

# BERÄKNINGSBILAGA



Handläggare  
Anders Egilsson  
Telefon  
+46 10 505 73 82  
Mail  
anders.egilsson@afconsult.com

Datum  
2015-06-10  
Project ID  
711510  
Granskning  
Johan Hellstrand

Kund  
Varbergs kommun  
Fredrik Olausson

## Beräkningsbilaga – Kvantitativ riskanalys med avseende på farligt gods i Apelviken



## 1 Bilaga A - Frekvensberäkningar

### 1.1 Inledning

I denna beräkningsbilaga beräknas frekvensen för de identifierade olyckorna med avseende på farligt gods som kan åstadkomma skada på människor inom planområdet. Då befintliga byggnader ligger på ett avstånd från västkustbanan som kan generera en viss närvaro av människor närmare spåret görs också beräkningar för mekanisk påverkan av urspåret tåg utöver beräkningar för farligt gods.

Olycksscenarier har valts utifrån transporterande mängder av farligt gods ur respektive RID-klass. Som utgångspunkt har Trafikverkets data för farligt godstransporter på Västkustbanan används, se tabell 1.

Tabell 1. Farligt godstransporter på Västkustbanan (Trafikverket 2010).

RID-Klass	Antal transporter/år
1. Explosiva ämnen	0
2. Brandfarliga och giftiga gaser	1285
3. Brandfarliga vätskor	1292
4. Brandfarliga fasta ämnen	63
5. Oxiderande ämnen	1196
6. Giftiga ämnen	158
7. Radioaktiva ämnen	0
8. Frätande ämnen	3887
9. Övriga farliga ämnen	498
<b>Totalt:</b>	<b>8379</b>

Av dessa farliga ämnen är det endast klass 2 och klass 3 som bedöms ha någon betydande påverkan på planområdet. Brandfarliga fasta ämnen, giftiga ämnen samt frätande ämnen har mestadels direkt lokal påverkan. Klass 5 kan vid vissa omständigheter bilda brännbara eller explosionsfarliga blandningar. Sannolikheten att ett scenario med risk för personskada uppkommer även om en olycka med klass 5 sker är dock mycket låg på grund av att en kombination av läckage av olika typer av farliga ämnen behöver ske. Av erfarenhet bedöms inte den transporterade mängden klass 5 ge upphov till mer än ett försumbart riskbidrag på planområdet. Då vissa naturliga utrymmen för personer finns mycket nära järnvägen har också olycksrisken med avseende på mekaniska skador vid urspårning analyserats. Således är de analyserade olyckstyperna:

- Mekanisk skada till följd av urspårad tågagn
- Gasmolnsexplosion (underklass 2.2)
- Giftigt gasmoln (underklass 2.3)
- Pölbrand (Klass 3)



## 1.2 Frekvens för urspårning

Frekvensen för en urspårning av ett tåg på aktuell sträcka beräknas genom Banverkets "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen" (Fredén, 2001). Modellen bygger på verksamhetens art ( $W$ ), vilken bestäms utifrån indata gällande undersökt sträcka, samt felintensiteter ( $\xi$ ) för de olika felen.

Enligt data från trafikverket går 25 godståg per dygn på västkustbanan under en mätperiod 2012. Mängden farligt gods antas öka i framtiden, då banan generellt är nära sin maxkapacitet antas godstrafiken öka med 10 % till 2030. Farligt gods antas öka med samma andel som övriga godstrafiken. Baserat på 25 godståg per dygn antas således ca 10100 godståg/år passera Apelviken år 2030. Indata för urspårningsberäkningar visas i tabell 2.

Tabell 2. Indata för beräkning av urspårningsfrekvens.

Indataparameter	
studerad längd (km)	0,8
Spårklass	klass B
antal godståg/år	10100
antal FG-vagnar per år	8379
andel FG-vagnar med 2 axlar	0,03
andel FG-vagnar med 4 axlar	0,97
vagnaxelkilometer FG vagnar	26411
Tågkilometer	8080

Längden på de godståg som passerar planområdet varierat kraftigt. Ett godståg består som mest av ca 37 vagnar men beroende på bl.a. hur tungt tåget är lastat minskar antalet vagnar (Strandgren, 2012). Därför antas att ett godståg i genomsnitt består av 30 vagnar.

Enligt trafikverkets statistik utgör godståg en fjärdedel av all tågtrafik på Västkustbanan (Trafikverket, 2015).

Antal persontåg antas därför vara 3 gånger fler än godstågen.

Antal vagnar på ett persontåg varier mellan modeller. Fjärrtåg har typiskt 5-6, varför medelantalet antas vara 6.

Förväntade antalet urspårningar beskrivs som:  $F(\text{olycka}) = W \times \xi$

Med hjälp av detta kan urspårningsfrekvensen beräknas med Banverkets modell enligt

# BERÄKNINGSBILAGA



Tabell 3

# BERÄKNINGSBILAGA



Tabell 3. Beräkning av urspårningsfrekvens för farligt gods respektive all urspårning genom multiplikation av grundorsaker till urspårning med felintensiteter.

Olyckstyp	Beroendefaktor	intensitetsfaktor	Årlig frekvens FG	Årlig frekvens all urspårning
rälsbrott	vagnaxelkm	1,00E-10	2,64E-6	3,16E-5
solkurva	spårkm	2,00E-04	1,60E-4	6,40E-4
spårlägesfel	vagnaxelkm	4,00E-10	1,06E-5	1,27E-4
vagnfel	vagnaxelkm	3,10E-09	8,10E-5	9,72E-4
lastförskjutning	vagnaxelkm	4,00E-10	1,06E-5	-
annan orsak	tågkm	5,70E-08	4,60E-4	1,80E-3
okänd orsak	tågkm	1,40E-07	1,13E-4	4,52E-4
<b>Summa</b>			<b>8,38E-4</b>	<b>4,31E-03</b>

## 1.3 Väderdata för Varberg.

De olyckstyper som innefattar gaser påverkas till stor del av väderförhållanden vid tidpunkten för olyckan. Väderdata tas fram för att kunna beräkna frekvensen av olika utfall. För spridning av gas är vindriktningen, vindstyrka samt stabilitetsklass av störst betydelse.

### 1.3.1 Stabilitetsklass

Använd beräkningsmodell för spridning av giftig gas använder sig av Pasquills stabilitetsklasser, se tabell 4. I konsekvensberäkningarna, Se bilaga NN, har de två stabilitetsklasser som är vanligast i Varberg (B och E) använts.

Tabell 4. Pasquills stabilitetsklasser.

Vindhastighet (m/s)	Dag: Solinstrålning			Natt: Molntäcke	
	Stark	Medel	Låg	> 50 %	< 50 %
<2	A	A-B	B	F	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

### 1.3.2 Vindriktning och styrka

Vindriktningar och vindstyrkor påverkar dispersionen hos utsläpp och i vilken riktning gaser driver. Väderdata för Varberg har hämtats från SMHIs rapport "Vindstatistik för Sverige 1961-2004" (Alexandersson, 2006).

Vindriktningar som andel av tiden i procent för Varberg är enligt tabellen nedan.

	N	NO	O	SO	S	SV	V	NV	Lugnt
Varberg	9,96	6,22	11,89	7,85	14,69	15,14	19,62	7,78	6,86

Vinden vid en olycka på järnvägen påverkar om gaser sprider sig mot planområdet eller ej och därmed påverkar människor. Utifrån tabellen ovan delas vindriktningarna in i två grupper, mot området respektive inte mot området.

N, NO, O, NV är de vindriktningar som driver gaser mot området. Således kan sägas att vinden driver gaser mot området i ca 36% av tiden, medan gaser 64% av tiden inte gör det.



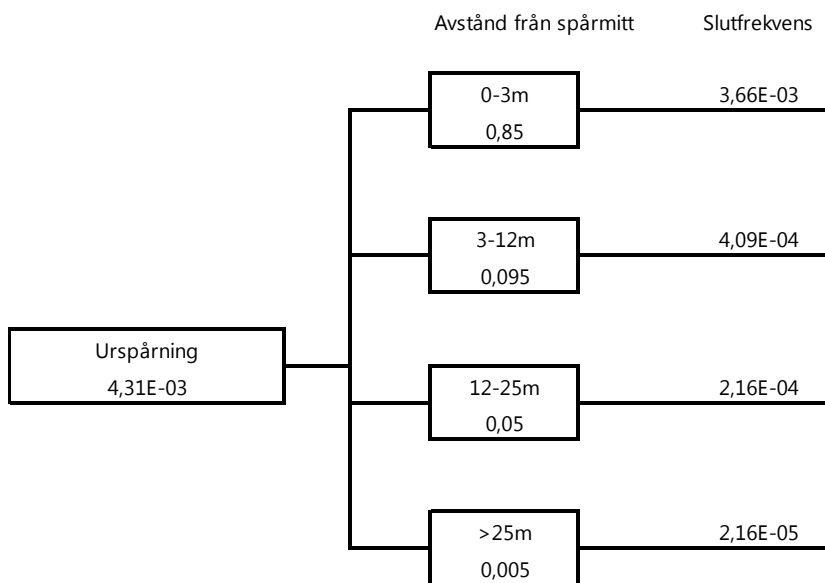
Vindstyrkan varierar över tiden. Utifrån data i SMHIs rapport över vindhastigheten delas vindhastigheten in i två kategorier, svag vind (2 m/s) respektive stark vind (7 m/s). Fördelningen antas vara att respektive vindstyrka råder i 50 % av tiden.

## 1.4 Frekvens för urspårning med mekanisk skada.

Vid de flesta tågurspårningar hamnar tåget inom några få meter från spåret. Då det saknas tillräckligt stort statistiskt underlag för urspårningar på svenska Järnvägen har antaganden och bedömningar gjorts. Dimensionerande skada vid mekanisk urspårning sätts ofta till en vagnlängd (25m) (Länsstyrelsen Stockholm, 2000). För att diversifiera mekanisk skada görs uppdelningen att tåget hamnar i något av intervallen 0-3m, 3-12m, 12-25m respektive >25m från spårmittem. I endast ca 0.5% av alla urspårningar hamnar vagnarna längre bort än 25m (Länsstyrelsen Stockholm, 2000).

Sannolikheter för de respektive intervallen sätts till 85 %, 9,5 %, 5 % respektive 0,5 %.

Frekvenserna för mekanisk skada vid urspårning kan beskrivas med händelseträdet i figur 1.



Figur 1. Händelsetråd för mekanisk skada vid urspårning.

## 1.5 Frekvens av olycka med klass 2 - brandfarliga och giftiga gaser

Av brandfarliga och giftiga gaser (klass 2) antas fördelningen av underklasserna 2.1, 2.2 respektive 2.3 vara densamma som under trafikverkets mätning av farligt godstrafik 2006 (Räddningsverket, 2006). Under mätperioden var fördelningen av underklasserna inom klass 2 ca 29% av underklass 2.1, 70% av 2.2 och 1% av 2.3.

Giftiga gaser har är av erfarenhet förknippat med störst konsekvenser. Därför ansätts fördelningen konservativt enligt tabell 5.



Tabell 5. Fördelning av respektive underklass inom farligt gods klass 2.

Farligt godsklass	Andel av klass 2
2.1 Brandfarliga gaser	30 %
2.2 icke brandfarliga icke giftiga gaser	60 %
2.3 Giftiga gaser.	10 %

## 1.6 Frekvens av olycka med klass 2.1 – Brandfarliga gaser.

Brandfarliga gasen som läcker ut approximeras till propan/gasol.

### Läckage av propan

Det faktum att en vagn lastad med farligt gods spårar ur leder oftast ej till en farligt gods-olycka. I de flesta fall håller tanken. Tryckkondenserade gaser transporteras i tjockväggiga tryckkärl vilka inte skadas i samma utsträckning som tunnväggiga kärl (jämför brandfarlig vätska). Förutom tankens konstruktion är även miljön runt kring spåret viktig. Längs spårets aktuella del förekommer få utstickande objekt men det finns stolpar för kontaktledningen som kan skada en behållare. Sannolikheten för läckage av propan i samband med olycka ansätts till 0,01 (Räddningsverket, 1997)

$$S_{\text{Läckage propan}} = 0,01$$

### Storlek på läcka

Vid en olycka med efterföljande läckage är storleken på läckaget avgörande för konsekvenserna. I aktuellt fall antas ett litet läckage (via punktering eller ventil) samt ett större läckage (punktering av tank eller rörbrott) enligt följande. De enskilda händelserna nedan reduceras med följande faktorer beroende på läckagestorlek.

$$S_{\text{Litet läckage}} = 0,7$$

$$S_{\text{Stort läckage}} = 0,3$$

### Jetbrand

En jetbrand uppstår då gas strömmar ut genom ett hål i en tank och direkt antänds. Därmed bildas en jetflamma.

Sannolikheten för direkt antändning beror på utsläppets storlek och kan ansättas till följande (Purdy, 1993):

$$S_{\text{direkt antändning litet läckage}} = 0,1$$

$$S_{\text{direkt antändning stort läckage}} = 0,2$$

Flammans längd beror av storleken på hålet i tanken samt trycket i denna. Det krävs dessutom att flammans riktning är mot det aktuella området och med hänsyn både på den vertikala och den horisontella riktningen. Vid en olycka bedöms sannolikheten vara störst för en skada på vagnens nedre delar och således sker läckaget i riktning nedåt eller åt sidan. Detta påverkar även jetflammans riktning. För att anta en rimlig sannolikhet att jetflamman är riktad mot bebyggelsen antas den påverkande zonen vara inom en vinkel på 20° i vertikalplanet (20°/360°) samt i horisontalplanet

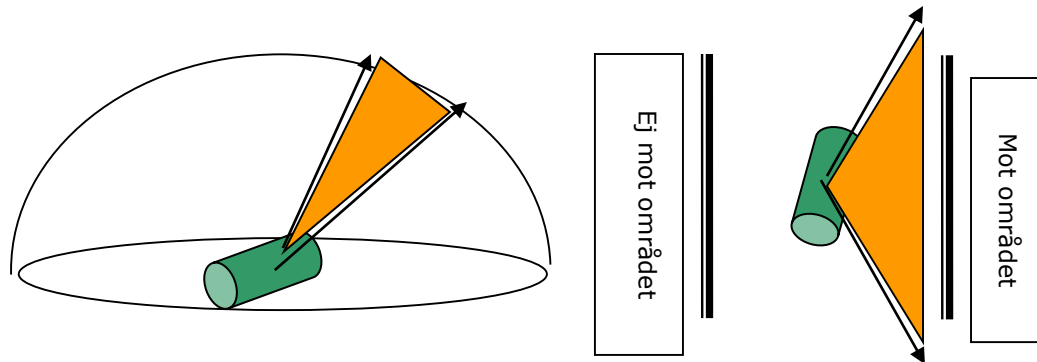
# BERÄKNINGSBILAGA



(135°/360°), se figur 2. Till detta vägs sannolikheten att skadan sker på behållarens ovansida genom en ytterligare reduktion på 0,5 vilket anses mycket konservativt.

Sannolikheten för att jetbrand blir riktad in mot området ansätts således till:

$$S_{\text{jetbrand mot bebyggelse}} = 20/360 * 135/360 * 0,5 = 0,0104$$



Figur 2. Illustration av jetflammors utbredning vertikalt (till vänster) respektive horisontellt (till höger).

## Gasmolnsexplosion

Om gasen vid ett läckage inte antänds omedelbart uppstår ett brännbart gasmoln. Om gasmolnet antänds i ett tidigt skede är luftinblandningen vanligtvis inte tillräcklig för att en explosion ska inträffa. Förloppet utvecklas då till en *gasmolnsbrand* med diffusionsförbränning.

Om gasmolnet inte antänds omedelbart kommer luft att blandas med den brandfarliga gasen. Vid antändning kan en gasmolnsexplosion ske om gasmolnet består av en tillräckligt stor mängd gas/luft av en viss koncentration. För detta krävs som regel ett större läckage (Purdy, 1993). Konservativt ansätts även en sannolikhet för mindre utsläpp. En gasmolnsexplosion kan beroende på vindstyrka och riktning inträffa en bit ifrån själva olycksplatsen. Explosionen blir i de allra flesta fallen av typen deflagration.

Sannolikheten för sen antändning sätts till:

$$S_{\text{sen antändning litet läckage}} = 0,01$$

$$S_{\text{sen antändning stort läckage}} = 0,5$$

För att gasmolnsexplosionen ska ge störst skada krävs att gasmolnet driver mot planområdet. Detta antas ske när vindriktningen är mot området. Enligt vinddata i avsnitt 1.3 ligger vinden mot området 36 % av tiden. Sannolikheten för att spridning skall ske mot resp. från planområdet är således:

$$S_{\text{spridning mot området}} = 0,36$$

$$S_{\text{spridning bort från området}} = 0,64$$



# BERÄKNINGSBILAGA



## BLEVE

BLEVE är en speciell händelse som kan inträffa om en tank med kondenserad brandfarlig gas utsätts för yttre brand under en längre tid. Vid antändningen bildas ett eldklot med stor diameter under avgivande av intensiv värmestrålning. För att en sådan händelse skall kunna inträffa krävs att tanken hettas upp kraftigt. Tillgänglig energi för att klara detta kan finnas i form av en antänd större läcka i en annan närstående tank med brandfarlig gas eller vätska. Detta kräver i princip ett godståg med gasol i flera tankar samt direkt antändning av ett läckage i ena tanken (jetbrand). Dessutom krävs att jetflamman ligger an mot den andra tanken. En jetflamma vid litet läckage antas inte ge upphov till BLEVE. Vid risk för BLEVE på Västkustbanan bedöms möjligheterna goda att evakuera närområdet då det tar ansevärd tid att hetta upp en tank. Detta beaktas dock inte vilket är mycket konservativt.

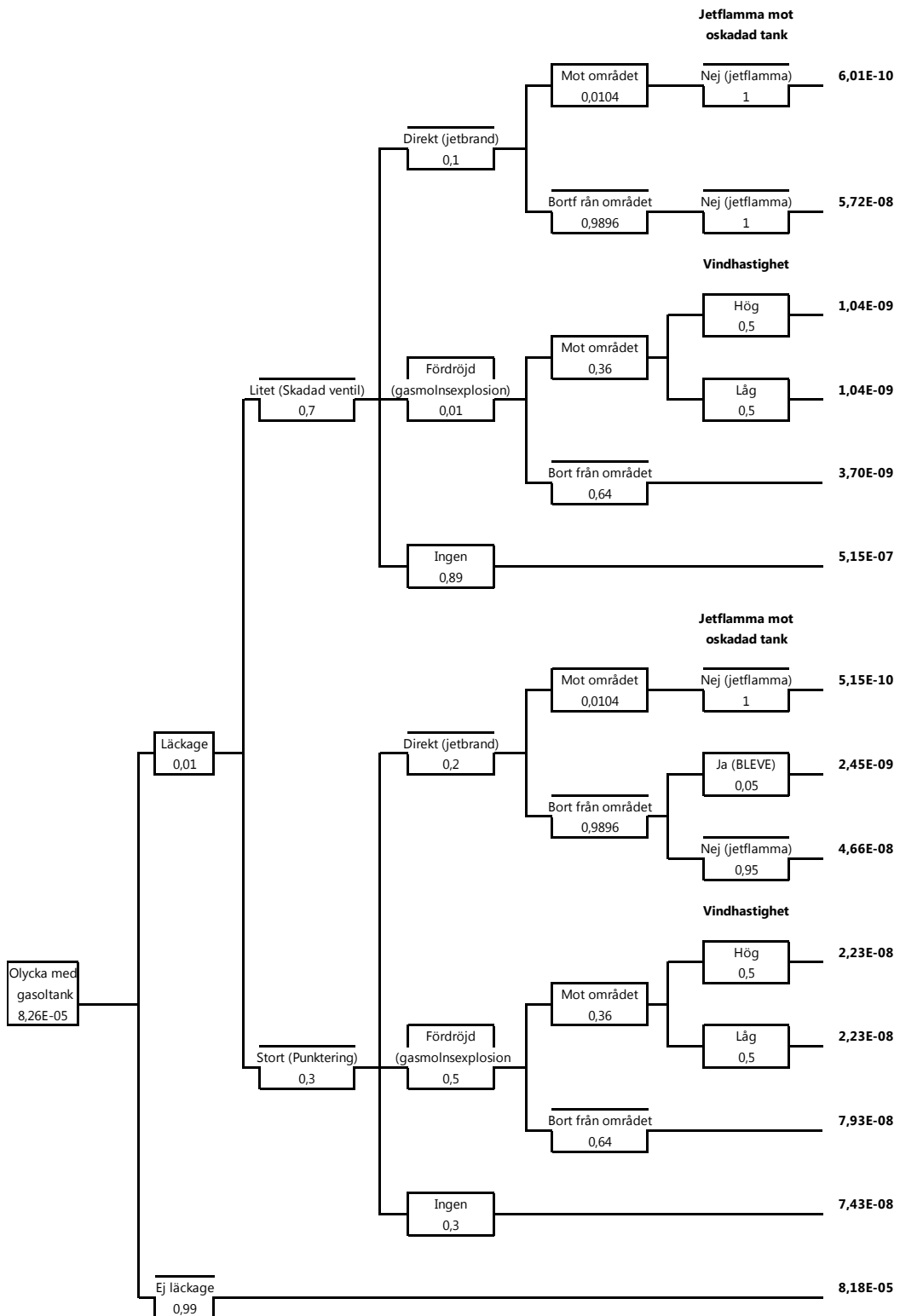
Fallet med en jetbrand med riktning mot bebyggelsen enligt ovan anses inte kunna leda till BLEVE utan endast de fall där jetflamman strålar mot en annan tank. Konservativt antas sannolikheten att en annan tank påverkas av jetflamma till:

$$S_{BLEVE} = 0,05$$

Utifrån ovanstående sannolikheter kan händelseträdet konstrueras enligt figur 3.



## Händelseträäd brandfarlig gas



Figur 3. Händelseträäd för olycka med brandfarlig gas (Gasol/propan).



## 1.7 Frekvens av olycka med klass 2.3 – Giftiga gaser

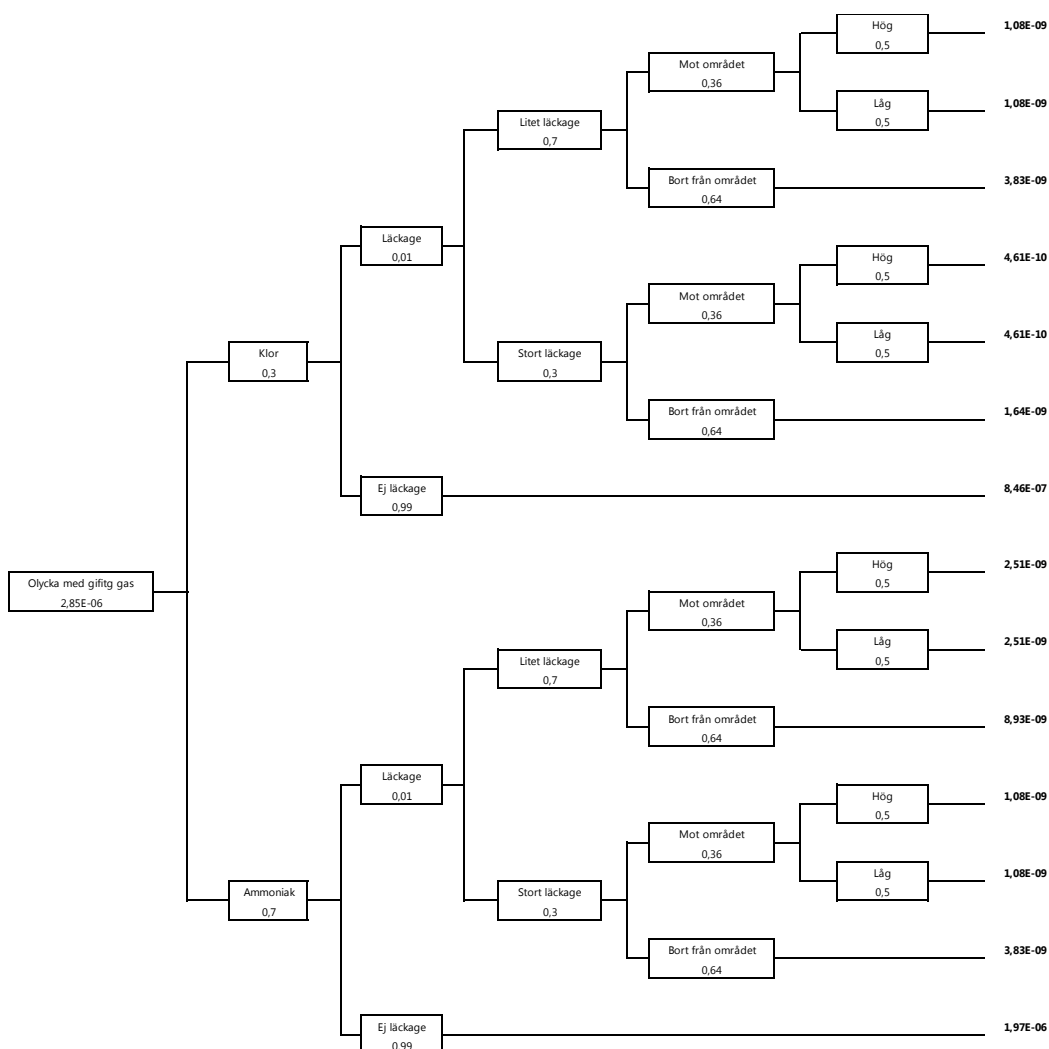
Vid en olycka med giftig gas ansätts samma sannolikheter som en olycka med brandfarlig gas avseende hålstorlek och initial spridning.

Typ av gas delas upp i mycket giftiga gaser (klor) och mindre giftiga gaser (ammoniak med flera). Klor och ammoniak är de vanligast förekommande gaserna och får representera giftiga gaser i analysen. Av alla giftiga gaser som transporteras på järnväg utgör de giftigaste såsom klor endast en liten del. Konservativt antas att 30% av de giftiga gaserna utgörs av klor medan resterande 70% utgörs av Ammoniak m.fl.

Sannolikheterna blir därmed Släckage = 0,01; SLitet läckage = 0,7; SStort läckage = 0,3

Sspridning mot området = 0,36

Med dessa sannolikheter kan händelseträdet konstrueras enligt figur 4.



Figur 4. Händelsetråd vid olycka med giftig gas.



## 1.8 Frekvens av olycka med klass 3 - brandfarliga vätskor

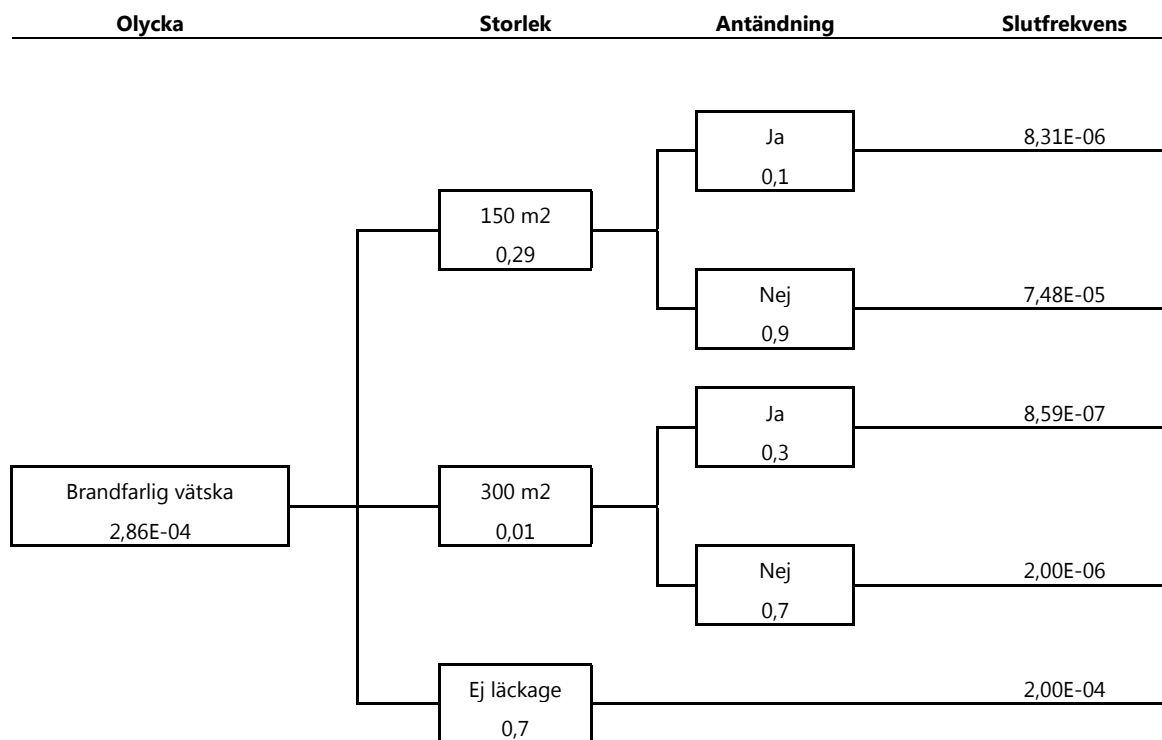
Tankar för bensin etc. utförs för att klara transport av vätska under atmosfärstryck. Sannolikheten att tanken skadas vid en olycka så att läckage sker, litet respektive stort, kan ansättas till 0,25 respektive 0,05 (Helmersson, 1994). Banvallar av makadam har visats sig ha en begränsande effekt på vätskepölars storlek, då vätska rinner ner i makadamen. I övrigt är omgivningen kring spåret plant och hårdgjort vilket underlättar bildandet av pölar. Enligt resonemang med nedrinning i makadam justeras sannolikheten ner en aning för större pölar medan mindre pölar ökas med samma mängd.

På grund av detta sätts istället sannolikheterna till 0,01 för stort läckage respektive 0,29 för litet.

De två läckagestorlekarna bedöms bilda pölar på 150 m<sup>2</sup> respektive 300 m<sup>2</sup>.

Sannolikheten för antändning av en pöl med brandfarlig vätska beror på om en antändningskälla finns i närheten av utsläppet, dels av utsläppets omfattning men även typen av utsläppt vätska. Bensin och etanol antänds t.ex. lättare än diesel och eldningsolja. Detta beaktas dock inte utan konservativt antas att all brandfarlig vätska utgörs av, eller antänds lika lätt som, bensin.

Sannolikheten för antändning är något större för ett stort läckage. Sannolikheten för antändning sätts till 0,1 för litet läckage och 0,3 för stort läckage. Utifrån dessa sannolikheter kan händelseträdet konstrueras enligt figur 5.



Figur 5. Händelsetråd vid olycka med brandfarlig vätska.



## 2 Konsekvensberäkningar

Denna bilaga redovisar konsekvensberäkningar av olyckor med farligt gods längs med Västkustbanan som drabbar planområdet.

### 2.1 Persontäthet

Området kommer mestadels innefatta friluftaktiviteter av olika slag samt en del restaurang och caféverksamhet. Personantalet förväntas variera kraftigt över dygnet och över året. Personantal som är exponerade för olyckor delas upp i fyra delar. Säsong, icke-säsong, dag, respektive natt. En stor del av aktiviteterna kommer att ske utomhus. Därför görs en approximation att nästintill alla personer vistas utomhus vilket är konservativt.

Kiosken inrymmer en övernattningslägenhet för 2 personer som antas bli använd sommartid (säsong, natt).

Personantalet under säsong dagtid baseras på antalet parkeringsplatser och ger en ram för maximalt personantal. För övriga tider antas en fraktion av dessa vilket ger antalet enligt tabell 6 nedan.

Tabell 6. Antal personer i området för respektive verksamhet vid olika tidpunkter.

Typ av verksamhet	Säsong dag	Säsong natt	Icke-säsong dag	Icke-säsong natt
<b>Totalt</b>	1000	50	100	10
<b>Strand/bad/surf</b>	800	40	25	0
<b>Restaurang/Café</b>	200	10	100	10

Dag sätts till 08.00 – 18.00, övrig tid är natt. Således sätts  $10/24 \approx 42\%$  av tiden till dagtid

Året delas upp i Säsong respektive icke-säsong. Säsong antas vara från april t.o.m. september. Säsong sätts således till 50 % av året.

Hela planområdet upptar ca 330 000 m<sup>2</sup>, där tyngdpunkten av människor ligger närmare verksamheterna intill spåret samt stranden. För samhällsrisikberäkningen ansätts att tre fjärdedelar av ytan är verksamheterna strand/bad/surf och övrig yta restaurang/café med parkeringsplatser.

Utifrån detta ansätts persontätheten till värden enligt tabellen nedan [p/m<sup>2</sup>].

Tabell 7. Persontätheten för olika verksamheter och tidpunkter i planområdet.

Typ av verksamhet	Säsong dag	Säsong natt	Off-season dag	Off-season natt
<b>Totalt</b>	0,003	0,00015	0,00030	0,00004
<b>Strand/bad/surf</b>	0,0035	0,000175	0,000109	0
<b>Restaurang/Café/parkering</b>	0,0025	0,00013	0,0013	0,00013



## 2.2 Konsekvenser av mekanisk skada

En urspårad vagn kan träffa och skada byggnader i olika stor omfattning beroende på vagnens rörelsemängd och närhet till byggnaderna. Personer som vistas utomhus längs med strandpromenaden kan bli träffade av urspårad vagn. Närmsta byggnadsdel för restaurang och Kiosk ligger ca 18 m från spårmit. Inomhus bedöms personer kunna omkomma i de fall urspårningen sträcker sig 25 meter eller längre från spårmit. I de fall urspårningen sträcker sig i intervallet 12-25 meter från spårmit antas personer inomhus kunna omkomma i hälften av fallen. För att bedöma samhällsrisken ansätts konsekvensområdet (sträcka längs med spåret) där människor inte hinner undkomma vagnen till 20, 40, 25 och 25 meter för de respektive intervallen i avstånd från mitt, se avsnitt 1.4). I detta fall görs en blandning mellan beräkning och bedömning för att kunna beräkna samhällsrisken. Ingen förväntas vistas precis intill spåret vid urspårning. Antalet döda av mekanisk skada för urspårade tåg ansätts enligt tabell 8.

Tabell 8. Konsekvensyta och antal döda vid respektive omfattning av urspårning utifrån bedömningar och beräkning.

Intervall [m]	Konsekvensyta	Antal döda
0-3	60	0
3-12	360	2
12-25	325	3
>25	625	5

## 2.3 Konsekvenser av olycka med klass 2.1 – Brandfarliga gaser

För respektive scenario beräknas med hjälp av simuleringsprogrammet ALOHA konsekvenserna av de möjliga följdhändelserna vid olycka med brandfarliga gaser. ALOHA är en simuleringsprogramvara utgiven av amerikanska EPA (United States Environment Protection Agency), (EPA, 2015).

Gasen som läcker ut antas vara tryckkondenserad gasol i samtliga vagnar. Detta är konservativt eftersom gasol har en låg brännbarhetsgräns vilket medför att antändning kan inträffa lättare än med andra gaser.

De parametrar för respektive scenario som beräknas med simuleringsprogrammet är

- Jetflammas längd vid omedelbar antändning
- Det brännbara gasmolnets volym
- Området som påverkas vid BLEVE

För att ansätta hålstorlekar på läckaget har uppskattningar baserat på (Cox, 1990) och (FOA, 1998) använts. Två olika läckagestorlekar används för att simulera storleken på jetflamma och gasmoln. Litet respektive stort läckage antas vara en rektangulär öppning som är 10 mm bred och har längderna 10mm respektive 100mm.

För jetflamma och brinnande gasmoln varierar skadeområdet med läckagestorlek, tiden till antändning samt vindhastighet. Beroende på om läckage inträffar i tanken i gasfas, i gasfas nära vätskefas eller i vätskefas kan utsläppets storlek och konsekvensområde variera. I beräkningarna antas att utsläppet sker nära vätskefas,

# BERÄKNINGSBILAGA



då detta ger värden mellan det sämsta och bästa utfallen. De värsta konsekvenserna uppstår om läckaget sker i vätskefasen.

Den indata som används i ALOHA för att simulera konsekvensområden för jetflamma, gasmoln och BLEVE är följande:

- Lagringstemperatur: 15°C
- Massa i sektion 20 000 kg
- Rektangulär öppning om 2\*1 cm respektive 10\*1 cm
- Tankdiameter: 2,5 m
- Tanklängd: 19 m
- Tankfyllnadsgrad: 80 %
- Omgivningstemperatur: 15°C
- Relativ fuktighet: 50 %
- Molnighet: Dag och klart
- Omgivning: Öppet landskap
- Vindhastighet: 2 m/s respektive 7m/s

Med hjälp av konsekvensområdets area kan förväntat antal döda vid de olika tidpunkterna på året och dygnet beräknas. Detta presenteras i tabell 9.

Tabell 9. Konsekvensområdets utbredning för respektive scenario med brandfarlig gas. Kolumnen längst till höger visar antalet förväntade döda vid de fyra olika tidpunkterna Säsong Dag, Säsong natt, Icke-säsong dag respektive Icke-säsong natt. De kursiva värdena är osäkra då modellen har svårt att hantera låga vindhastigheter vid små utsläpp.

Händelse	Läckagestorlek	Antändning	Skadeområdets area (längd x bredd, meter x meter)	Antal döda efter omskalning
BLEVE	-		200 m i radie	190/10/20/2
Hål i tank nära vätskeyta	Punktering (20mm)	Jetflamma Fördröjd gasmolnsexplosion	18x16	1/0/0/0
			Låg vind: 35x20m (80 % LEL)	2/0/0/0
			Hög vind: 20mx20m (80 % LEL)	1/0/0/0
	Stort hål (100mm)	Jetflamma Fördröjd gasmolnsexplosion	25 x 20	1/0/0/0
			Låg vind 80 x 50	12/1/2/0
			Hög vind 45 x 10 (80% LEL)	3/0/1/0



## 2.4 Konsekvenser av olycka med klass 2.3 – Giftiga gaser

Spridningsberäkningar för giftiga gasmoln har gjorts i programvaran ALOHA (EPA, 2015).

Spridningssimuleringar har gjorts för giftiga gaser (representerat av Ammoniak) och mycket giftiga gaser (representerat av Klor) för de två vindhastigheterna definierade i avsnitt 1.3. Simuleringar har även gjorts för två olika temperaturer, då temperatur också är en väderparameter som har stor betydelse för dispersion och därmed spridning av gasmoln. Två temperaturer, 0° C respektive 15° C har valts, som bedöms vara representativa för de olika säsongerna i Varberg. Samma läckagestorlekar har använts som för brandfarliga gaser.

För att beräkna konsekvensområdets utbredning jämförs erhållna koncentrationer med LC50 värden för 10 minuters exponering för Ammoniak respektive Klor. Dessa värden är satta till 10800 ppm för Ammoniak (HHS1, 2004) och 364 ppm för Klor (HHS2, 2010).

Varaktigheten är avgörande för dosen, d.v.s. kort utsläppstid medför hög koncentration men kort påverkanstid. Detta är mycket relevant för framförallt de stora utsläppen. Ett stort utsläppt betyder att en hög koncentration uppnås i ett väldigt stort område. Men det är under kort tid, ibland inte ens under de 10 minuter som det använda gränsvärdet förutsätter.

Mängden gas antas vara 48 ton per vagn. I ALOHA har beräkningarna gjorts för tankläckage med utsläpp nära marknivå. Detta blir konservativt eftersom utsläppet då sker i vätskefasen.

Indata och resultat från simuleringarna visas i tabellerna nedan.



# BERÄKNINGSBILAGA



## 2.4.1 Litet Ammoniäkläckage

Tabell 10. Indata och resultat av simulering för litet läckage av ammoniak för Säsong respektive icke-säsong.

Händelse	Litet läckage			
Källstorlek/Källflöde	10*20 mm			
Utsläppshöjd	0,25 m			
Väder	Klart		Klart	
Temperatur	15	15	0	0
Vindhastighet	2	7	2	7
Stabilitetsklass	B	D	B	D
Utsläppets varaktighet	60 min	60 min	60 min	60 min
Utsläppt mängd	12 260 kg	12 260 kg	9 140 kg	9 140 kg
Gasspridningsmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell
LC <sub>50</sub> (10 min)	<b>Område inom vilket koncentrationen för följande gränsvärden överskrids (b x l)</b>			
	40x120	10x85	30x80	10x70

Tabell 11. Beräknat antal döda vid litet läckage av ammoniak vid respektive tidpunkt.

Antal döda under dag/natt				
	15/1	3/0	1/0	1/0

## 2.4.2 Stort Ammoniäkläckage

Tabell 12. Indata och resultat av simulering för stort läckage av ammoniak för säsong respektive icke-säsong.

Händelse	Stort läckage			
Källstorlek/Källflöde	10*100 mm			
Utsläppshöjd	0,25 m			
Väder	Klart		Klart	
Temperatur	15	15	0	0
Vindhastighet	2	7	2	7
Stabilitetsklass	B	D	B	D
Utsläppets varaktighet	60 min	60 min	60 min	60 min
Utsläppt mängd	45 508 kg	45 508 kg	44 408 kg	44 408 kg
Gasspridningsmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell
LC <sub>50</sub> (10 min)	<b>Område inom vilket koncentrationen för följande gränsvärden överskrids (b x l)</b>			
	120x250	25x175	100x220	25x160

# BERÄKNINGSBILAGA



Tabell 13. Beräknat antal döda vid stort läckage av ammoniak vid respektive tidpunkt.

Antal döda under dag/natt				
	90/5	13/1	7/1	1/0

## 2.4.3 Litet Klorldäckage

Tabell 14. Indata och resultat av simulering för litet läckage av Klor för säsong respektive icke-säsong.

Händelse	Litet läckage			
Källstorlek/Källflöde	10*20 mm			
Utsläppshöjd	0,25 m			
Väder	Klart		Klart	
Temperatur	15	15	0	0
Vindhastighet	2	7	2	7
Stabilitetsklass	B	D	B	D
Utsläppets varaktighet	60 min	60 min	60 min	60 min
Utsläppt mängd	16 400 kg	16 400 kg	12 555 kg	12 555 kg
Gasspridningsmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell
LC <sub>50</sub> (10 min)	<b>Område inom vilket koncentrationen för följande gränsvärden överskrids (b x l)</b>			
	100x380	25x310	85x320	25x250

Tabell 15. Beräknat antal döda vid litet läckage av Klor vid respektive tidpunkt.

Antal döda under dag/natt				
	114/6	24/1	82/1	2/0

# BERÄKNINGSBILAGA



## 2.4.4 Stort Klorläckage

Tabell 16. Indata och resultat av simulering för stort läckage av Klor för säsong respektive icke-säsong.

Händelse	Stort läckage			
Källstorlek/Källflöde	10*100 mm			
Utsläppshöjd	0,25 m			
Väder	Klart		Klart	
Temperatur	15	15	0	0
Vindhastighet	2	7	2	7
Stabilitetsklass	B	D	B	D
Utsläppets varaktighet	56 min	56 min	60 min	60 min
Utsläppt mängd	42 240 kg	42 240 kg	41 608 kg	41 608 kg
Gasspridningsmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell	Tunggasmodell
LC <sub>50</sub> (10 min)	<b>Område inom vilket koncentrationen för följande gränsvärden överskrids (b x l)</b>			
	250x800	60x700	235x733	50x612

Tabell 17. Beräknat antal döda vid stort läckage av Klor vid respektive tidpunkt.

Antal döda under dag/natt				
	600/30	126/6	517/7	9/1



## 2.5 Konsekvenser av olycka med klass 3 – Brandfarliga vätskor.

Faran förknippat med brandfarlig vätska klass 3 är pölbrand som ger värmestrålning som kan åstadkomma skada på människor. Konsekvensberäkningen som görs avser värmestrålning som orsakas av de två pölstorlekarna definierade i avsnitt 1.8. Beräkningen görs med handberäkning enligt beräkningsmodell från (FOA, 1998). Data har valts för bensen detta då bensen har högst energivärde och förbränningshastighet av de olika typer av bränsle som kan vara aktuella vilket gör beräkningen konservativ.

Följande data gäller för bensen (FOA, 1998):

- Förbränningshastighet  $b' = 0,048 \frac{kg}{m^2s}$
- Energivärde  $h_c = 43,7 \cdot 10^6 \frac{J}{kg}$

Vid en pölbrand med en cirkulär pöl approximeras flammans geometri med en cylinder där flammans diameter,  $d_f$  är lika stor som pölens diameter,  $d_p$ . Flammans höjd,  $h_f$ , kan beräknas enligt:

$$h_f = d_p \cdot 42 \cdot \left( \frac{b'}{\rho_a \sqrt{g \cdot d_p}} \right)^{0,61} \quad \text{formel C1}$$

där  $b'$  = förbränningshastigheten i  $\frac{kg}{m^2s}$  enligt ovan,

$$\rho_a = \text{luftens densitet} = 1,29 \frac{kg}{m^3}$$

$$g = \text{tyngdaccelerationen} = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Denna formel gäller under förutsättning att  $0,8 < h_f / d_f < 4$ .

Flamman kommer att fluktuera mycket och den höjd som beräknas är den genomsnittliga flamhöjden under brandförloppet. Då pölen antas vara cirkulär och flamgeometrin en cylinder är  $d_f = d_p$  och beräknas utifrån grundläggande cirkelgeometri. Detta ger  $d_f = d_p \approx 14$  m för en pölbrand om  $150 m^2$  respektive  $19,5$  m för en pölbrand om  $300 m^2$ .

Strålningen per ytenhet från flammen beräknas enligt:

$$P = \frac{0,35 \cdot b' \cdot h_c}{1 + 4h_f / d_f} \quad \text{formel C2}$$

där  $h_c$  = energivärdet i  $\frac{J}{kg}$  enligt ovan.

Faktorn 0,35 utgör den andel av den totala energin som omsätts till strålningsvärme.

Vidare beräknas strålningen från en ideal svartkropp blir enligt Stefan-Boltzmanns lag:

# BERÄKNINGSBILAGA



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

formel C3

där  $P_s$  = utstrålad effekt [ $\frac{W}{m^2}$ ],

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  [ $\frac{W}{m^2 K^4}$ ] (Stefan-Boltmanns konstant) och

$T$  = temperaturen [K].

Approximationen med en svart kropp som strålar ger konservativa värden på strålningen. Vid större pölbränder antas strålningen normalt ha sitt ursprung i flammans mitt och här ligger emissionsfaktorn ( $\epsilon$ ) nära 1 varför denna approximation anses rimlig. Närmare flammans mantelyta minskar emissiviteten snabbt. En beräkning baserad på att all strålning kommer från flammans mitt är därför konservativt.

Värmestrålningen från en yta 1 som faller in mot en yta 2 på ett visst avstånd kan då beräknas

som:

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

formel C4

Där  $P_{12}$  = infallande strålning från 1 till 2 [ $\frac{W}{m^2}$ ],

$P_1$  = strålningen från yta 1 [ $\frac{W}{m^2}$ ]

$F_{12}$  = vinkelkoefficienten för 1 mot 2.

Den atmosfäriska transmissionsförmågan,  $\tau_a$ , har att göra med det faktum att den utsända strålningen delvis absorberas av luften mellan strålkällan och mottagaren. Den atmosfäriska transmissionsförmågan kan skrivas enligt:

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

formel C5

Där  $\alpha_w$  = absorptionsfaktorn för vattenånga och

$\alpha_c$  = absorptionsfaktorn för koldioxid.

Båda faktorerna beror på respektive ämnes partialtryck, längden som strålningen färdas från

den strålände ytan till mottagaren, strålningens temperatur och omgivningens temperatur.  $\alpha_w$

och  $\alpha_c$  bestäms grafiskt utifrån flamtemperaturen och partialtryck från figur 11.2 i (FOA, 1998).

Vinkelkoefficienten ( $F$ ) definieras som den andelen av strålningen från en yta i alla riktningar

som träffar en annan yta (vid fullständig transmissionsförmåga). Den är en rent geometrisk faktor som kan bestämmas för varje ytkonfiguration. Vinkelkoefficienten bestäms grafiskt för

en cylinder från figur 11.3 i (FOA, 1998).

# BERÄKNINGSBILAGA



Beräkningar utförs vidare utifrån ovanstående förutsättningar för de två olika pölstorlekarna.

Flamhöjd enligt formel C1, utfallande strålning enligt formel C2 och temperatur enligt C3, resultaten samlas i tabell 18.

Tabell 18. Resultat av initial egenskapsberäkning för pölbrand.

Pölstorlek	Flamhöjd (m)	Utfallande strålning (kW/m <sup>2</sup> )	Temperatur på den strålade ytan/flammans mitt (K)
150 m <sup>2</sup>	17,6	121	1210
300 m <sup>2</sup>	22,2	132	1236

Mättad vattenångas tryck vid 100 % luftfuktighet och 20 °C är  $p_w = 2340$  Pa. Luftfuktighet på 50 % antas vilket ger  $p_w = 1170$  Pa. Absorptionsfaktorer och transmissionsförmåga bestäms för detta värde i kombination med flammans temperatur. Utifrån höjden på flammorna, pölens radie och avståndet till mottagaren bestäms ett antal olika vinkelkoefficienter. Värmestrålning på olika avstånd beräknas sedan enligt formel C4.

Skadenivån bestäms förutom av strålningsnivån även av strålningens varaktighet. För beräkning av skador på människor redovisas i tabell 19 nedan en varaktighet på 10 s som en rimlig tid tills man satt sig i säkerhet. För personer som befinner sig inomhus förutsätts byggnaden utgöra ett skydd åtminstone under utrymningstiden.

Sambandet mellan strålningens varaktighet och skador på människan beskrivs av probitfunktionen  $t \cdot P^4/3$ . Om denna tidsvägda strålningsdos är över  $3 \cdot 10^6$  finns en risk för 2:a gradens brännskador. Risken ökar sedan exponentiellt med ökad strålning. Sannolikheten för andra gradens brännskador utläses sedan ur figur 11.9 i (FOA, 1998).

Beräkningsresultat sammanställs i tabell 19.

# BERÄKNINGSBILAGA



Tabell 19. Beräkningsresultat av strålningsnivå och konsekvens vid pölbrand.

Brand	Avstånd från flamfront (m)	$\alpha_w$	$\alpha_c$	$\tau_a$	$F_{max}$	$P_{12}$ (kW/m <sup>2</sup> )	$t^{*p^{1/3}} \times 10^6$ (s(W/m <sup>2</sup> ) <sup>1/3</sup> ) <sup>4</sup>	2:a grad bränn-skadade (%)	Andel döda (%)
<b>150 m<sup>2</sup></b>	0 (flamfront)	0,11	0,015	0,875	1	105,9	50,1	100	15
	3	0,12	0,02	0,86	0,45	46,8	16,9	95	14
	<b>13</b>	<b>0,170</b>	<b>0,028</b>	<b>0,802</b>	<b>0,16</b>	<b>15,5</b>	<b>3,9</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
	23	0,190	0,030	0,780	0,07	6,6	1,2	0	0
	43	0,22	0,034	0,746	0,025	2,3	0,3	0	0
<b>300 m<sup>2</sup></b>	0 (flamfront)	0,130	0,020	0,850	1	112,2	54,1	100	15
	10	0,170	0,025	0,805	0,28	29,8	9,2	65	10
	<b>20</b>	<b>0,190</b>	<b>0,030</b>	<b>0,780</b>	<b>0,15</b>	<b>15,4</b>	<b>3,85</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
	30	0,200	0,032	0,768	0,07	7,1	1,4	0	0
	40	0,220	0,035	0,745	0,05	4,9	0,8	0	0

Sammanfattningsvis kan följande konstateras utifrån beräkningarna, med konsekvensavståndet taget konservativt:

Tabell 20. Konsekvensavstånd för pölbrand med arean 150 kvadratmeter respektive 300 kvadratmeter.

	Pölbrand 150 m <sup>2</sup>	Pölbrand 300 m <sup>2</sup>
Cirkulärt konsekvensavstånd från flamfront	13 m	20 m
Cirkulärt konsekvensavstånd från pölbrandens centrum	20 m	30 m

Tabell 21. Förväntat antal döda för liten respektive stor pölbrand.

Antal döda vid pölbrand.	
Pölbrand 150 m <sup>2</sup>	Pölbrand 300 m <sup>2</sup>
0	ca 2



## 2.6 Scenarier för att beräkna samhällsrisk med:

Utifrån frekvens- och konsekvensberäkningarna ovan konstrueras en lista med scenarier för att beräkna samhällsrisk för området.

Tabell 22. Lista med scenarier för beräkning av samhällsrisk.

Olycka	Variant	Omskalad frekvens	Antal döda
Mekanisk	0-3	9,15875E-05	0
Mekanisk	mellan 3 och 12	2,04725E-05	1
Mekanisk	mellan 12 och 25	6,73438E-06	2
Mekanisk	över 25	6,73438E-07	5
Pölbrand	liten	2,07642E-07	0
Pölbrand	stor	3,22202E-08	2
Gasoltank liten läck	Jet, dag säsong	2,52578E-12	1
	Jet natt säsong	3,48798E-12	0
	Jet dag ej säsong	2,52578E-12	0
	Jet natt ej säsong	3,48798E-12	0
Gasoltank liten läck	Gasmolnsexp högvind dag säsong	7,58948E-12	1
	natt säsong	1,04807E-11	0
	dag ej säsong	7,58948E-12	0
	natt ej säsong	1,04807E-11	0
Gasoltank liten läck	Gasmolnsexp lågvind dag säsong	7,58948E-12	2
	natt säsong	1,04807E-11	0
	dag ej säsong	7,58948E-12	0
	natt ej säsong	1,04807E-11	0
Gasoltank stor läck	Jet dag säsong	2,70619E-12	1
Gasoltank stor läck	Bleve dag säsong	2,58E-10	190
	natt säsong	3,55602E-10	10
	dag ej säsong	2,57505E-10	20
	natt ej säsong	3,55602E-10	2
Gasoltank stor läck	Gasmolnsexp högvind dag säsong	5,85475E-11	3
	natt säsong	8,08512E-11	0
	dag ej säsong	5,85475E-11	1
	natt ej säsong	8,08512E-11	0
Gasoltank stor läck	Gasmolnsexp lågvind dag säsong	2,92737E-10	12
	natt säsong	4,04256E-10	1
	dag ej säsong	2,92737E-10	2
	natt ej säsong	4,04256E-10	0
Klor liten läck	sommar Högvind dag	7,07E-11	24
	Natt	9,75791E-11	1
Klor liten läck	sommar Lågvind dag	2,82643E-10	114
	natt	3,90316E-10	6



# BERÄKNINGSBILAGA



Klor liten läck	Vinter Högvind dag	7,06607E-11	2
	natt	9,75791E-11	0
Klor liten läck	vinter lågvind dag	2,40246E-10	82
	natt	3,31769E-10	4
Klor stort läck	Sommar Högvind dag	7,26796E-11	126
	natt	1,00367E-10	6
Klor stort läck	sommar Lågvind dag	3,02832E-10	600
	natt	4,18196E-10	30
Klor stort läck	Vinter Högvind dag	6,05663E-11	9
	natt	8,36392E-11	1
Klor stort läck	vinter lågvind dag	2,84662E-10	517
	natt	3,93104E-10	7
Ammoniak liten läck	sommar Högvind dag	6,595E-11	3
	natt	9,10738E-11	0
Ammoniak liten läck	sommar Lågvind dag	2,638E-10	15
	natt	3,64295E-10	1
Ammoniak liten läck	Vinter Högvind dag	6,595E-11	1
	natt	9,10738E-11	0
Ammoniak liten läck	vinter lågvind dag	1,9785E-10	1
	natt	2,73221E-10	0
Ammoniak stort läck	sommar Högvind dag	7,06607E-11	13
	natt	9,75791E-11	1
Ammoniak stort läck	sommar Lågvind dag	3,39171E-10	90
	natt	4,6838E-10	5
Ammoniak stort läck	Vinter Högvind dag	7,06607E-11	1
	natt	9,75791E-11	0
Ammoniak stort läck	vinter lågvind dag	2,82643E-10	7
	natt	3,90316E-10	1



## 3 Sammanställning av individrisk och samhällsrisk

### 3.1 Riskacceptanskriterier

För individrisk föreslår Räddningsverket (Räddningsverket, 1997) följande kriterier:

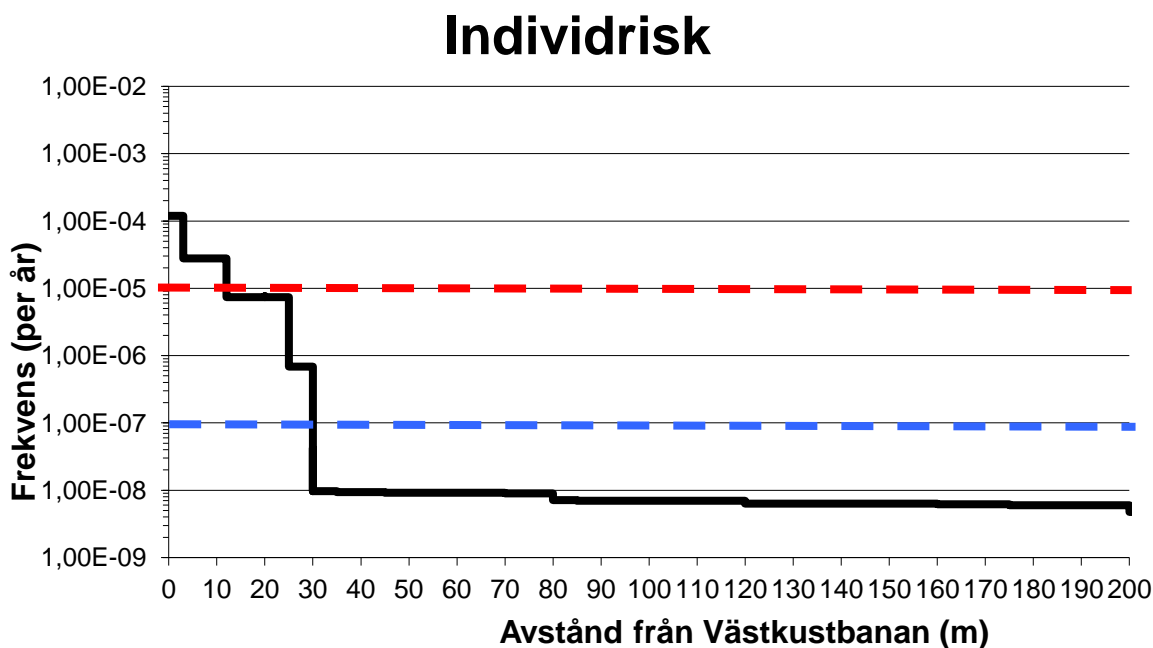
- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras: 10<sup>-5</sup> per år
- Övre gräns för område där risker kan anses vara små: 10<sup>-7</sup> per år

För samhällsrisk föreslår Räddningsverket (Räddningsverket, 1997) följande kriterier:

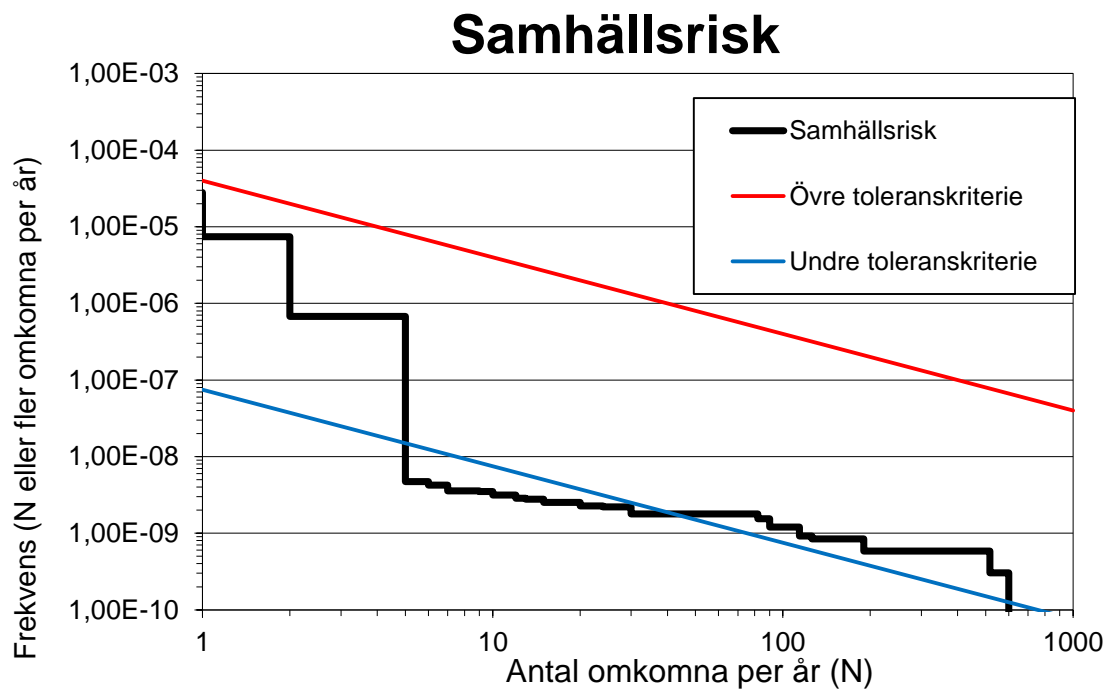
- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras: F=10<sup>-4</sup> per år för N=1 med lutning på FN-kurva: -1
- Övre gräns för område där risker kan anses vara små: F=10<sup>-6</sup> per år för N=1 med lutning på FN-kurva: -1

Kriterierna för samhällsrisk skalas om för att vara representativa för planområdet. D.v.s. de anpassas för att gälla ena sidan av järnvägen och de 800 meter efter Väst kustbanans sträckning som planområdet ligger. Individrisk och samhällsrisk i form av FN-kurva redovisas i figuren nedan.

### 3.2 Individ- och samhällsrisk



Figur 6. Individrisk vid olika avstånd från Väst kustbanan.



Figur 7. Samhällsrisk i form av FN-kurva för planområdet. Observera att riskacceptanskriterierna har skalats om för att vara representativa för området.