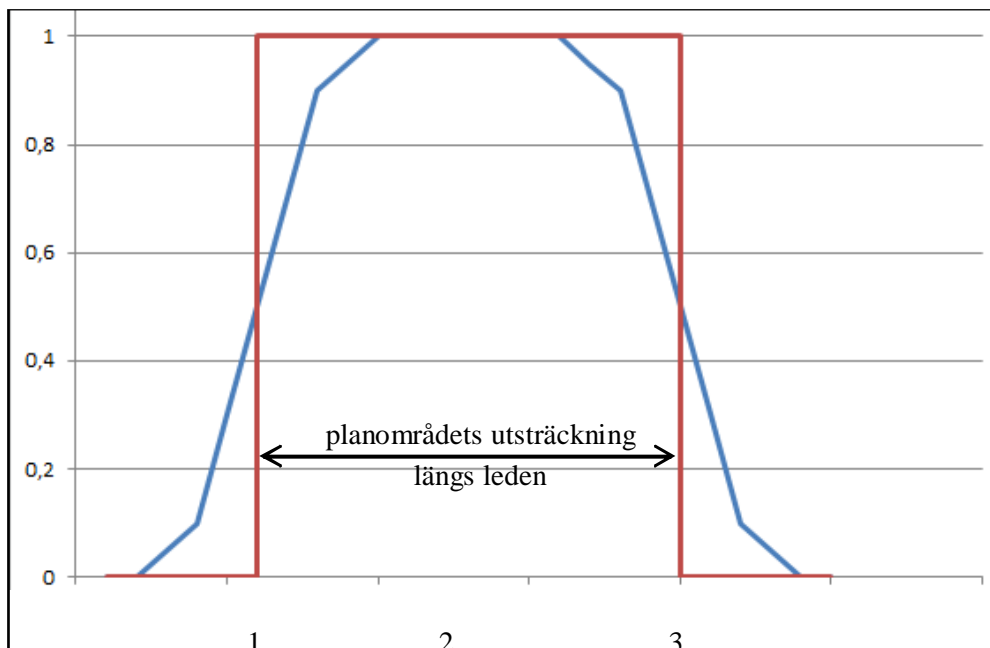
Antal transporter med de olika klasser farligt gods ger sedan antalet olyckor med transporter av de olika klasser farligt gods per kilometer. Beräkningsresultaten för dessa olyckor finns i *figur 4*. Att sannolikheten beräknas per kilometer beror på att vägsträckan som skall användas i sannolikhetsberäkningar varierar beroende på vilket scenario som är aktuellt

För samhällsrisken förklaras detta i *figur 1 till 3* nedan.



Figur 1. Tre olika lägen för en olycka med farligt gods med effektområde mindre än det planerade området.

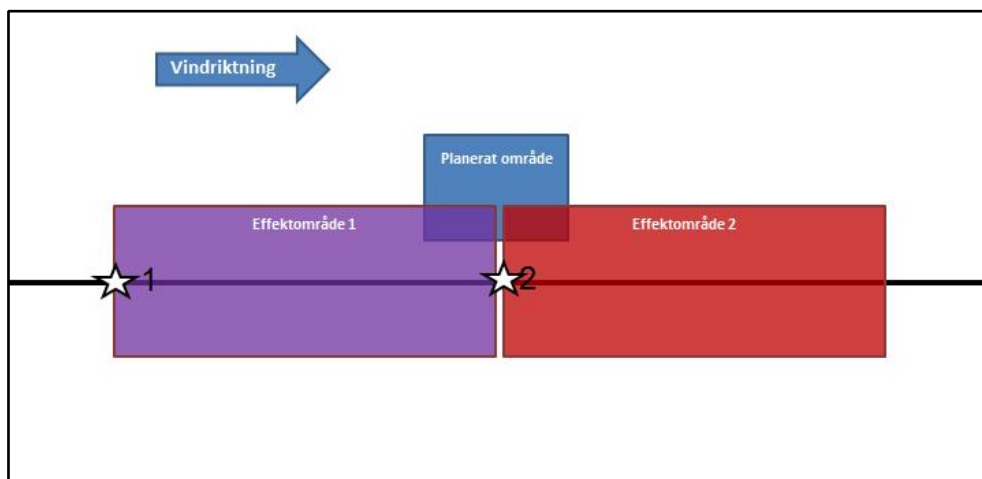
Tre lägen för olyckor visas. I läge 1 drabbas området av halva effekten, i läge 2 av hela effekten och läge 3 åter av halva effekten. Till vänster om läge 1 och till höger om läge 3 drabbas området av mindre än halva effekten. Detta förenklas till att området drabbas av hela effekten (som i olycksplats 2) för alla olyckslägen mellan 1 och 3. Olyckor utanför denna sträcka tas däremot inte med i beräkningen. Approximationen förtydligas i figur 2 nedan.



Figur 2. Förenkling av effekten av olyckor med farligt gods.

Om effektområdets längd utmed leden är större än planområdets längd utmed leden så är det effektområdets längd som är utgångspunkten. Detta visas i figur 3 som

visar effektområdet för exempelvis ett gasmoln som blåses av vinden längs med vägen. Om olyckan sker mellan läge 1 och läge 2 så antas området drabbas av effekten. Avståndet är lika med effektområdets utsträckning längs leden.



Figur 3. Två olika lägen (lila resp röda effektområdet) för en olycka med farligt gods (gas i detta fall) med effektområde större än det planerade området.

Vid individriskberäkningar bestäms sannolikheten för olyckor alltid av effektområdenas utsträckning längs leden.

Sannolikheten att en olycka leder till ett utsläpp av betydelse (>100 kg) för klass 2.1, 2.3, 3 och 5.1 har tagits från RBMII.

Händelseträden för klass 1.1 och klass 5.1 förklaras i nästa kapitel vid aktuella scenarier

Händelseträden för klass 2.1, 2.3 och 3 har tagits från RBMII.

1.1.3 Konsekvenser

Konsekvenserna beräknas med hjälp av effektområden för scenarier för ämnen i klass 2.2, 2.3 och 3. För ämnen i klass 1.1 och 5.1 används en något annorlunda metod som förklaras vid dessa scenarier.

Effektområden har tagits från den nederländska metoden RBMII som är föreskriven metod i Nederländerna vid denna sorts beräkningar. Effektområden har förenklats till att vara rektangulära. Storleken på dessa effektområden är generellt något större än på de effektområden som används i RBMII vilket leder till mera konservativa beräkningar.

I vissa fall finns det skäl att använda två effektområden i ett scenario. Detta är fallet när effekten av olyckan endast avklingar långsamt som exempelvis för olyckor med giftiga gaser i klass 2.3. För många scenarier avklingar effekten ganska snabbt från att alla omkommer till att nästan inga omkommer. I dessa fall används endast ett effektområde vars storlek har utökats för att även täcka de delar där endast en del av de närvarande omkommer.

Vindens påverkan tas med för de effekter som beror på vindriktningen. Alla vindriktningar mot området samlas till en vindriktning lodrätt från leden mot området. Vindriktningar längs leden beaktas också då vissa scenarier ger plymer längs leden som påverkar närmast leden.

Antalet omkomna i ett scenario beräknas utifrån ytan på området där scenariot påverkar, antal personer som befinner sig ute och inne inom detta område samt andelen av dessa som omkommer.

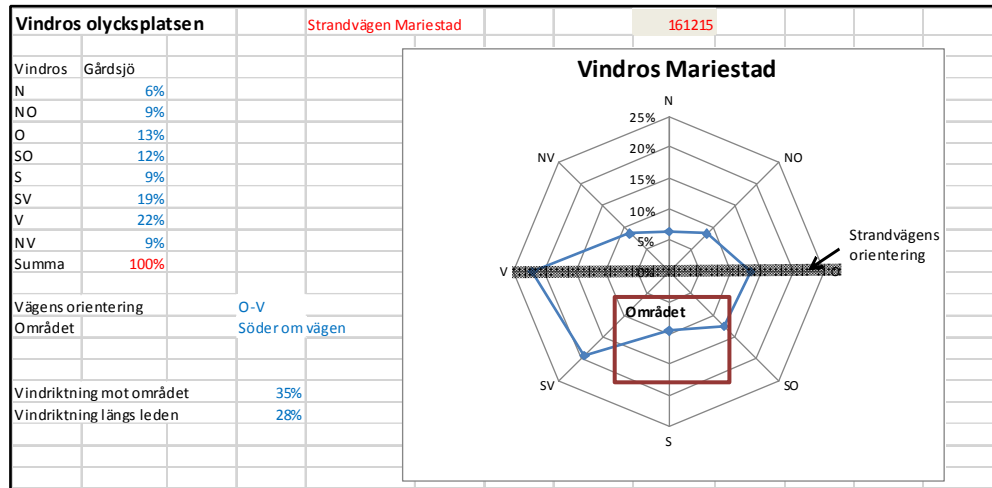
1.2 Ingångsdata till scenarieberäkningar

Resultaten av beräkningen av olycksrisk per kilometer för de olika klasser farligt gods framgår av *figur 4*. Där framgår också beräkningarna av persontäthet inom området och i husen närmast vägen.

Ingångsdata		Strandvägen Mariestad		161215
Olycksrisk				
Risk för olycka	1,4E-07	1/fordonskm, år		
Andel singelolyckor	0,15			
Olycksrisk fordon	2,50E-07	1/km, år		
Område enl nedan	3	ange siffervärde		
Sannolikhet utströmning > 100 kg				
Område		Kondenserade gaser	Vätskor	
Motorväg	1	0,052	0,101	
Utanför tätort	2	0,034	0,077	
Inom tätort	3	0,006	0,021	
60 km/h	4	0,02	0,049	
Sannolikhet utströmning olika klasser				
	antal transporter	risk olycka/km	risk>100 kg	olycksrisk/km, år
Klass 1, massexplisiv		0,0E+00	1	0,0E+00
Klass 2.1		0,0E+00	0,006	0,0E+00
Klass 2.3		0,0E+00	0,006	0,0E+00
Klass 3, bensin	100	2,5E-05	0,021	5,2E-07
Klass 5.1, explosionsrisk		0,0E+00	0,021	0,0E+00
Områdesinfo				
	Inne	Ute		
Befolkningstäthet	8,7E-02	1,1E-03		
Områdets storlek				
	Inne	Ute		
Planområdets avstånd leden	14	2 m		
Planområdets bredd (bort från vägen)	40	100 m		
Planområdets längd (längs vägen)	40	100 m		
Antal personer total	150			
Andel närv dagtid	100%			
Antal personer dagtid	150			
	Inne	Ute		
Andel i %	93%	7%		
Antal personer	139,5	10,5		
Antal personer första raden totalt	150			
Andel närv dagtid	100%			
Antal personer dagtid	150			
	Inne	Ute		
Andel i %	93%	7%		
Antal personer	139,5	10,5		

Figur 4. Ingångsvärden för riskberäkningarna

I figur 5 visas vindrosen som används vid beräkningar av vissa scenarier med gasutsläpp. Beräkningen av andelen av tiden som vinden kan föra gasen mot området respektive längs vägen framgår.



Figur 5. Vindros för Järfälla

2. Aktuella scenarierna

Här ges en generell beskrivning av scenarierna som kan leda till betydande konsekvenser för området utifrån de klasser farligt gods som kan komma att transporteras, *se rapporten*.

2.1. Scenarier med sprängämnen, klass 1.1

2.1.1 Sannolikheter

Sannolikheten för en olycka med massexplosiva sprängämnen framgår av *figur 4*

Vid en olycka finns olika utfall som här förenklas till följande:

- ingen brand eller explosion,
- explosion på grund av den mekaniska påverkan vid olyckan,
- brand i fordonet som inte leder till explosion,
- brand i fordon som leder till explosion.

Sannolikhet för explosion på grund av den mekaniska påverkan vid olyckan

Sprängämnen som transporteras antas vara av emulsionstyp som är den typen som huvudsakligen används inom gruvindustrin. Ett antal studier har rapporterats (ERM 2008, FOA 2000) som visar att den hastighet som krävs för att en stöt skall leda till explosion av sprängämnet är jämförbara med typiska hastigheter för kulor från skjutvapen (500 m/s dvs. 1800 km/t). Vid förhöjda temperaturer sänks visserligen denna hastighet men ligger fortfarande vida över vad som förekommer vid en olycka.

Tidigare studier har visat att den kritiska hastigheten för att en projektil skall leda till en explosion för ett emulsionssprängämne är några tiotals gånger större än för dynamit. En studie med fallvikter på nitroglycerinbaserade sprängämnen har visat att sannolikheten för antändning låg under 0,1 %. I studien simulerades den stöten som skulle orsakas av ett fall på 12 m.

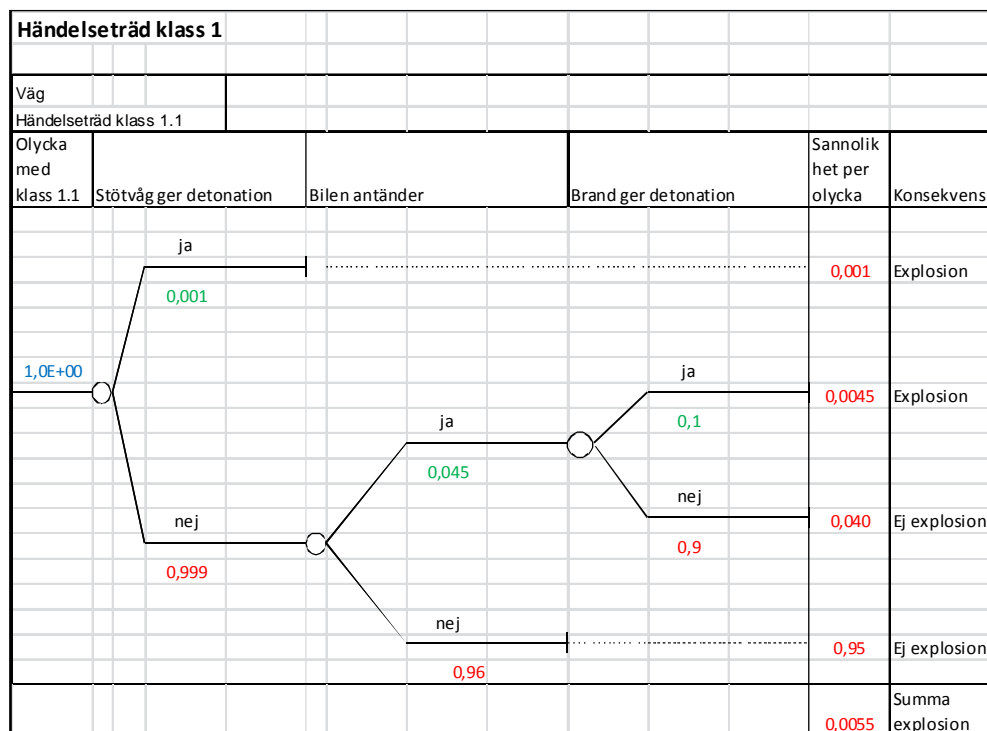
Sammantaget bedöms det att sannolikheten för detonation på grund av stöt vid en olycka med emulsionssprängämnen ligger under 0,1 %. Detta värde kommer att användas vid sannolikhetsberäkningarna.

Sannolikhet för detonation på grund av brand

Sannolikheten för att en olycka leder till en fordonsbrand beräknas utifrån statistik från USA då pålitlig svensk statistik saknas. Enligt statistiken (NFPA 2012, FEMA 2008, USCB 2012) förekom det under perioden 2005-2009 ca 52,7 miljoner

trafikolyckor på motorvägar i USA. Av dessa var lastbilar inblandade i ca 3,1 % eller 1,6 miljoner olyckor. Av trafikolyckorna på motorväg under perioden 2005-2009 ledde ca 1,13 miljoner till brand i fordon. Av dessa olyckor med brand i fordon berörde ca 6,4 % eller 72 600 lastbilar. Andelen trafikolyckor med lastbilar som ledde till brand är således $72\,600/1\,600\,000 = 4,5\%$ under 2005-2009 i USA. Denna siffra används som sannolikhet för att lastbil fattar eld vid en olycka.

Sannolikheten att en brand leder till detonation av sprängämnet uppskattas grovt till 10 %. Händelseträdet för olycka med sprängämnen visas i *figur 6*.



Figur 6. Händelseträd för olycka med sprängämnen, klass 1.1.

Resultaten av sannolikhetsberäkningar för fallet att en massexplosion på grund av en olycka med en sprängämnestransport visas i *tabell 2*, *avsnitt 3*.

2.1.2 Konsekvenser

Explosionslast

Vid beräkning av explosionslast utgår från en explosion av 16 ton TNT. Mängden sätts till 16 ton då detta är den maximalt tillåtna mängden som får transporteras i en vägtransport. Att välja TNT görs för att inte underskatta explosionsstyrka, ämnet

som transporteras mest är ANFO vars explosionsstyrka ligger på ca 82 % av TNT. För att inte underskatta riskerna väljs dock TNT.

Explosionens övertryck och impuls har beräknats nedan. Både oreflekterade och reflekterade värden har beräknats. De reflekterade värdena är aktuella när explosionen träffar en yta som är riktat vinkelrät mot explosionen. De oreflekterade värdena gäller för ytor som är riktade i samma riktning som explosionen.

Explosionsstyrkan beräknas med hjälp av *figur 7 och 8* som tagits från rapporten Dynamisk lastpåverkan – Referensbok (SRV 2005). För en närmare förklaring av beräkningsmetoden hänvisas till denna rapport.

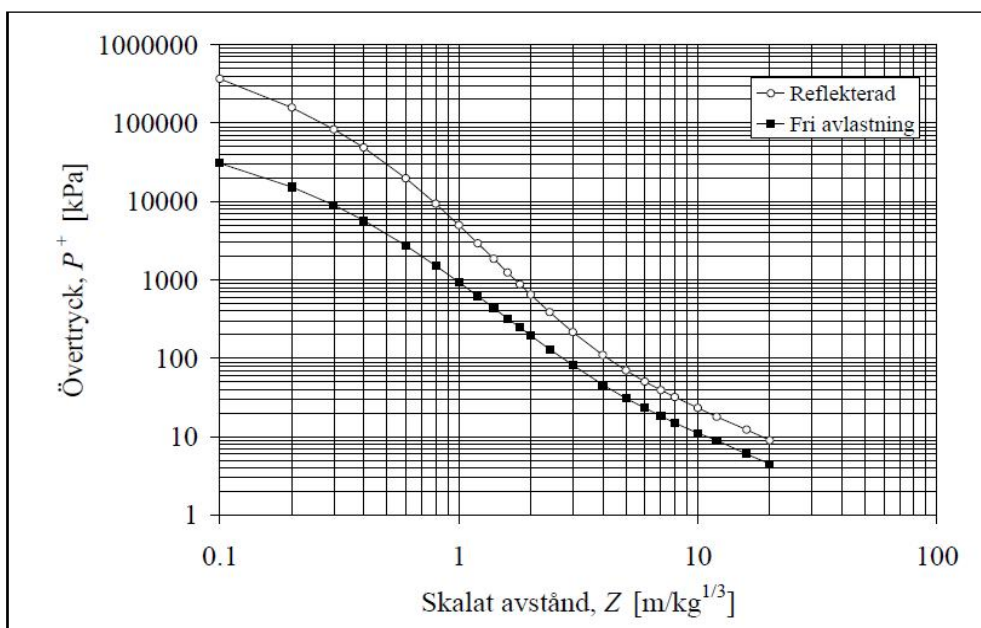
Z är det ska skalade avståndet enligt nedan

$$Z = \frac{R}{M^{1/3}}$$

R = avstånd från explosionscentrum (m)

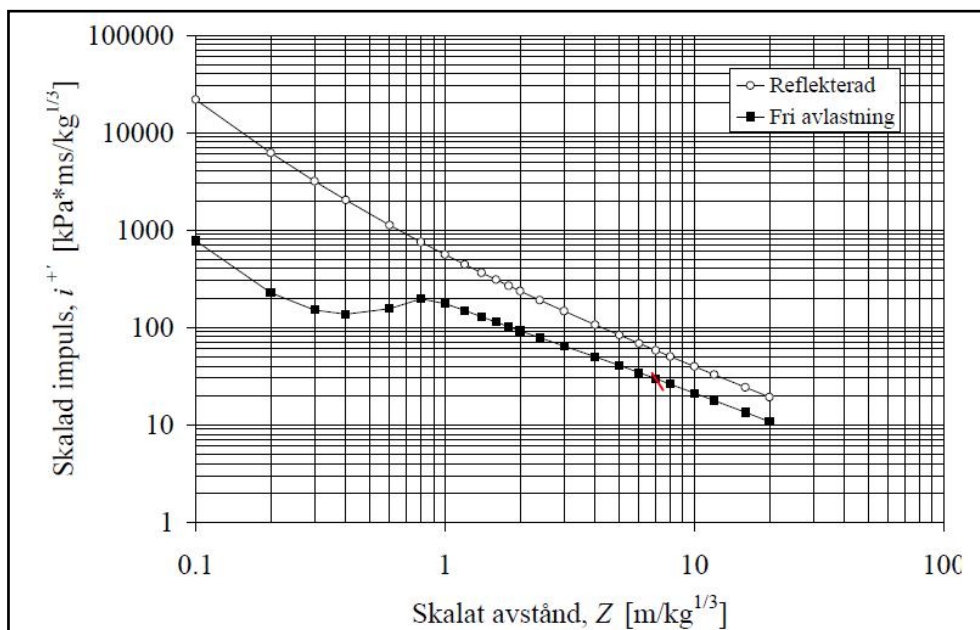
M = mängd sprängämne i explosionen (kg)

Figur 7 ger övertrycket p_+



Figur 7 Reflekterat och oreflekterat övertryck som funktion av det skalade avståndet Z (från SRV 2007).

Figur 8 ger den skalade impulsen delat med kubikroten ur mängden sprängämne: $i_+/M^{1/3}$. Den skalade impulsintensiteten räknas sedan ut genom att multiplicera med $M^{1/3} = 16000^{1/3} = 25,2 \text{ kg}^{1/3}$.



Figur 8. Reflekted och oreflekted impulsintensitet som funktion av det skalade avståndet Z (från SRV 2007).

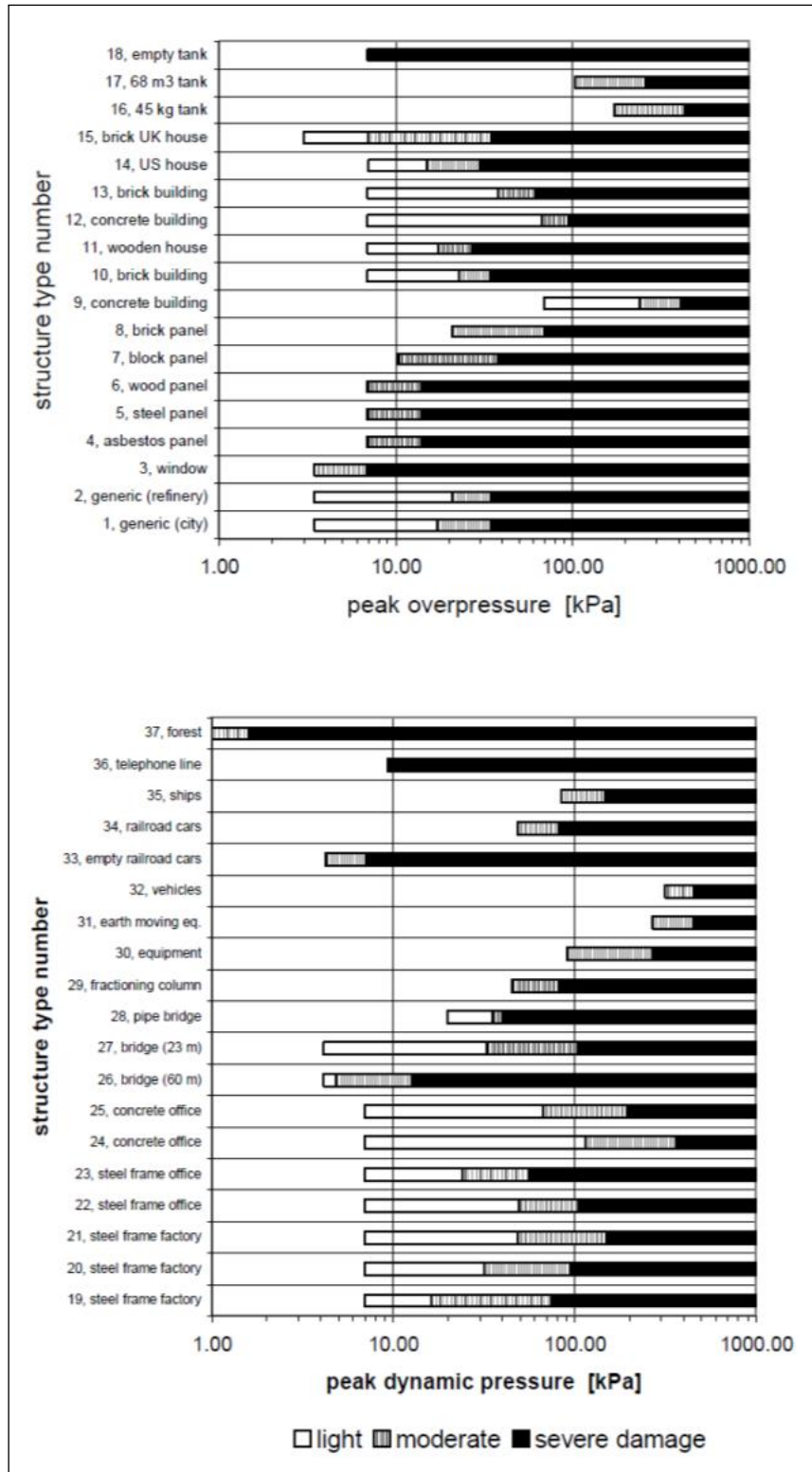
Resultaten visas i tabell 1.

Tabell 1. Reflekted och oreflekted tryck och impulstthet som funktion av avståndet till explosionscentrum.

Avstånd	Z	p^+	p_r	i^+	i_r
m	$\text{m/kg}^{1/3}$	kPa	kPa	kPas	kPas
25	1,0	900	5000	4,8	14,0
50	2,0	200	750	2,3	6,3
63	2,5	120	400	1,8	4,3
75	3,0	80	220	1,6	3,3
100	4,0	45	110	1,3	2,6
125	5,0	33	70	1,0	2,0
150	6,0	23	50	0,9	1,8
175	6,9	20	40	0,8	1,5
200	7,9	15	33	0,7	1,3

Skador på bebyggelsen

Enligt amerikanska undersökningar (EAI 1997) rasar hus vid ett övertryck (p^+) på 25-35 kPa medan en vanlig stadsbebyggelse bedöms få allvarliga skador vid ungefär samma övertryck, se *figur 9 och 10*. Detta tryck uppnås enligt *tabell 1* ungefär 125 m från platsen för explosionen.



Figur 9 Övertryck som leder till raserade byggnader mm.

Type	Description of structure
1	city
2	refinery
3	glass windows, large and small
4	corrugated asbestos siding
5	corrugated steel or aluminum panelling
6	wood siding panels, standard house construction
7	concrete or cinder-block wall panels, 8" or 12" thick (not reinforced)
8	brick wall panel, 8" or 12" thick (not reinforced)
9	blast-resistant reinforced concrete windowless building
10	multi-storey wall-bearing building, brick apartment house type, up to three storeys
11	wood-frame house
12	multi-storey reinforced concrete building with concrete walls, small window area, three to eight storeys
13	multi-storey wall-bearing building, monumental type, up to four storeys
14	typical American-style house
15	typical brick-built English house
16	45 kg LPG tank
17	68000-litre LPG bulk gas plant
18	floating- or conical roof tanks, empty
19	light steel frame industrial building, single storey, with up to 5-ton crane capacity, low strength walls which fail quickly
20	heavy steel frame industrial building, single storey, with 25- to 50-ton crane capacity, lightweight low strength walls which fail quickly
21	heavy steel frame industrial building, single storey, with 60- to 100-ton crane capacity, lightweight low strength walls which fail quickly
22	multi-storey steel frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, earthquake-resistant design
23	multi-storey steel frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, non-earthquake-resistant design
24	multi-storey reinforced concrete-frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, earthquake-resistant construction.
25	multi-storey reinforced concrete-frame office-type building, 3 to 10 storeys. Lightweight low strength walls which fail quickly, non-earthquake-resistant construction.
26	railroad girder bridges, single track deck or through, open floors, span 200 ft (60 m)
27	railroad girder bridges, single track deck or through, open floors, span 75 ft (23 m)
28	pipe bridge
29	fractioning column
30	truck-mounted engineering equipment (unprotected)
31	earth-moving engineering equipment (unprotected)
32	transportation vehicles
33	unloaded railroad cars
34	loaded boxcars, flatcars, full tank cars, and gondola cars (side-on orientation)
35	merchant shipping
36	telephone lines (transverse)
37	average deciduous forest stand

Figur 10. Beskrivning av byggnadstyper mm i figur 9.

Sammantaget antas att byggnader närmast vägen får allvarliga skador inom 125 m från explosionen. Bebyggelsen bakom skyddas i stor utsträckning av husen framför och antas inte få lika betydande skador.

Storleken av området längs vägen där husen rasar beräknas utifrån husens avstånd till vägen och Pythagoras sats.

Inom området där husen skadas allvarligt antas att husens raszon sträcker sig in mot ungefär halva huset och att det i raszonen omkommer cirka en tredjedel av de personer som vistas där (FOA 1997). Detta innebär att cirka en sjättedel av de boende inom detta område antas omkomma vid en explosion med sprängämnen.

Antalet omkomna beräknas utifrån antal i husraden närmast vägen, resultaten visas i *tabell 2*.

Skador utomhus

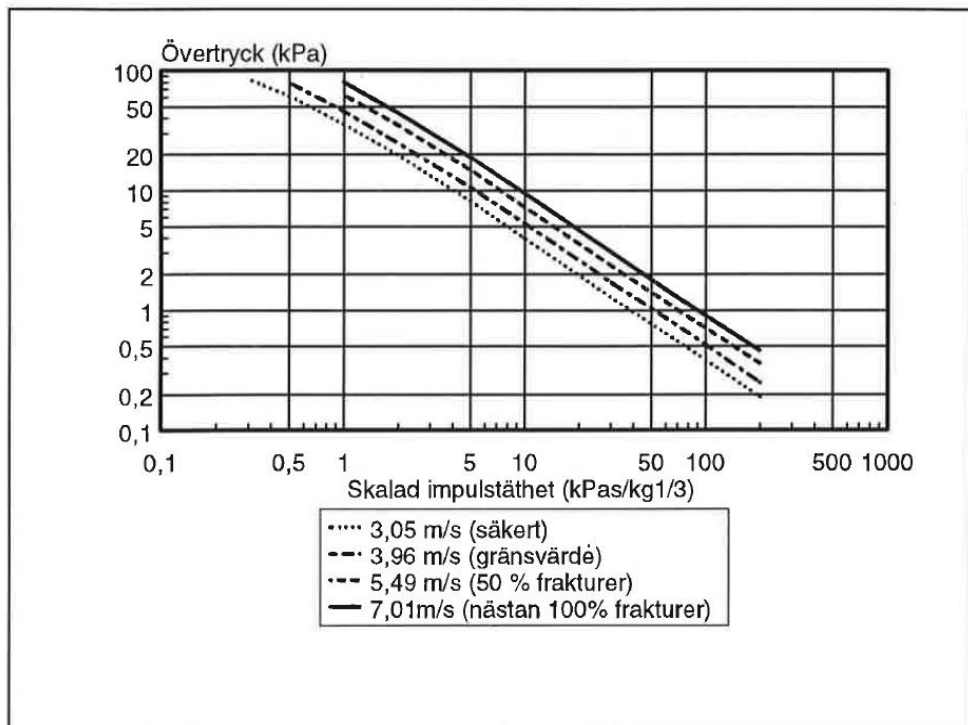
Direkta skador pga. tryck

Människan tål tryck relativt bra. Gränsen för lungskador anges vara ca 70 kPa, döda på grund av lungskador förväntas vid 180 kPa och 50 % omkomna vid 260 kPa. Detta innebär att inga omkomna förväntas pga. lungskador på ett avstånd på mer än 50 m från explosionen (FOA 1997).

Indirekta skador

Indirekta skador kan uppstå genom att någon kastas mot något hårt föremål av tryckvågen eller att personer träffas av nedfallande byggnadsdelar.

Som skademått för skador pga. att någon kastas av tryckvågen tas skallskador. Enligt FOA får en person med kroppsvikt 70 kg skallfraktur på ca 50 m från explosionen, se *figur 11* och *tabell 1*. På 75 m har sannolikheten avtagit till 50 % och minskar till 10 % på ca 90 m.



Figur 11. Kombinationer av övertryck och skalad impulstäthet som ger allvarliga skador vid islag av huvudet (från FOA 1997).

Personer utomhus kan även omkomma av fallande byggnadsdelar eller splitter och vi antar därför att alla personer som befinner sig kring hus som förväntas rasera omkommer i explosionen.

En gynnsam omständighet som inte beaktats i detta scenario är att det kommer att ta tid innan en brand i ett fordon med sprängämnen sprider sig till lasten och ger upphov till en explosion. Under denna tidsperiod finns möjligheter att evakuera personer från området. Praktiska erfarenheter från olyckor med sprängämnen visar att evakueringen ofta har kunnat genomföras och lett till en reduktion av antalet omkomna.

Det här beskrivna scenariot ger därför konservativa värden för det förväntade antalet omkomna.

Individrisk

En person antas omkomma om han befinner sig i området kring den bebyggelse som kommer att rasa vid en massexplosion. Avståndet beror på avståndet mellan transportleden och husen och husens bredd, som default används 30 m för detta.

Sannolikheten beräknas med att explosionen måste ske på de 250 m av vägen som är närmast individen.

Samhällsrisk

Sannolikheten för en person att omkomma inomhus är 17 % i de hus som antas rasa vid massexlosionen, dvs de som ligger inom 125 m från olycksplatsen. Alla personer som befinner sig utomhus kring husen antas omkomma, se avsnittet om individrisk.

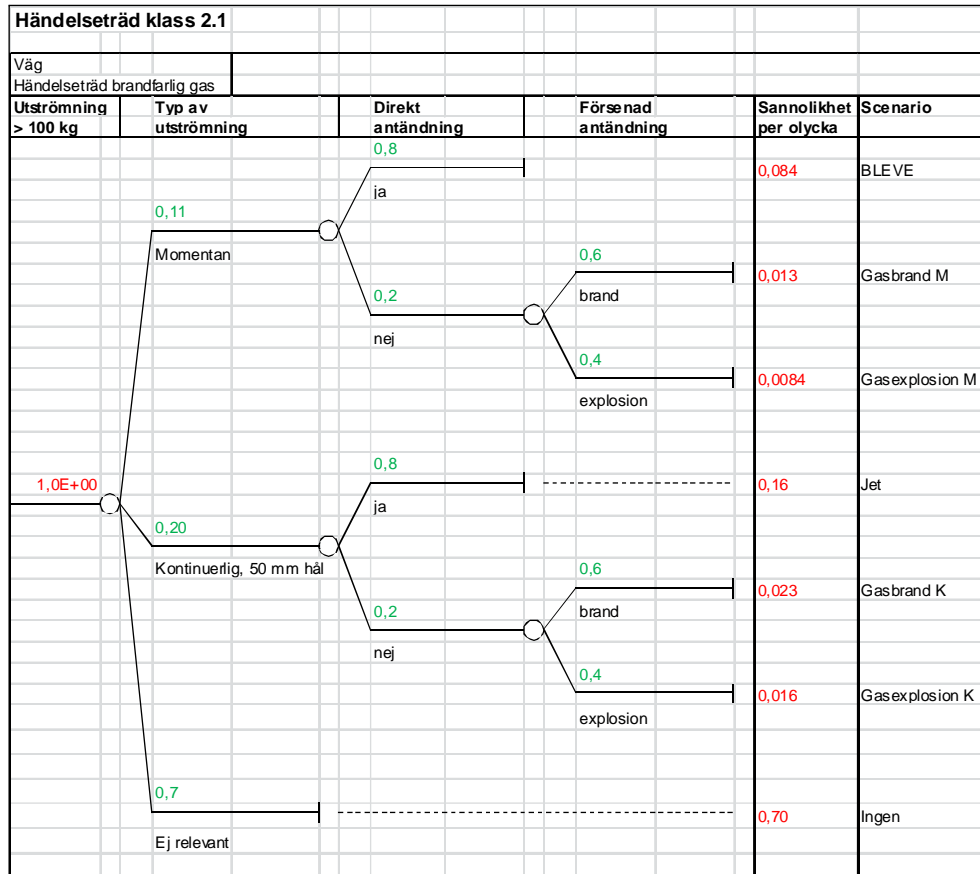
2.2 Scenarier med brandfarliga gaser, klass 2.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med brandfarliga gaser per kilometer transportled har beräknats på samma sätt som för massexplösiva ämnen i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 3*.

2.2.1 Scenario Jetflamma

I detta scenario uppstår ett hål på 5 cm i tanken på tankfordon med komprimerad brandfarlig gas. Gasen sprutar ut och antänds vilket leder till en låga som sträcker sig från olycksplatsen in mot området. Inom ett område av 45x74 m (längs vägen x in mot området) förväntas alla omkomma. Utomhus på grund av att människorna hamnar i eller nära lågan, inomhus då byggnaden fattar eld och brinner ner.

Av händelseträdet för brandfarliga gaser, *figur 12*, framgår att sannolikheten för scenario Jetflamma vid en olycka med brandfarlig gas med betydande utströmning är lika med 0,16.



Figur 12. Händelseträd olycka med brandfarlig gas

Individrisk

Scenario Jetflamma antas leda till att oskyddade individer utomhus omkommer inom ett område på 45 m av leden i ledens riktning och som sträcker sig ca 74 m in i området.

En individ omkommer om olyckan sker på de närmaste 45 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 74 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inom ett område på 45 m längs vägen och 74 m in från vägen antas omkomma, såväl inomhus som utomhus.

2.2.2 Scenario Gasbrand vid momentant utsläpp

I detta scenario havererar tanken och hela innehållet släpps ut momentant. Gasen blandas med luft tills den lägre brännbarhetsnivån är nådd (LFL) då gasen antänds. Förbränningen kan ske som deflagration (flamfronten rör sig med en hastighet som är lägre än ljudets hastighet), vilket leder till en gasbrand, eller som en detonation (flamfronten rör sig med en hastighet som överstiger ljudets) vilket leder till en gasexplosion. Detta är scenario Gasbrand M respektive Gasexplosion M. För dessa scenarier spelar vindriktningen en mindre roll på grund av den stora mängden gas som expanderar och antänds snabbt. För scenario Gasbrand M antas gasmolnet ha sitt centrum på olycksplatsen och en storlek av 18 5x 185 m. Inom ett område av 185 x 93 m (längs vägen x in mot området) omkommer alla ute och inne. Effektområdet har valt med marginal så att det även tas hänsyn till att gasmolnet förflyttar sig i viss mån med vinden innan det antänds.

Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 10* och är lika med 0,013.

Individrisk

En individ omkommer vid detta scenario om han/hon befinner sig inom det brinnande molnet, dvs om olyckan händer inom 93 m från personen och om personen står på ett avstånd av mindre än 93 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inne i det brinnande gasmolnet antas omkomma, inne såväl som ute.

2.2.3 Scenario Gasbrand vid kontinuerligt utsläpp

I detta scenario uppstår ett hål på 5 cm i tanken på samma sätt som i scenario Jetflamma. Den brandfarliga gasen antänds inte direkt men sprids med vinden mot olycksplatsen. Gasen blandas med luft tills den lägre brännbarhetsnivån är nådd (LFL) då gasen antänds. Molnets utsträckning är då 50 x 10 m i vindriktningen. Förbränningen kan ske som deflagration (flamfronten rör sig med en hastighet som är lägre än ljudets hastighet), vilket leder till en gasbrand, scenario Gasbrand K, eller till en detonation (flamfronten rör sig med en hastighet som överstiger ljudets) vilket leder till en gasexplosion, detta är scenario Gasexplosion K.

Vid Scenario Gasbrand K antas alla som vistas i det brinnande molnet omkomma, såväl inomhus som utomhus.

Sannolikheten för Scenario Gasbrand K framgår av händelseträdet i *figur 12* och är lika med 0,023 vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 5*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen in mot området, detta är scenario Gasbrand KT. Blåser vinden i ledens riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasbrand KL. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individerisk

I scenario Gasbrand KT omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 10 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 50 m från leden.

I scenario Gasbrand KL omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 50 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 5 m från leden.

Samhällsrisk

I scenario Gasbrand KT antas personer omkomma inom ett område med längd 10 m längs leden och bredd 50 m in från vägen.

I scenario Gasbrand KL antas personer omkomma inom ett område med längd 50 m längs leden och bredd 5 m in från vägen.

2.2.4 Scenario Gasexplosion vid momentant utsläpp

Detta är samma som scenario Gasbrand M, med den skillnaden att gas/luftblandningen förbränns explosionsartat. En individ antas omkomma vid ett explosionstryck över 0,3 Bar. Detta inträffar vid en gasexplosion inom ett område på 252 x 252 m, centrum för explosionen antas ligga på leden.

Sannolikheten för detta vid en olycka med utsläpp av brandfarliga gaser framgår av händelseträdet i *figur 12* och är lika med 0,0084 vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas.

Individerisk

I scenario Gasexplosion M omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 252 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 126 m från leden.

Samhällsrisk

Personer som vistas inomhus eller utomhus inom ett område med längd 252 m längs leden och bredd 126 m från vägen antas omkomma. Inom ett område utanför detta område med längd 504 m och bredd 252 m antas 3 % av de som befinner sig inomhus omkomma.

2.2.5 Scenario Gasexplosion vid kontinuerligt utsläpp

Dessa scenarier är detsamma som scenario Gasbrand KT och KL med den skillnaden att gas/luftblandningen förbränns snabbare vilket leder till en gasexplosion. En individ antas omkomma vid ett explosionstryck över 0,3 Bar. Detta inträffar i ett område av 66x66 m. Sannolikheten för detta är enligt händelseträdet i *figur 12* lika med 0,016 per olycka med utsläpp av brandfarlig gas.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 5*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen in mot området detta är scenario Gasexplosion KT. Centrum för explosionen antas då ligga 33 m från vägen så att hela effektområdet a ligger vid sidan om vägen.

Blåser vinden i ledens riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasexplosion KL. Centrum för explosionen antas då ligga på vägen men mitt framför området. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasexplosion KT omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 66 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 66 m från leden.

I scenario Gasbrand KL omkommer en person om olyckan sker på de närmaste 66 m av leden från där personen står och om personen står på mindre än 33 m från leden

Samhällsrisk

I scenario Gasexplosion KT antas personer inomhus och utomhus omkomma inom ett område med längd 66 m längs leden och bredd 66 m in från vägen.

I scenario Gasexplosion KL antas personer omkomma inom ett område med längd 66 m längs leden och bredd 33 m in från vägen inomhus och utomhus.

2.2.6 Scenario BLEVE

Vid en BLEVE havererar tanken brandfarlig gas, mestadels på grund av en brand i en annan del av fordonet, vilket leder till ett momentant utsläpp som antänds direkt. Detta kallas en BLEVE och leder till att personer omkommer inom ett område av 80x80m. BLEVE:ns centrum ligger på olycksplatsen. Sannolikheten för detta scenario vid en olycka med utsläpp av brandfarlig gas framgår av händelseträdet i *figur 10* och är lika med 0,084 vid en olycka.

Individrisk

En person antas omkomma inom ett område med längd 80 m längs vägen och bredd 40 m in från vägen.

Samhällsrisk

I scenario BLEVE antas personer omkomma inom ett område med längd 80 m längs leden och bredd 40 m in från vägen inomhus och utomhus.

2.3 Scenarier med giftiga gaser, klass 2.3

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med giftiga gaser per kilometer transportled har beräknats på samma sätt som för massexplosiva ämnen i *tidigare avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 3*.

Händelseträdet för scenarier med giftiga gaser framgår i *figur 13* nedan.

Händelseträäd klass 2.3			
Händelseträäd väg, gas			
Utströmning > 100 kg	Utströmning	Sannolikhet per olycka	Scenario
	0,015 Momentant	0,015	Gasmoln M
1,0	0,20 Kontinuerligt 5 cm hål	0,20	Gasmoln K

Figur 13. Händelseträäd för olycka med giftiga gaser

2.3.1 Scenario Gasmoln M

I detta scenario havererar tanken och hela innehållet släpps ut momentant. På grund av det snabba händelseförloppet bedöms vindriktningens spela mindre roll. Effektområdena har dock anpassat för att ta hänsyn till spridning med vinden i olika riktningar. Storleken av effektområde 1 bedöms vara 70x70 m med centrum på olycksplatsen. Effektområde 2 har storlek 120x120 m.

Sannolikhet för scenariot framgår av händelseträdet i *figur 13* och är lika med 0,015 per olycka med utsläpp.

Individrisk

En person har 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 70 m av leden från där personen står och 35 m in från vägen. En person har 30 % att omkomma om olyckan sker på de närmaste 120 m av leden från där personen står och 60 m in från vägen.

Samhällsrisk

Inom effektområde 1 antas alla som vistas utomhus inom molnet omkomma. Av de som vistas inomhus antas ca 10 % omkomma. Inom effektområde 2 antas 30 % av de som vistas utomhus omkomma. Av de som vistas inomhus antas 3 % omkomma här.

2.3.2 Scenario Gasmoln K

Vid detta scenario uppstår ett hål på 5 cm i tanken med ammoniakgas. En gasplym uppstår som rör sig i vindriktningen. Sannolikheten för scenariot framgår av händelseträdet i *figur 12* och är lika med 0,20 per olycka med utsläpp.

Effektområde 1 har bredd 25 m och längd 135 m i vindriktningen. Effektområde 2 har bredd 75 m och längd 220 m i vindriktningen. Båda effektområden börjar vid olycksplatsen.

Sannolikheten för olika vindriktningar framgår av vindrosen i *figur 5*. Om vinden står rakt eller snett mot området så transporteras gasen till området, detta är scenario Gasmoln KT. Blåser vinden i ledens riktning transporteras gasen längs leden, detta ger scenario Gasmoln KL. Vid övriga vindriktningar förs gasen bort från området.

Individrisk

I scenario Gasmoln KT har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 25 m av leden från där personen står och 135 m in från vägen. En person har 30 % att omkomma om olyckan sker på de närmaste 75 m av leden från där personen står och 220 m in från vägen.

I scenario Gasmoln KL har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 135 m av leden från där personen står och 13 m in från vägen. En person har 30 % att omkomma om olyckan sker på de närmaste 220 m av leden från där personen står och 38 m in från vägen.

Samhällsrisk

Inom effektområde 1 antas alla som vistas utomhus inom molnet omkomma. Av de som vistas inomhus antas ca 10 % omkomma. Inom effektområde 2 antas 30 % av de som vistas utomhus omkomma. Av de som vistas inomhus antas 3 % omkomma här.

2.4. Scenarier med mycket brandfarliga vätskor, klass 3.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med mycket brandfarliga vätskor på har beräknats på samma sätt som i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 3*.

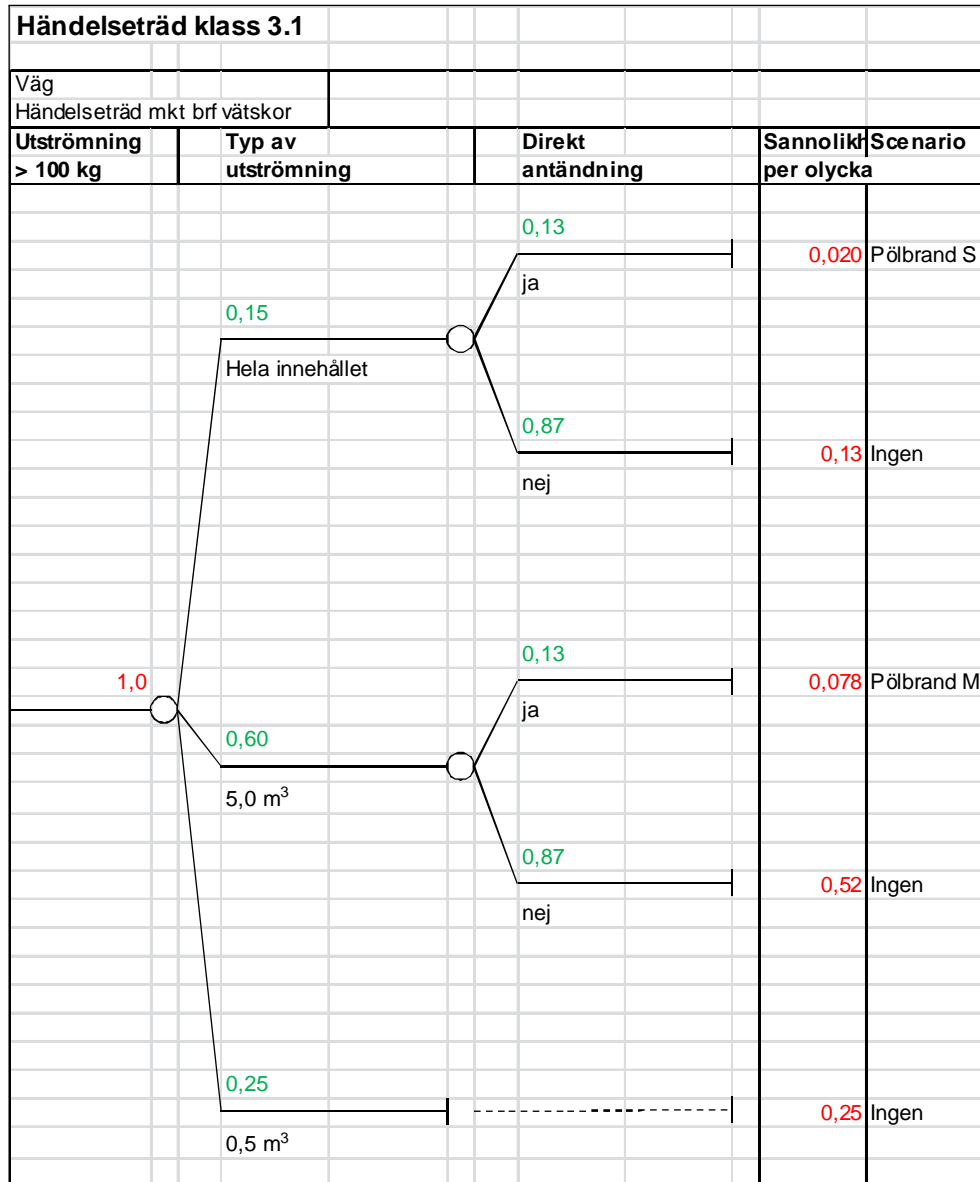
Händelseträdet för scenarier med mycket brandfarliga vätskor framgår i *figur 13* nedan.

2.4.1 Scenarier Pölbrand S och M

I scenario Pölbrand sker en olycka där tanken skadas och ett utsläpp sker av mycket brandfarlig vätska (exempelvis bensin) som rinner ut till en pöl som sedan antänds. Värmestrålningen kan leda till att människor omkommer. Vid en stor pölbrand (Pölbrand S) antas personer inom ett område på 48x48 m omkomma, såväl inne som ute. Vid en mindre pölbrand (Pölbrand M) antas personer inom ett område på 25x25 m omkomma såväl inne som ute. Områdena antas centrerade kring olycksplatsen.

Sannolikhet

Sannolikheten för att ett utsläpp leder till scenario Pölbrand S (en pölbrand med en yta på 600 m²) är lika med 0,020 per olycka med utsläpp av mycket brandfarlig vätska. Sannolikheten för scenario Pölbrand M (en pölbrand med yta 300 m²) är lika med 0,078 per olycka med utsläpp. Se händelseträdet i *figur 14* nedan.



Figur 14 Händelseträd för mycket brandfarliga vätskor i klass 3.

Individrisk

I scenario Pölbrand S har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 48 m av leden från där personen står och 24 m in från vägen.

I scenario Pölbrand M har en person 100 % sannolikhet att omkomma om olyckan sker på de närmaste 23 m av leden från där personen står och 13 m in från vägen.

Samhällsrisk

Inom ett område med längd 48 m längs vägen och bredd 24 m in från vägen antas alla omkomma såväl inomhus som utomhus i scenarion Pölbrand S.

I scenario Pölbrand M antas alla utomhus och inomhus omkomma inom ett område med längd 25 m längs vägen och bredd 13 m in från vägen.

2.5. Scenarier med oxiderande ämnen, klass 5.1

Sannolikheten för en olycka med ett fordon med oxiderande ämnen med risk för massexplosion har beräknats på samma sätt som för massexplosiva ämnen i *avsnitt 2.1.1* och framgår av ingångsdata i *figur 4*.

Händelseträdet för scenarier med oxiderande ämnen framgår i *figur 15* nedan.

2.5.1 Scenario Explosion S och M

I dessa scenariot har vi utgått från att transportererna sker som ammoniumnitrat som vid blandning med dieselolja kan leda till en explosion som motsvarar 16 ton TNT vid ett stort utsläpp av ammoniumnitrat och cirka hälften vid ett mindre utsläpp. Detta överskattar explosionens kraft då den blandningen som kommer att ske om båda ämnen rinner ut vid en olycka inte räcker för att åstadkomma ett effektivt sprängämne vilket egentligen kräver en ganska exakt blandning av dessa ämnen.

Konsekvenserna av dessa explosioner härleds på samma sätt som för massexplosiva ämnen i klass 1.

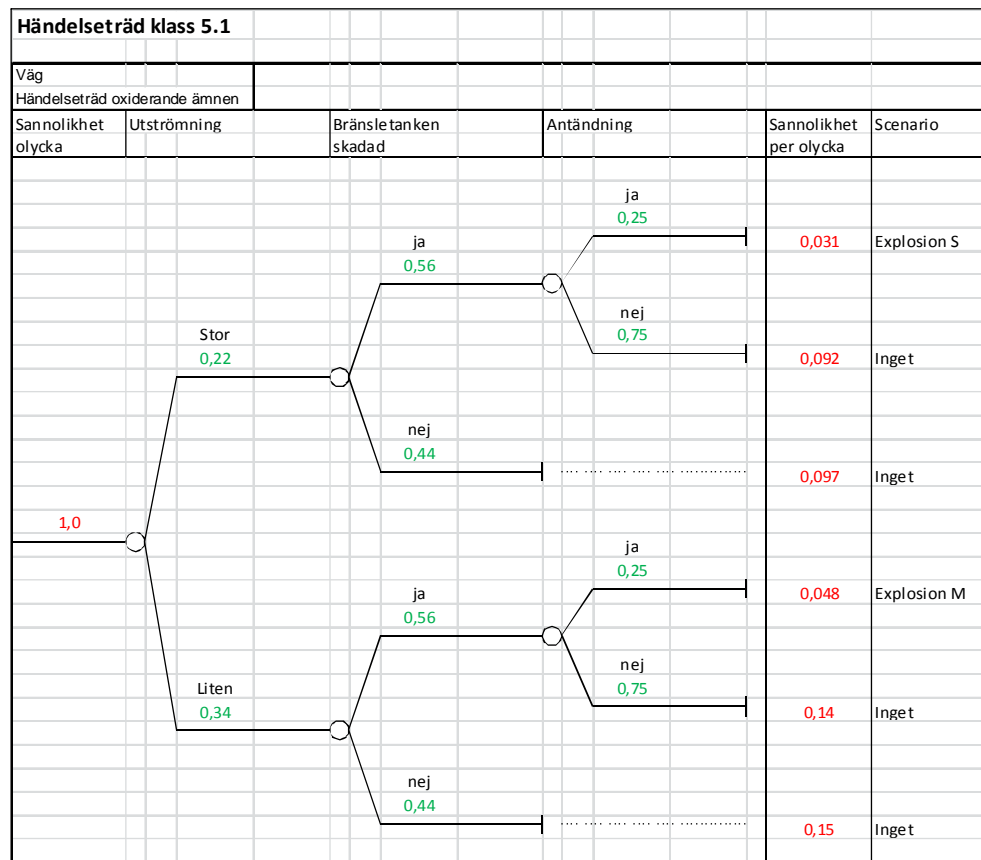
Sannolikhet

Sannolikheten för en olycka med dessa transporter per kilometer transportled framgår av *figur 3*.

För att en olycka med en transport med oxiderande ämnen skall leda till betydande konsekvenser krävs att det oxiderande ämnet blandas med dieselolja och att blandningen antänds. För att detta skall ske måste flera förutsättningar vara uppfyllda:

1. Ett betydande utsläpp av oxiderande ämnen måste ske.
2. Utsläpp av dieselolja måste ske.
3. Blandningen måste antändas.

Sannolikheten för detta framgår av händelseträdet i *figur 15* nedan. Händelseträdet är baserat på statistik för tunnväggiga tankbilar.



Figur 15 Händelseträd oxiderande ämnen i klass 5.1 som kan orsaka explosion.

Konsekvenser

Två scenarier finns beroende på storleken på utsläppet av det oxiderande ämnet. Storleken på utsläppet av den brandfarliga vätskan är av mindre vikt då en explosiv blandning endast kräver en mindre mängd brandfarlig vätska (ca 1 del brandfarlig vätska på 7 delar oxiderande ämne). Ett stort utsläpp av oxiderande ämnen ger scenario Explosion S, ett något mindre utsläpp ger scenario Explosion M.

Konsekvenserna av en stor explosion har antagits vara desamma som för en explosion av 16 ton TNT. Konsekvenserna avseende individrisk och samhällsrisk är således desamma som i scenariot för klass 1.1.

Konsekvenserna för en mindre explosion har antagits vara hälften av konsekvenserna av en stor explosion.

3. Beräkningsresultat

I tabell 2 presenteras resultaten av riskberäkningarna för området som presenteras grafiskt i figur 18 och 19 i rapporten.

Tabell 2. Riskberäkningar för Strandvägen, Mariestad

Sammanställning av beräkningsresultat Strandvägen Mariestad													161215
Klass	F _{klass} /år, km	Scenario	F _{scen} /år, km	Effektområde 1				Effektområde 2				Om-komma	
				längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}	längd	bredd	F _{omk. inne}	F _{omk. ute}		F _{scen} /år
1.	0,0E+00	Massexplosion	0	258	44	0,17	1,00	-	-	-	-	0,0E+00	33,8
2.1	0	Jet	0,0E+00	45	74	1,00	1,00	66	80	0,00	0,07	0,0E+00	142,9
		Gasbrand M	0,0E+00	185	93	1,00	1,00	-	-	-	-	0,0E+00	149,1
		Gasbrand KT	0,0E+00	10	50	1,00	1,00	-	-	-	-	0,0E+00	31,9
		Gasbrand KL	0,0E+00	50	5	1,00	1,00	-	-	-	-	0,0E+00	0,2
		Gasexplosion M	0,0E+00	252	126	1,00	1,00	-	-	-	-	0,0E+00	150,0
		Gasexplosion KT	0,0E+00	66	66	1,00	1,00	-	-	-	-	0,0E+00	143,9
		Gasexplosion KL	0,0E+00	66	33	1,00	1,00	-	-	-	-	0,0E+00	68,4
		Bleve	0,0E+00	80	40	1,00	1,00	110	55	0,00	0,07	0,0E+00	98,9
2.3	0	Gasmoln M	0	70	35	0,10	1,00	120	60	0,03	0,30	0,0E+00	12,8
		Gasmoln KT	0	25	135	0,10	1,00	75	220	0,03	0,30	0,0E+00	14,5
		Gasmoln KL	0	135	13	0,10	1,00	220	38	0,03	0,30	0,0E+00	4,5
3	5,2E-07	Pölblbrand S	1,0E-08	48	24	1,00	1,00	-	-	-	-	4,9E-10	36,0
		Pölblbrand M	4,1E-08	25	13	1,00	1,00	33	17	0,00	0,04	1,6E-09	0,3
5.1	0	Explosion L	0	141	44	0,17	1,00	-	-	-	-	0,0E+00	33,8
		Explosion M	0	111	44	0,17	1,00	-	-	-	-	0,0E+00	33,8

4. Referenser

- EAI 1997 High explosive assessment model, 5th industrial version in SI units, Engineering Analysis Inc. 1997
- ERM 2008 SAFEX-paper Guangzhou-Shenzhen-Hong Kong Express Rail Link: An overview of the explosives aspects in a quantitative risk analysis for the road transport of cartridged emulsion explosives and accessories through a densely populated area. ERM-Hong Kong Ltd, 2008
- FEMA 2008 Highway Vehicle Fires, Topic Fire Report Series Volume 9, Issue 1, FEMA September 2008
- FOA 1997 Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, Försvarets Forskningsanstalt, september 1997
- FOA 2000 Explosivämneskunskap, Institutionen för energetiska material, Försvarets Forskningsanstalt 2000
- NFPA 2010 National Fire Protection Association, US Vehicle Fire Trends and Patterns, June 2010
- PGS2 2005 Methods for the calculation of Physical Effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases), Dutch Organization for Applied Scientific Research under supervision of the Committee for the Prevention of Disasters, 2005.
- PGS3 2005 Guidelines for quantitative risk assessment, Dutch Organization for Applied Scientific Research under supervision of the Advisory Council in Dangerous Substances, 2005
- SRV 1996 Farligt gods – Riskbedömning vid transport, Statens Räddningsverk, Risk- och miljöavdelningen 1996
- SRV 2005 Dynamisk lastpåverkan – Referensbok, Statens Räddningsverk, Karlstad, Avdelningen för stöd till räddningsinsatser, 2005

- SRV 2007 Bebyggelsens motståndsförmåga mot extrem dynamisk belastning, delrapport 1 Last av luftstötståg, Statens Räddningsverk, Avdelningen för stöd till räddningsinsatser, 2007
- USCB 2012 United States Census Bureau, Statistical Abstract of the United States: 2012
- Vägverket 2008 Effektsamband för vägtransportsystemet. Nybyggnad och förbättring, Effektkatalog Kap 6 Trafiksäkerhet, Vägverket publikation 2008:11

Norconsult

Norconsult AB

Theres Svensson gata 11

Box 8774, 402 76 Göteborg

031 – 50 70 00, fax 031-50 70 10

www.norconsult.se