



**Säterigatan
Kv. Sannegården
GÖTEBORGS KOMMUN**

RISKUTREDNING

Göteborg 2008-09-25

ÅF-Infrastruktur AB / Avd. Brand & Risk

Borlänge – Borås – Göteborg – Helsingborg – Karlstad – Malmö – Stockholm
Kvarnbergsgatan 2, Box 1551, 401 51 Göteborg. Telefon 010-505 00 00. Fax 010-505 34 16
Org.nr 556185-2103. Säte i Stockholm. Certifierat enligt SS EN ISO 9001 & 14001.
Internet www.afconsult.com.



ÅF-Infrastruktur AB
Avd. Brand & Risk

BORLÄNGE – BORÅS – GÖTEBORG
HELSINGBORG – KARLSTAD – MALMÖ
STOCKHOLM

DOKUMENTINFORMATION

OBJEKT / UPPDRAG	Säterigatan Kv. Sannegården Riskutredning
UPPDRAGSGIVARE	JM AB
UPPDRAGSNUMMER	537055

UPPDRAGSLEDARE	Daniel Säterborn Civilingenjör Riskhantering / Brandingenjör
HANDLÄGGARE	Cecilia Wetterqvist Civilingenjör Riskhantering / Brandingenjör
KONTROLLERAD ENLIGT ISO 9001	Joel Winér Civilingenjör Riskhantering / Brandingenjör

DATUM	DOKUMENTSTATUS/VERSION
2008-07-12	Riskutredning utkast
2008-09-25	Riskutredning

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING.....	4
1 INLEDNING.....	6
1.1 SYFTE OCH BAKGRUND	6
1.2 METOD.....	6
1.3 RESURSER	7
1.4 AVGRÄNSNINGAR.....	7
2 BESKRIVNING AV STUDERAT OBJEKT, RISKINVENTERING	8
2.1 OMRÅDET	8
2.2 RISKKÄLLOR	8
2.3 HAMNBANAN	9
2.4 SKYDDSOBJEKT.....	11
3 OLYCKSKATALOG FARLIGT GODS	13
3.1 EXPLOSIVA ÄMNER (KLASS 1)	13
3.2 KONDENSERAD BRANDFARLIG GAS (KLASS 2)	13
3.3 KONDENSERAD GIFTIG GAS (KLASS 2)	14
3.4 BRANDFARLIG VÄTSKA (KLASS 3)	14
3.5 BRANDFARLIGT FAST ÄMNE (KLASS 4)	14
3.6 OXIDERANDE ÄMNE (KLASS 5)	15
3.7 GIFTIGA OCH SMITTBÄRANDE ÄMNER (KLASS 6)	15
3.8 FRÄTANDE ÄMNE (KLASS 8).....	15
4 RISKBEDÖMNING	16
4.1 INDIVIDRISK	16
4.2 SAMHÄLLSRISK	16
4.3 ACCEPTANSKRITERIER	16
5 RISKVÄRDERING	18
5.1 ALLMÄNT.....	18
5.2 VÄRDERING AV RISKEN	18
5.3 RISKREDUCERANDE ÅTGÄRDER	20
5.4 EFFEKTER AV RISKREDUCERANDE ÅTGÄRDER	22
6 KÄNSLIGHETSANALYS	23
6.1 METOD.....	23
6.2 RESULTAT	23
7 SLUTSATS	27
8 REFERENSER.....	28
BILAGA A – SANNOLIKHETSBERÄKNING FÖR FG-OLYCKA TÅG	29
BILAGA B – VÄDERDATA	39
BILAGA C – KONSEKVENSPANALYS FARLIGT GODS	42



RISKUTREDNING

Säterigatan Sannegården – Göteborgs Kommun

Sammanfattning

Denna riskutredning är genomförd i syfte att kartlägga risknivån vid etablering av bostäder kring Säterigatan. Planområdet ligger vid Hamnbanan vilket är en farligtgoodsled för järnvägs-transporter. Hamnbanan passerar idag planområdet i en 7 meter djup ravin. Då man önskar bygga bostäder på ett avstånd om 50 meter från Hamnbanan underskrider man det vedertagna avståndet om 80 meter mellan bostäder och farligtgoodsled, varpå risknivån måste utredas.

Gällande Hamnbanan planeras idag för en överdäckning av den del som passerar aktuellt planområde. Detta skulle innebära lägre risknivå då planområdet inte påverkas av en olycka i samma utsträckning som när tåg passerar i det fria som de gör idag. Det planeras även för en eventuell utbyggnad av Hamnbanan vilket bl.a. höjer trafikintensiteten. Denna riskutredning baseras dock på att Hamnbanan bibehåller befintligt utförande de närmaste 5 åren. Detta innebär att 80 tåg/dygn förväntas passera planområdet och att vart annat tåg transporterar en vagn med farligt gods.

För att uppskatta risknivån har individrisken och samhällsrisken beräknats. Dessa bedömningar baseras på sannolikhetsberäkningar för att olika olyckshändelser skall inträffa på berörd del av Hamnbanan samt på konsekvensbedömningar gällande de olika olyckshändelserna. Då många av de värden som ansåts som indata till beräkningarna baseras på antaganden har parametrar med hög osäkerhet valts att sättas till konservativa värden, detta för att få resultat på den säkra sidan.

En känslighetsanalys har genomförts där konsekvenserna av en trafikintensitetshöjning från 80 tåg/dygn till 150 tåg/dygn har studerats, samt hur resultatet påverkas av om varje tåg antas frakta en farligtgodsvagn istället för vart annat tåg. Även ravinens inverkan på en explosion hanteras i en känslighetsanalys.

Vid bedömningen av om risknivån för planområdet kan anses vara acceptabel jämförs samhällsrisken och individrisken primärt med de acceptanskriterier som tagits fram av Räddningsverket. Kriterierna beskrivs av ett intervall i ett logaritmiskt diagram med en övre gräns över vilken risker ej accepteras och en undre gräns under vilken risker är acceptabla. Mellan dessa gränser finns ett intervall där risker inte kan klassas som varken acceptabla eller oacceptabla utan kräver vidare överväganden. Risknivån har även jämförts med den övre gräns för risknivån som föreskrivs i Göteborgs Fördjupade Översiktsplan.

Den beräknade risknivån överskrider ej Räddningsverkets kriterium, dock ligger den till viss del mellan den övre och den undre gränsen vilket innebär att risknivån bedöms vara acceptabel om rimliga åtgärder vidtas. Med rimlig menas att kostnaden för åtgärderna inte skall inte vara orimlig i förhållande till de effekter åtgärden ger. Risknivån ligger till större delen under aversionskurvan satt för Göteborgs Stad.

Resultaten av känslighetsanalyserna avseende mängden farligt gods samt trafikintensiteten visar att risknivåerna kommer att öka något. Risken ökar dock inte i sådan utsträckning att säkerhetshöjande åtgärder utöver de som anses lämpliga i grundfallet behöver vidtas. Känslighetsanalysen avseende tryckverkan vid en explosion visar på avsevärt reducerad risknivå.

Som rimliga åtgärder föreslås att en skyddsvall om ca 3 meter upprättas kring berörd del av Hamnbanan så att höjdskillnaden mellan spår och vallens överkant är minst 10 m. Detta medför ett ökat skydd mot t.ex. explosion, strålning från en brand och gasutsläpp. Även utförandet av ventilationssystemet ska beaktas så att friskluftintag inte riktas mot Hamnbanan. Plantering av buskar och träd mellan Hamnbanan och bostadsområdet är också starkt rekommenderat.

Tillfälliga provisoriska lösningar bedöms möjliga under de år som Hamnbanan är utförd utan överdäckning.

Utifrån antagandet att föreslagna säkerhetshöjande åtgärder utförs samt att Hamnbanan bibehåller sitt utförande under ytterligare 5 år bedöms risknivån för aktuellt planområde ligga inom acceptabla gränser. Därmed ses inga problem med att byggnader uppförs på ett avstånd om 50 meter från Hamnbanan.

1 Inledning

1.1 Syfte och bakgrund

Denna riskutredning är genomförd i syfte att kartlägga risknivån vid etablering av bostäder kring Säterigatan. Riskerna inom området, som utgör målen för riskanalysen, är transport av farligt gods på Hamnbanan. Endast risker för personsador på tredje man studeras.

I dagsläget är aktuell del av Hamnbanan enkelspårig. Det pågår dock en utredning om Hamnbanans framtid där ett av förslagen är bibehållet läge genom Eriksberg. För att klara den ökade kapaciteten kommer dock spåret utökas till två spår och i så fall kommer spåren även överdäckas vid genomfarten av planområdet. En riskutredning finns redan för planområdet baserad på att överdäckningen finns på plats.

Syftet med denna riskutredning är att värdera risken vid etablering av bostäder innan Hamnbanans sträckning är fastställd och överdäckningen är färdigställd. Det är av intresse att veta om det är acceptabelt, och i så fall under hur lång tid det är acceptabelt, att bostäder placeras närmre Hamnbanan än det vedertagna riskavståndet 80 m innan denna överdäckas.

Behovet på riskanalys har sin bakgrund i Plan- och bygglagen (1987:10).

Riskutredningen är sammanställd på uppdrag av JM AB.

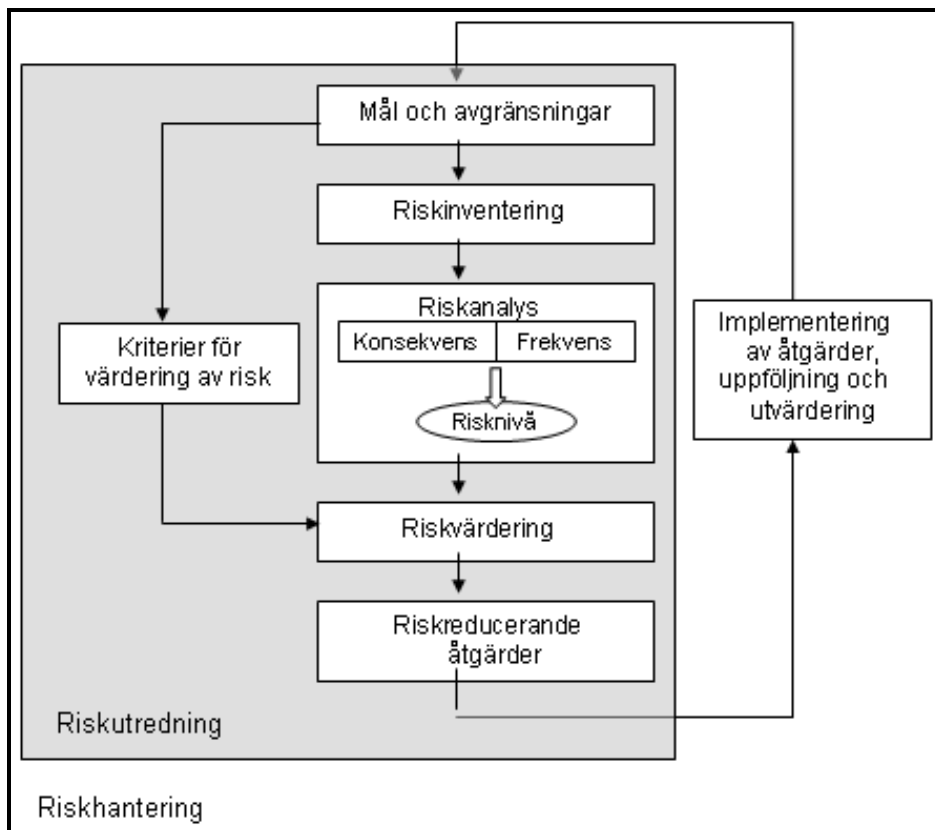
1.2 Metod

Att genomföra en riskutredning innebär i sig flera olika delmoment. Inledningsvis bestäms de **mål och avgränsningar** som gäller för den aktuella riskutredningen. Även principer för hur risken värderas skall fastställas /1/.

Därefter tar **riskinventeringen** vid, som syftar till att komma fram till vilka risker som är specifika för den studerade processen.

I **riskanalysen** bedöms konsekvensen av olika olyckor och med vilken frekvens de kan förväntas inträffa, för att erhålla en uppfattning om risknivån.

I **riskvärderingen** jämförs resultatet från riskanalysen med principer för hur risken skall värderas, för att komma fram till om risken är acceptabel eller ej. Slutsatser dras utifrån detta resultat om behovet av **riskreducerande åtgärder**. Riskutredningen är en regelbundet återkommande del av den totala riskhanteringsprocessen där en kontinuerlig implementering av riskreducerande åtgärder, uppföljning av processen och utvärdering av resultatet är utmärkan- de. Processen åskådliggörs i Figur 1 nedan.



Figur 1 - Riskhanteringsprocessen

Oberoende av resultatet från riskutredningen står det klart att det alltid är motiverat att genomföra åtgärder som till en låg kostnad och utan andra avsevärda olägenheter minskar risken väsentligt.

1.3 Resurser

Riskanalysen har utförts med deltagande av följande personer:

Daniel Säterborn

Uppdragsansvarig, Civilingenjör Riskhantering, ÅF-Infrastruktur AB, Göteborg

Cecilia Wetterqvist

Handläggare, Civilingenjör Riskhantering, ÅF-Infrastruktur AB, Göteborg

Joel Winér

Kvalitetsgranskning, Civilingenjör Riskhantering, ÅF-Infrastruktur AB, Helsingborg

1.4 Avgränsningar

I denna riskutredning studeras bara risker för personskador till följd av de i olyckskatalogen redovisade olyckshändelserna. Med personsäkerhet avses här säkerhet för alla personer som inom det studerade området kan påverkas av olyckor med farligt gods på Hamnbanan.

2 Beskrivning av studerat objekt, riskinventering

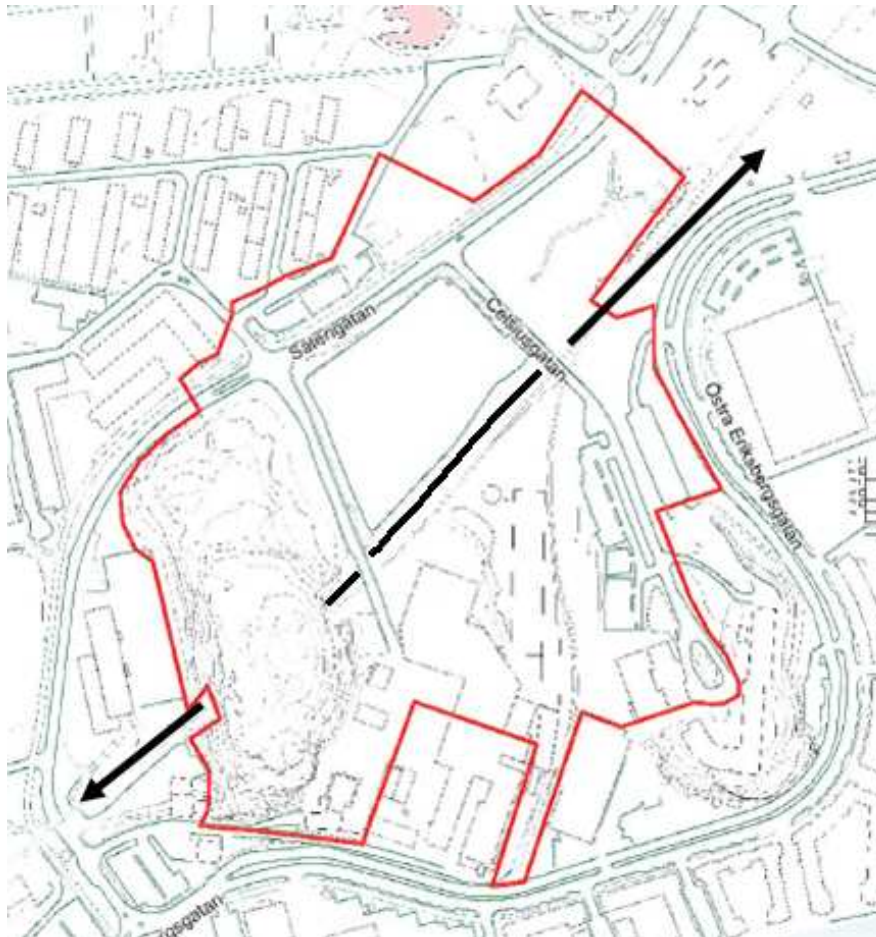
2.1 Området

Planområdet ligger vid norra Älvstranden och sträcker sig från Valskvarnsgatan i söder till Danaplatsen i norr och från Bratteråsberget i väster till Östra Eriksbergsgatan i öster. På området planeras nybyggnation av bostäder samt parkeringsplatser.

I närheten av området finns andra bostadsområden, bensinstation samt Göta älv.

2.2 Riskkällor

I denna riskutredning utgör Hamnbanan den undersökta riskkällan. Även Göta Älv används för transporter av farligt gods, men avståndet till farleden är > 200 m. Hamnbanan är järnvägsled för godstrafik varav delar av godset utgör farligt gods (FaGo). Järnvägsleden skär i dagsläget genom planområdet från öst till väst i en ca 7-10 m djup sänka.



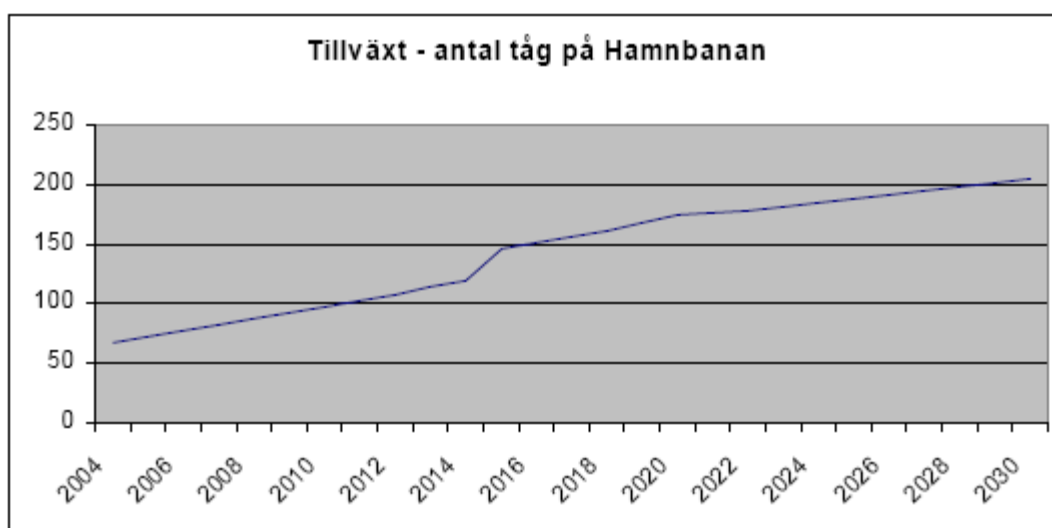
Figur 2 - Situationsplan över planområdet, svart pil markerar hamnbanan.

2.3 Hamnbanan

I dagsläget är aktuell del av Hamnbanan enkelspårig. Det pågår dock en utredning om Hamnbanans framtid /2/ där ett av förslagen är bibehållit läge genom Eriksberg. För att klara den ökade kapaciteten kommer dock spåret i framtiden utökas till två spår och spåren kommer även överäckas vid genomfarten av planområdet /3/. När detta ske är i dagsläget ovisst och beror bl.a. på politiska beslut men enligt uppgift från exploitören [JM] så förväntas Hamnbanan vara överdäckt om 5 år (2013).

Göteborgs hamn tar emot allt farligt gods som är tillåtet för transport. Det är dock svårt att uppskatta hur många transporter farligt gods som går på Hamnbanan, samt hur intensiteten ändras i samband med ökad trafik. I dagsläget passerar uppskattningsvis ca 85-100 tåg planområdet varje vardagsdygn, under helgerna sker betydligt färre transporter /4/.

I och med kapacitetshöjande åtgärder samt en ev. utbyggnad av Hamnbanan förväntas dock antalet transporter öka. Förväntad ökning redovisas i Figur 3 nedan. Då aktuell riskbedömning syftar till att studera risknivån under en begränsad tid (< 5 år) och inom en närstående framtid (fram till 2013) baseras utredningen på att 80 godståg/dygn (inkl. helger vilket motsvarar 112 tåg/dag endast veckodagar) passera planområdet, då detta antagande är att betrakta som konservativt.



Figur 3 - Hämtad från Förstudie Nya Hamngatan BRVT 2006:2-11

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. Därför antas att ett godståg i genomsnitt består av 30 vagnar /5/.

Andelen vagnar per tåg som kan förväntas innehålla farligt gods varierar från tåg till tåg, men baserat på statistik från /6/ transporteras 14 488 vagnar med farligt gods per år. Jämfört med totalt 29 200 godståg per år (365x80) med i snitt 30 vagnar per tåg så transporteras således ca 0,5 vagnar farligt gods per tåg, eller enkelt uttryckt så transporteras en vagn farligt gods på vartannat tåg.

Följande klassade varor transporteras på Hamnbanan:

Tabell 1 – farligt gods på Hamnbanan

Klass (ADR)	Kategori	Exempel (antaget i utredningen)	Transporterad mängd på järnväg (ton)**	Transporterad mängd på hamnbanan (ton)*	Transporterad mängd på hamnbanan (vagnar)*	Transporterad mängd på hamnbanan (antal tåg)***
1	Explosiva ämnen		0	0,53 %	0,7 %	0,01
2	Gaser	Brandfarliga, t ex gasol (propan)	11,1 %	13,3 %	15,3 %	13,7 %
		Giftiga	3,7 %	3,3 %	3,8 %	
		Klor		5,3 %	6,2 %	
3	Brandfarliga vätskor		53,9 %	13,3 %	12,3 %	11,6 %
		Diesel		37,4 %	34,6 %	
4	Brandfarliga fasta ämnen	Ferrokisel	1,3 %	1,7 %	1,5 %	19 %
5	Oxiderande ämnen, organiska peroxider	Väteperoxid	12,1 %	4,7 %	5,4 %	26 %
6	Giftiga ämnen, smittförande ämnen		1,3 %	16,6 %	15,4 %	3,3 %
7	Radioaktiva ämnen		-	-	-	0,05 %
8	Frätande ämnen		10,1 %	2,5 %	2,3 %	24,8 %
9	Övriga farliga ämnen		6 %	1,3 %	2,3 %	1,2 %

* Redovisat i "Förstudie Nya Hamnbanan"

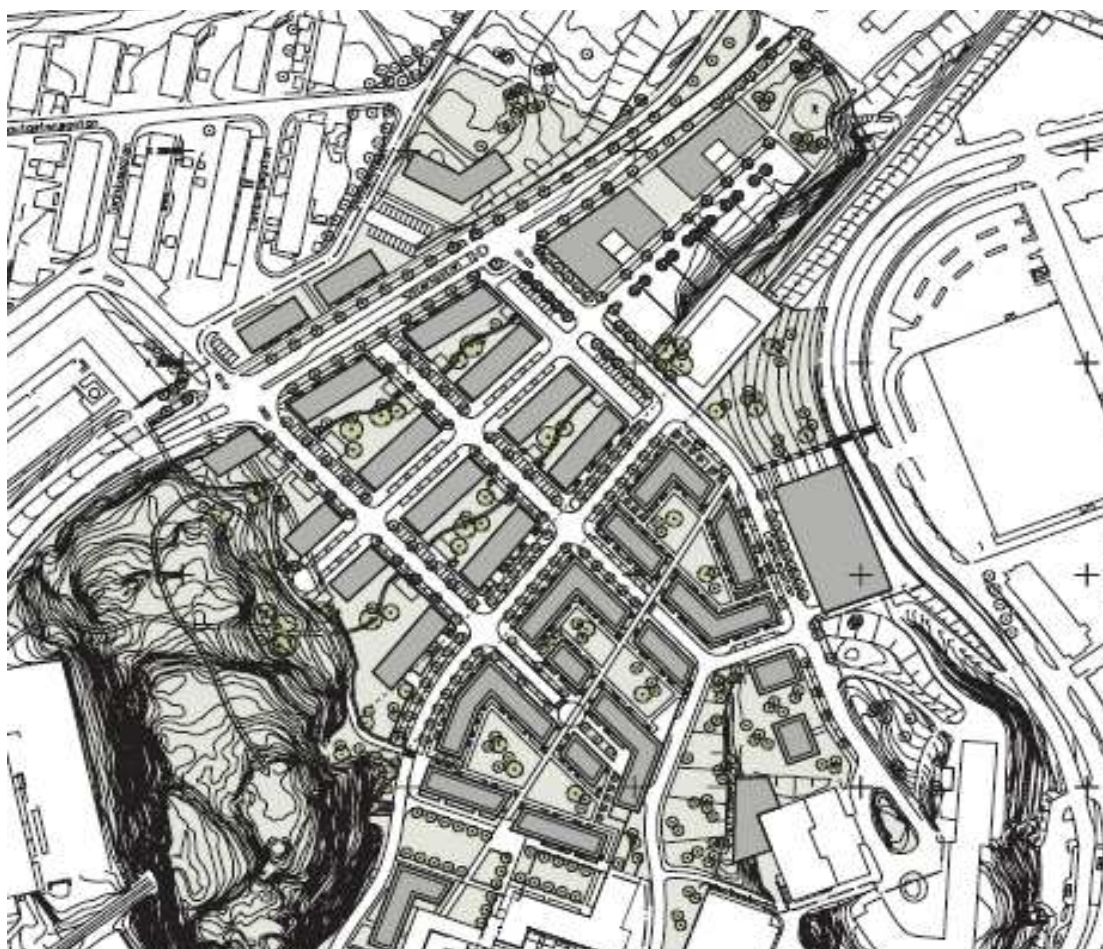
** under september månad 2006 redovisad i SRV:s rapport /7/

*** Redovisat i rapport "Riskutredning, Bostäder och verksamheter vid Säterigatan" upprättad av Eviro planning, daterad 2006-05-09.

Värden som senare används i beräkningar är de värden som presenterats i kolumn 6 (fet stil) från "Förstudie Nya Hamnbanan" då dessa anses representativa.

2.4 Skyddsobjekt

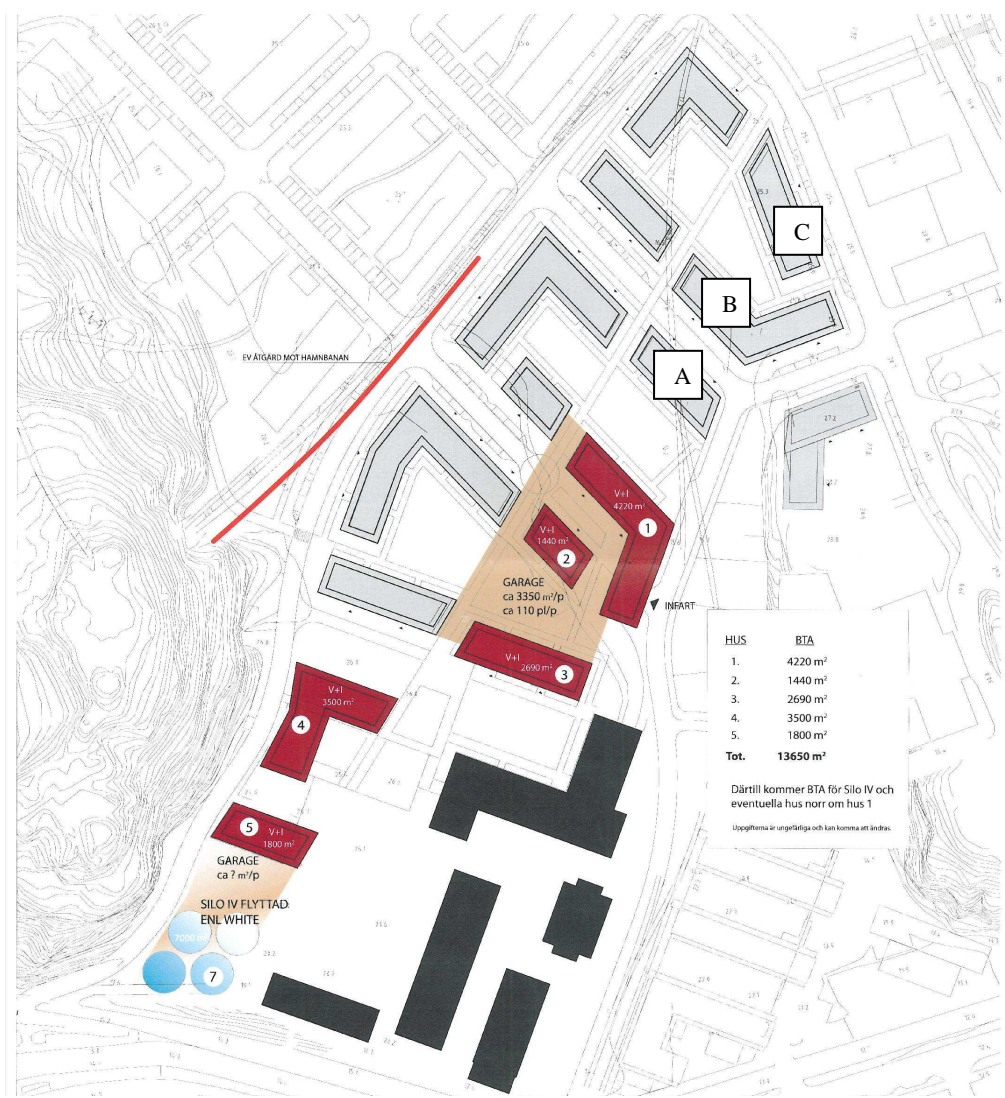
I denna utredning tas endast hänsyn till hur en olycka med en FaGo-vagn påverkar det aktuella planområdet. På området planeras främst bostäder med en tänkt placering enligt planbeskrivningen nedan. I figuren har hänsyn tagits till den planerade överdäckningen.



Figur 4 – Planbeskrivning över planområdet när överdäckningen är utförd, hämtad från JM

Initialt kommer inte hela planområdet exploateras. Med initialt syftas på tiden fram tills Hamnbanans nya sträckning är klar, eller då den befintliga banan är överdäckad, vilket förutsätts ske inom 5 år från dagens datum, d.v.s. tredje kvartalet 2013. När väl överdäckningen är färdigställd kommer planen enligt figur 4 verkställas. Fram till dess är det planen enligt figur 5 som är dimensionerande för riskanalysen. I denna plan ligger de närmaste bostadshusen ca 50 m från Hamnbanans spårmitt.

Då området bebyggs med bostäder vistas människor i området dygnet runt. Persontätheten har beräknats med hänsyn till områdets storlek samt hur många människor som antas bo i varje hus och vistas på parkeringsplatserna. Detta ger en persontäthet 0,043 pers/ m² söder om Hamnbanan. Det är antaget att det dag-/kvällstid är 20 % hemma inomhus och 5 % vistas utomhus. Nattetid antas 99 % vara hemma inomhus och 1 % vistas utomhus. Beräkningen presenteras i bilaga C.



Figur 5 – Planbeskrivning över planområdet innan överdäckningen är utförd, hämtad från JM. Aktuella bostadshus är de rödfärgade (1-5). Dessutom räknas även hus A, B och C med i riskanalysen då dessa ligger på samma avstånd från Hamnbanan och kan vara av intresse att bygga inom avsedd tidsram på 5 år.

3 Olyckskatalog Farligt Gods

På Hamnbanan fraktas regelbundet flera olika typer av farligt gods.

3.1 Explosiva ämnen (klass 1)

Inom kategorin explosiva ämnen/varor är det primärt underklass 1.1 som utgörs av massexplosiva ämnen som har ett skadeområde på människor större än ett 10-tal meter. Exempel på sådana varor är sprängämnen, krut mm. Risken för explosion föreligger vid en brand i närheten av dessa varor samt vid en kraftfull sammanstötning där varorna kastas omkull. Skadorna vid en explosion härrör dels till direkta tryckskador men även värmestrålning samt indirekta skador som följd av sammanstörtade byggnader är troliga. Skadorna vid påverkan på varor av klass 1.2 kan vara splitter som flyger iväg från olycksplatsen. Med hänsyn till hamnbanans utformning bedöms inget splitter flyga in mot planområdet. Inte heller analyseras något av de andra varuslagen i klass 1 (klass 1.3 till 1.6).

3.2 Kondenserad brandfarlig gas (klass 2)

Gasol (propan) är det vanligaste exemplet på kondenserad brandfarlig gas. En olycka som leder till utsläpp av kondenserad brandfarlig gas kan leda till någon av följande händelser:

- Jetbrand
- Gasmolnsbrand
- Gasmolnsexplosion
- BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)

Jetbrand:

En jetbrand uppstår då gas strömmar ut genom ett hål i en tank och direkt antänds. Därmed bildas en jetflamma. Flammans längd beror av storleken på hålet i tanken /8/.

Gasmolnsbrand:

Om gasen vid ovanstående scenario 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 /8/.

Gasmolnsexplosion:

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. En gasmolnsexplosion kan beroende på vindstyrka och riktning inträffa en bit ifrån själva olycksplatsen. Explosionen blir i de allra flesta fallen av typen deflagration. En gasmolnsexplosion kan både medföra skador av värmestrålning och skador av tryckvågen /8/.

BLEVE:

BLEVE är en speciell händelse som kan inträffa om en tank med kondenserad brandfarlig gas utsätts för yttre brand. Trycket i tanken stiger och på grund av den inneslutna mängdens expansion kan tanken rämna. Innehållet övergår i gasfas på grund av den höga temperaturen och det lägre trycket utanför och antänds. 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 läcka i en annan närstående tank med brandfarlig gas eller vätska.

3.3 Kondenserad giftig gas (klass 2)

Läckage av kondenserad giftig gas kan medföra att ett moln av giftig gas driver mot planområdet. De tre mest frekvent transporterade gaserna är ammoniak, klorgas och svaveldioxid.

Ammoniak:

Generellt är ammoniak tyngre än luft varför spridning av gasen sker längs marken. Giftig kondenserad gas kan ha ett riskområde på hundra meter upp till många kilometer beroende på mängden gas. Gasen är giftig vid inandning och kan innebära livsfara vid höga koncentrationer. Ammoniak har ett IDLH (Immediately Dangerous of Life or Health) på 300 ppm.

Svaveldioxid

Även svaveldioxid är en giftig tung gas som vid ett utsläpp kan ha ett riskområde om flera hundra meter. Gasen har ett IDLH på 100 ppm.

Klor

Klor utgör den giftigaste gasen som här ges som exempel på gaser som kan drabba skyddsområdet. Den kan sprida sig långt likt gaserna ovan och har ett IDLH på 10 ppm.

3.4 Brandfarlig vätska (klass 3)

En möjlig olycka med brandfarlig vätska är ett spill som bildar en pöl som senare antänds. Sannolikheten för en brand i diesel bedöms vara avsevärt lägre än för bensin varför olyckan antas vara brand i bensin. Vid ett spill vid spåret vid Hamnbanans studerade sträckning är det sannolikt att en del bränsle hamnar i ballasten (makadam) vid spåret. Studier /9/ har visat på en dramatiskt minskad effektutveckling i pölbranden om denna sker i et lager av makadam. Då hela pölen inte hamnar i makadam så antas full effektutveckling som en konservativt antagande. Däremot ökas sannolikheten för en mindre pölbrand jämfört en större pölbrand.

Brandfarlig vätska klass I:

Exempel på brandfarlig vätska klass I är bensin och etanol. Båda dessa är extremt lättantändliga och brinner med hög intensitet.

Brandfarlig vätska klass III:

Diesololja och eldningsolja är exempel på brandfarlig vätska klass III och är till skillnad från bensin och etanol svårantändliga vid normal utomhustemperatur utan den behöver först värmas upp (flampunkt > 55°C). Dessa vätskor bedöms därför inte antända vid ett eventuellt utsläpp.

3.5 Brandfarligt fast ämne (klass 4)

För att brandfarliga fasta ämnen (ferrokisel, vit fosfor m.fl.) skall leda till brandrisk krävs att det t.ex. att de vid olyckstillfället kommer i kontakt med vatten varvid brandfarlig gas kan bildas. Mängden gas som bildas står i relation till hur mycket av det fasta ämnet som kommer i kontakt med vatten.

3.6 Oxiderande ämne (klass 5)

Flertalet oxiderande ämnen (väteperoxid, natriumklorat m.fl.) kan vid kontakt med vissa organiska ämnen orsaka en häftig brand. Vid kontakt med vissa metaller kan det sönderdelas snabbt och frigöra stora mängder syre som kan underhålla en eventuell brand.

3.7 Giftiga och smittbärande ämnen (klass 6)

Arsenik, bly, kadmium, sjukhusavfall etc. är exempel på dessa ämnen. Skadan begränsas till olyckans närhet.

3.8 Frätande ämne (klass 8)

Olyckan med läckage av frätande ämnen (saltsyra, svavelsyra, NaCl m.fl.) ger endast påverkan lokalt vid olycksplatsen då skador endast uppkommer om personer får ämnet på huden.

4 Riskbedömning

4.1 Individrisk

Individrisk beräknas för att studera risken på en viss plats. Individrisken beror ej på antalet personer som befinner sig inom riskområdet.

Individrisken beräknas enligt:

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n IR_{x,y,i} \quad \text{formel 1a, b}$$
$$IR_{x,y,i} = f_i * p_{f,i}$$

Där f_i är frekvensen för sluthändelsen i . $p_{f,i}$ är sannolikheten för studerad konsekvens. Den antas, enligt ovan, till 1 eller 0 beroende på om individen befinner sig inom eller utanför effektzonen. Genom att summera individrisken för de olika sluthändelserna på olika platser inom ett område kan individriskkonturer plottas.

4.2 Samhällsrisk

Samhällsrisk beräknas för att studera riskens inverkan på samhället. Den tar hänsyn till hur många människor som kan drabbas av ett visst utfall. Samhällsrisk beräknas enligt formel 2 nedan.

$$N_i = \sum_{x,y} P_{x,y} * p_{f,i} \quad \text{formel 2}$$

N_i står för antalet människor som utsätts för den studerade sluthändelsen i . $P_{x,y}$ är antalet personer i punkten x, y och $p_{f,i}$ definieras enligt individrisken ovan.

Samhällsrisk redovisas normalt i F/N-kurvor.

$$F_N = \sum_i F_i \quad \text{för alla sluthändelser } i \text{ för vilka } N_i \geq N \quad \text{formel 3}$$

F_N står för frekvensen av sluthändelser som påverkar N eller fler människor. F_i är frekvensen för sluthändelse i . N_i definieras enligt ovan.

4.3 Acceptanskriterier

I rapporten har de kriterier för riskacceptans som föreslås i *Värdering av Risk, Räddningsverket* använts /10/. Detta innebär att risker då ett större antal personer drabbas väger tyngre och accepteras i mindre utsträckning än risker då enstaka individer drabbas.

Kriterierna för individrisk är:

DNV:s /11/ övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras: 10^{-5} /år

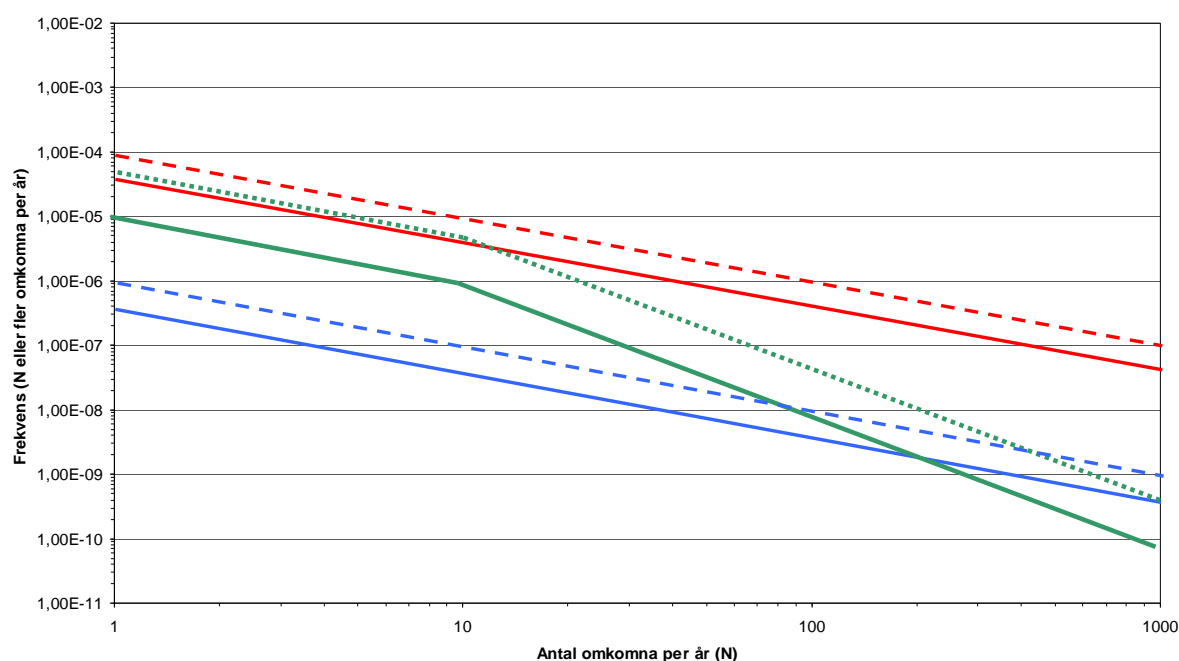
DNV:s /11/ övre gräns för område där risker kan anses små: 10^{-7} /år

Övre gräns för risker enligt Göteborgs Fördjupade Översiktsplan/12/: 10^{-6} /år

Dessa kriterier anses avse etablering av permanent verksamhet såsom anläggningar eller områden där personer vistas stadigvarande. Eftersom detta inte är fallet vid det studerade fallet utgör inte individriskkriterierna det dimensionerande fallet men redovisas ändå eftersom det utgör grunden för beräkning av samhällsrisk.

Kriterierna för samhällsrisk beskrivs av ett intervall i ett logaritmiskt diagram med en övre gräns över vilken risker ej accepteras och en undre gräns under vilken risker är acceptabla. Mellan dessa gränser finns ett intervall där risker inte kan klassas som varken acceptabla eller oacceptabla utan kräver vidare överväganden. Detta område betecknas allmänt ALARP, As Low As Reasonably Practicable /11/, och innebär att risken är acceptabel om rimliga åtgärder ur ett kostnads/nytta-analysperspektiv har vidtagits. Gränserna ska dock inte uppfattas som ett svar på vad samhället faktiskt accepterar utan endast ett exempel på en metod att kvantifiera kriterierna.

Figur 6 nedan beskriver kriterierna enligt /11/ som även jämförs med aversionskurvorna från Göteborgs översiktplan, FÖP /12/. Då DNV:s kriterier baseras på en sträcka av 1 km och då kriterierna från FÖP baseras på en typsträcka på 2 km har aversionskurvorna anpassats för aktuell sträckning på 400 m, d.v.s. den acceptabla risknivån har sänkts med 4/10 respektive 4/20.



Figur 6 - Förslag på acceptanskriterier för risk. Punktstreckade linjer, röd och blå (DNV) samt grön (FÖP) gäller för 1 km respektive 2 km. De heldragna linjerna tillämpas för aktuellt fall för en sträcka på 400 m.

5 Riskvärdering

5.1 Allmänt

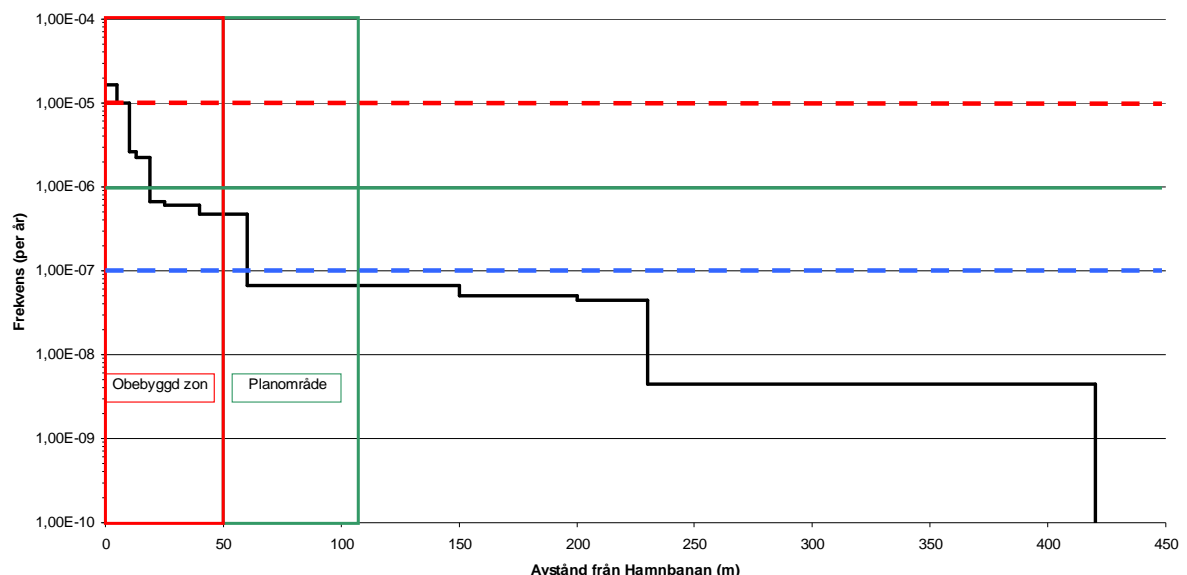
Grunder för värdering av den risk en verksamhet innebär är dels konsekvensen av tänkbara olyckor och dels den frekvens med vilken dessa inträffar. Värderingen kan sedan göras efter fyra olika principer:

- Enligt Rimlighetsprincipen; Risker som inom ekonomiskt rimliga gränser kan förebyggas ska undvikas.
- Enligt Proportionalitetsprincipen; Fördelarna med risken ska vägas mot den nytta den bidrar till.
- Enligt Fördelningsprincipen; Riskerna ska fördelas i samhället så att vissa områden inte bär orimligt stora risker.
- Principen om undvikande av katastrofer; Samhället ser hellre att det inträffar flera små olyckor än få stora katastrofer.

I praktiken omsätts ovanstående principer vid värdering av risken ur ett samhällsperspektiv oftast till kvantitativt uttryckta acceptanskriterier, exempelvis genom individrisknivåer eller F/N-kurvor, även om det ej finns formellt antagna acceptanskriterier av det slaget i Sverige.

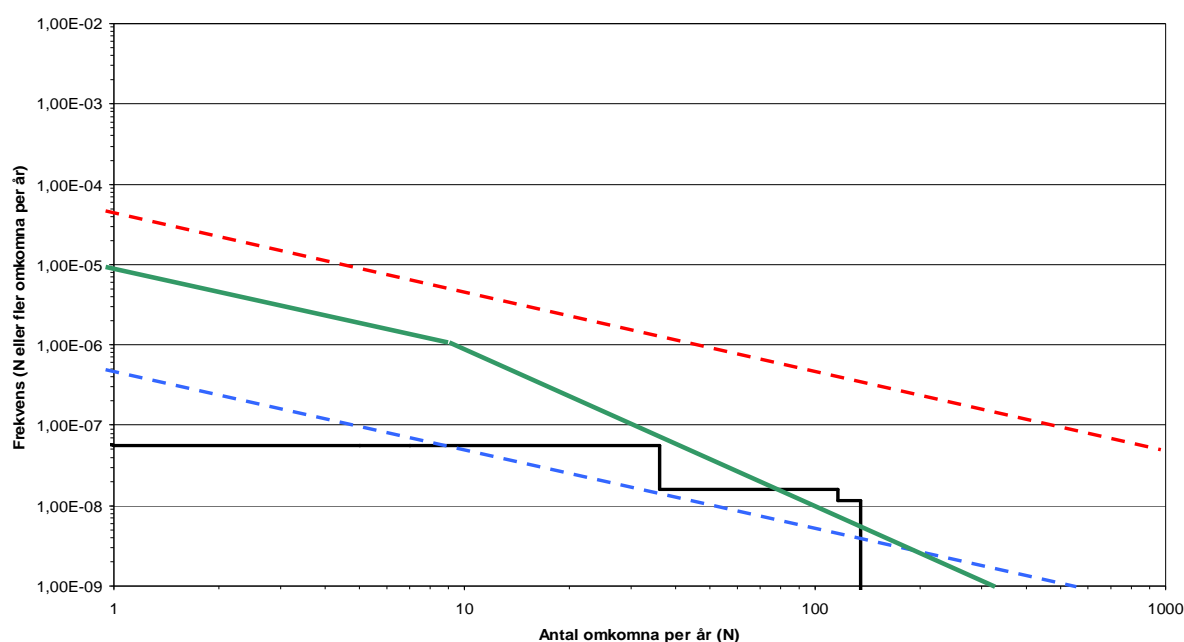
5.2 Värdering av risken

Värderingen av risken utgör en jämförelse med kriterier för vad som är en acceptabel risk. I detta skede är det risken för området som det planeras utan några ytterligare riskreducerande åtgärder som värderas.



Figur 7 – Individriskprofil med avseende på farligt gods på aktuell sträcka av Hamnbanan. Streckade linjer är den högre (1E-05) och lägre (1 E-07) aversionskurvan enligt DNV och den heldragna gröna linjen (1E-06) är aversionskurvan för bostäder enligt Göteborgs Stad.

Individrisker är allmänt låga men upp till ett avstånd till ca 60 m från Hamnbanan ligger den mellan acceptanskriterierna vilket innebär att åtgärder skall vidtas som bedöms kostnadsmässigt motiverade i förhållande till den riskreducerande effekten. Det är främst gasmoln och explosion som höjer kurvan över det undre acceptanskriteriet. Inom 5 m från Hamnbanan överstiger den det högsta kriteriet där risken endast i vissa fall kan accepteras. Då byggnation i det första skedet skall ske som närmast ca 50 m från Hamnbanan så skall behovet av ytterligare riskreducerande åtgärder utredas på de byggnader som hamnar < 60 m från Hamnbanan.



Figur 8 – Samhällsrisksprofil för planområdet med avseende på farligt gods på Hamnbanan. Streckade linjer är den högre och lägre aversionskurvan enligt DNV och den heldragna gröna linjen är aversionskurvan för bostäder enligt Göteborgs Stad.

Den framräknade samhällsrisken ligger till viss del inom ALARP-området vilket innebär att risknivån bedöms vara acceptabel om rimliga åtgärder vidtas. Med rimlig menas att kostnaden för åtgärderna inte skall vara orimlig i förhållande till de effekter åtgärden ger. Risknivån ligger dock något över aversionskurvan satt för Göteborgs Stad baserat på just Hamnbanan. Orsaken är händelser som explosion eller BLEVE där skadeområdet kan bli stort. Hänsyn till ravinens effekt på tryckvågen från en explosion, eller tidsrymden att evakuera området som finns innan BLEVE inträffar, har dock inte tagits, vilket gör att riskkurvan hamnar högre upp än vad är troligt.

5.3 Riskreducerande åtgärder

Då riskkurvorna delvis ligger inom ALARP-området skall det alltid strävas efter att minska risken med de medel som anses rimliga. Sådana åtgärder kan vara:

Tidsrelaterade åtgärder

Med tidsrelaterade åtgärder avses egentligen inga konkreta åtgärder. Istället syftar detta till att betona vikten av den totala tiden som området exponeras för riskkällan. I dag råder stora osäkerheter om Hamnbanans framtida utformning, kapacitet och geografiska läge vilket till stor del påverkar riskbilden i planområdet. Om befintligt läge bibehålls kommer Hamnbanan överdäckas inom en viss tid, enligt uppgift inom 5 år /13/. Det förutsätts att denna överdäckning utförs så att konsekvenserna från eventuella FaGo-olyckor inne i överdäckningen blir försumbara i enlighet med tidigare riskanalys /14/.

Även om aktuella delar av bostadsområdet hinner färdigställas innan Hamnbanan åtgärdats (flytt eller överdäckning) så kan risknivån för området anses vara reducerad genom att ju kortare tid som området exponeras för riskkällan desto lägre blir risken. Åtgärden är en strikt sannolikhetsreducerande åtgärd och påverkar alltså inte konsekvensen av en inträffad olycka. Då risknivån anges som antal omkomna per år kan dock åtgärden inte kvantifieras utan behandlas strikt kvalitativt.

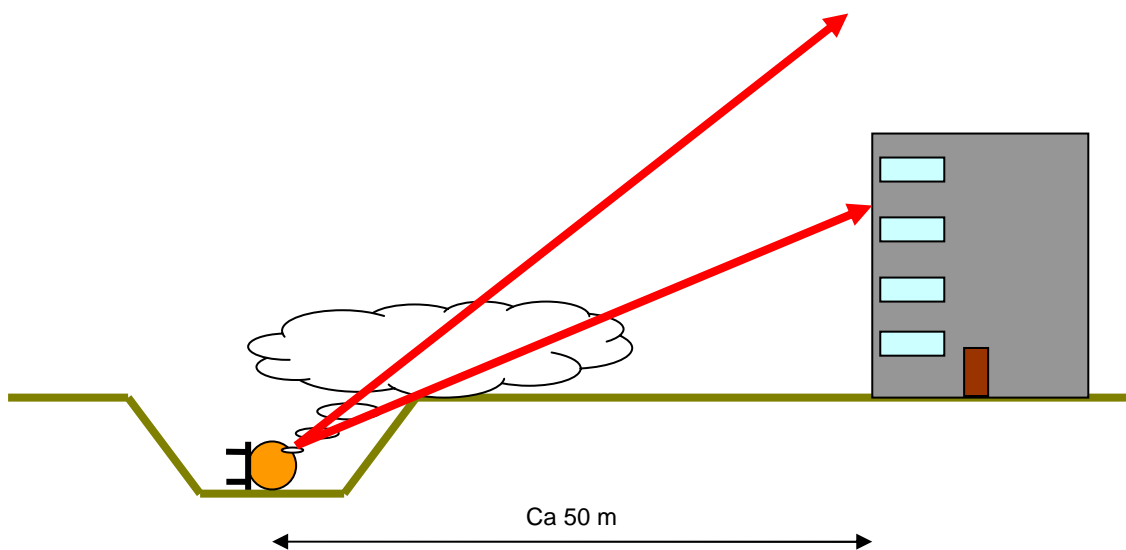
Separerande åtgärder

Då Hamnbanan idag löper i botten av en ravin förbi planområdet så finns redan en av de vanligaste konsekvensreducerande åtgärderna naturligt i topografin, att genom en vall eller mur minska påverkan från en olycka. Ravinens djup på ca 7 m ger en avsevärt högre mur jämfört med de normalt uppförda vallar, murar och plank vilka sällan byggs högre än 4 meter för att separera farligt gods leder från bebyggelse. Den stora mängden fyllnadsmaterial i området medger att en förstärkt vall enkelt kan anläggas mellan ravinens kant och planområdet. Det föreslås att en sådan vall görs ca 3 m hög. Syftet är att erhålla en total höjdskillnad mellan Hamnbanans spår och vallens överkant på minst 10 m.

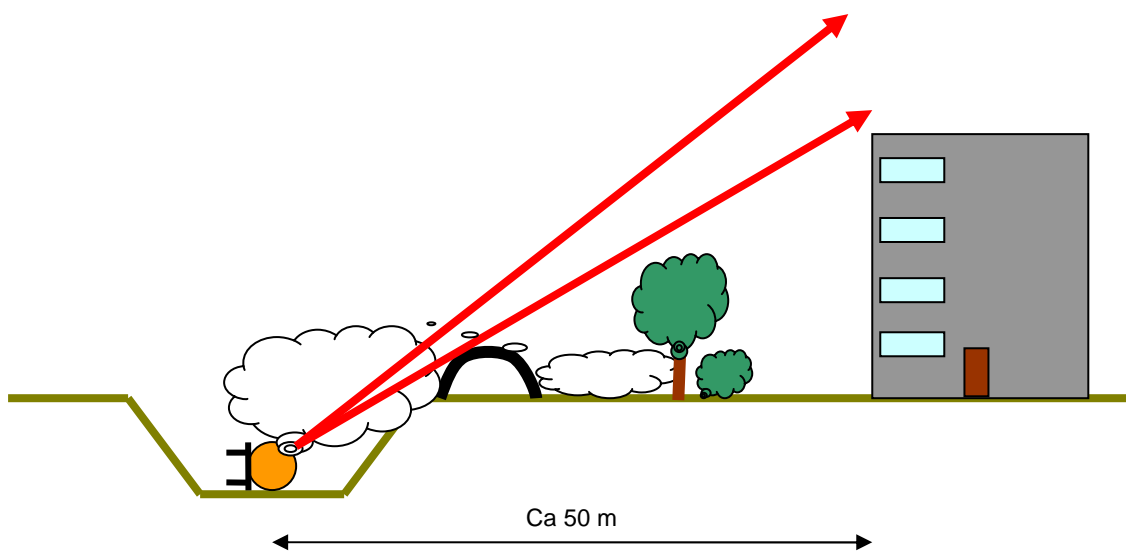
Effekten av en extra vall bedöms bli påtaglig för fallen med pölbrand eller jetflamma. Påverkan på gasspridning bedöms också vara till det bättre, men effekterna är svårare att kvantifiera. Effekten på en explosion bedöms också vara tydlig, men redan utan den extra vallen så bedöms tryckvågen av en explosion hindras i stor utsträckning av ravinens befintliga djup. Hur stor denna effekt blir är dock svårbestämd utan noggranna analyser då tryckvågor transplanteras icke-linjärt runt hörn.

Vegetation i form av träda och buskar mellan Hamnbanan och bostadsområdet skapar också en avskärmning som delvis skyddar mot strålning, brand och splitter från en explosion men även ökar turbulensen och späder ut koncentrationen i ett eventuellt gasmoln. Effekten är dock beroende av årstiden då ett tätt lövverk har mer dämpande effekt än nakna grenar.

I Figur 9 och 10 illustreras effekten av några separerande åtgärder vid en farligt godsolycka.



Figur 9 – Schematisk illustration av gasspridning (molnet) samt strålningszonen från en jetflamma (röda pilar) utan riskreducerande åtgärder (ej skalenligt). Jetflamman kan nå byggnaden och gasmolnet kan driva upp ur ravinen.



Figur 10 – Strålningszon och gasspridning, vid en extra vall på ca 3 m invid ravinen. Zonen flyttas upp och flamman kan eventuellt inte nå fasaden. Spridning av gasmolnet begränsas (ej skalenligt).

Byggnadstekniska åtgärder

Byggnaderna förutsätts vara utförda av bärande betongkonstruktion samt med övriga byggnadsdelar i brandtåligt material som obrännbar fasad, obrännbar isolering mm. Byggnaderna förväntas därmed stå emot viss påverkan från explosioner, värmestrålning etc.

Byggnaderna kommer med all sannolikhet att förses med från- och tilluftssystem vilket ger en möjlighet att placera friskluftintag på den sida byggnaden som vetter bort från Hamnbanan. Med rätt placering på friskluftintag bedöms inga tekniska åtgärder på systemet vara nödvändiga. Vid en utformning med endast frånluftssystem och tilluft via fasadventiler måste frånluftsfläktar kunna stoppas för att minimera eventuell inträngning av giftiga gaser vid en sådan olycka. Med denna utformning är svårare att åstadkomma en konsekvensreducerande effekt.

Utrymning från byggnaderna ska i första hand kunna ske bort från Hamnbanan. Då samtliga byggnader som planeras i första skedet har ena kortsidan vänd mot Hamnbanan så innebär detta att trapphus kommer mynna snett från Hamnbanan.

5.4 Effekten av riskreducerande åtgärder

Då risknivån för aktuellt planområde inte överskrider de acceptanskriterier som gäller har inga beräkningar utförts för att visa hur risknivåerna påverkas av föreslagna riskreducerande åtgärder. Dessutom innebär alla kvantifieringar antaganden vilket bidrar till vissa osäkerheter gällande resultaten. Dock bidrar samtliga föreslagna åtgärder till att risknivåerna sänks vilket rekommenderas då risknivåerna till viss del ligger inom ALARP-området.

En höjning av skyddsvallen medför att färre människor påverkas av en eventuell olycka. Detta torde vara en relativt enkel åtgärd att genomföra och minskar både konsekvensen vid en olycka samt risknivån. Dessutom bidrar åtgärden till en förbättrad omgivningsmiljö för de boende då t.ex. även bullernivåer påverkas av höjden på skyddsvallen.

Även utformningen av ventilationssystemet bedöms kunna ge relativt stora effekter gällande konsekvensen vid en olycka. Om t.ex. ett större gasutsläpp skulle inträffa och förhållandevis stark vind ligga i riktning mot husen kan tämligen stora områden påverkas, dock drabbas primärt de som kommer i kontakt med luften. Om åtgärder vidtas för att säkerställa att sådan luft i möjligaste mån inte tränger in i byggnaderna vistas personer inomhus i säkerhet. Åtgärden torde även vara enkel att genomföra.

6 Känslighetsanalys

6.1 Metod

I samband med riskutredningar finns ofta en del osäkerheter i variationer av förutsättningar och indataparametrar till beräkningar samt de förenklingar som ofta är nödvändiga. En känslighetsanalys är därför nödvändig för att kunna påvisa om variationer i antaganden kan inverka på den totala risknivån.

För aktuell riskutredning har antaganden valts med konservativa värden i de flesta indata för att ge resultat på säkra sidan och på det sättet delvis kompensera för osäkerheterna. Därför anses ingen noggrannare osäkerhetsanalys (t ex Monte Carlo-analys) vara befogad. Dock har vissa parametrar varierats för att visa på hur känsligt resultatet är mot varierande indata.

Några faktorer som är förknippade med viss osäkerhet är antalet tåg som passerar planområdet, hur många vagnar de har, samt vilka mängder farligt gods de transporterar. Dessa variabler är även föränderliga och påverkas bl. a. av en eventuell utbyggnad av Hamnbanan. Ytterligare en osäker faktor är ravinens inverkan på tryckvågen från en explosion nere på banan.

I känslighetsanalysen har parametrarna antalet tåg som passerar planområdet samt hur många vagnar farligt gods ett tåg transporterar valts att varieras. I en känslighetsanalys har konsekvensen av en explosion reducerats till 50 % av grundförutsättningen genom att antalet omkomna halveras. Valet baseras på att dessa antaganden bedöms ha störst osäkerhetsfaktor samt vara de parametrar som mest troligt förändras.

Om planerade kapacitetshöjande åtgärder genomförs på berörd sträcka av Hamnbanan kan trafikintensiteten öka. Inom en 5-års period skulle detta kunna innebära att trafikintensiteten ökar från 80 godståg/dygn till 150 godståg/dygn (inkl helger) /6/ varpå detta värde ansätts i känslighetsanalysen.

6.2 Resultat

Resultaten visar att individrisken och samhällsrisken kommer att öka något om trafikintensiteten ökar. Risken ökar dock inte i sådan utsträckning att säkerhetshöjande åtgärder utöver de som anses lämpliga i grundfallet behöver vidtas.

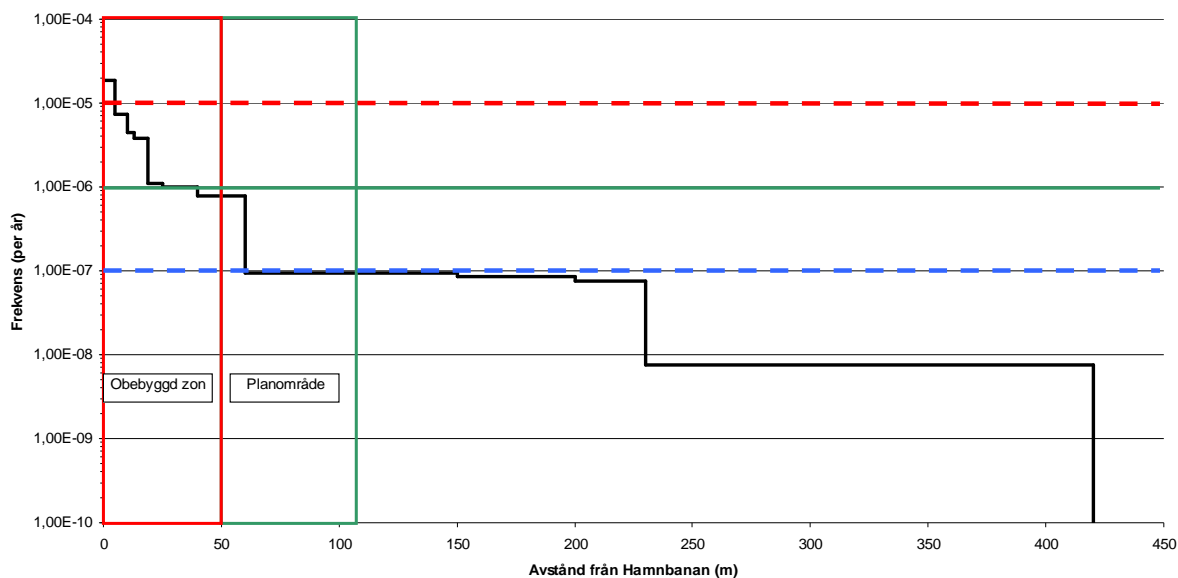
Risken kommer minska avsevärt vid sänkt påverkan från explosion.

Ökad trafikering

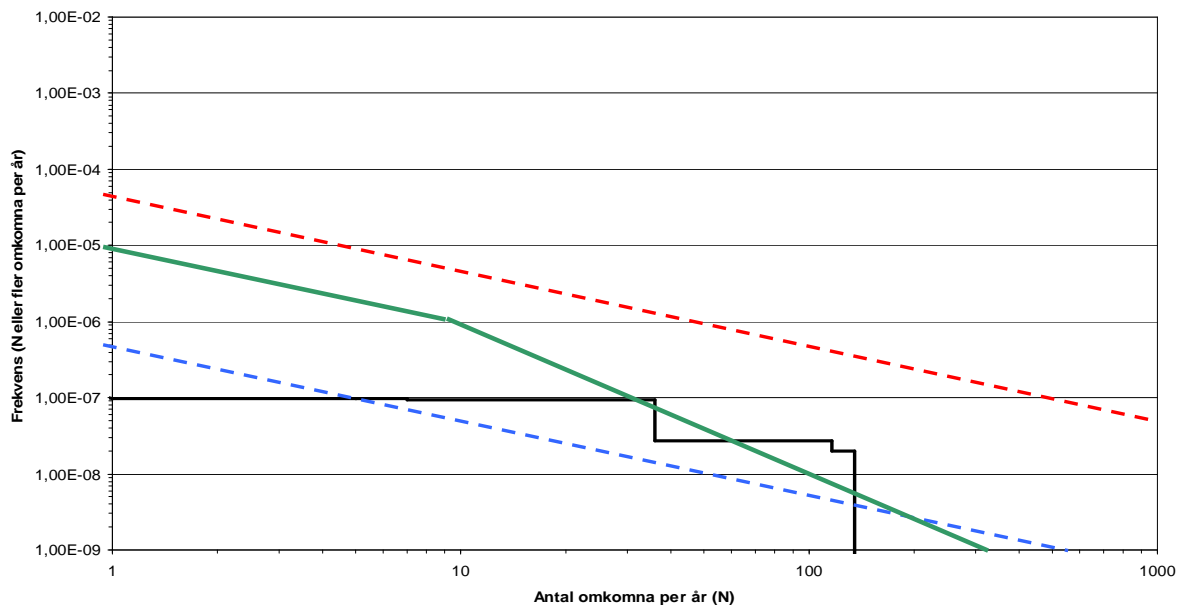
Individrisken, se Figur 11, kommer vid en ökad trafikintensitet överstiga de kriterier där risken endast i vissa fall kan accepteras i större utsträckning än i grundfallet. Då detta område inte skall bebyggas kan detta godtas men vid en ev. utökning av planområdet skall detta beaktas. Inom aktuellt planområde är individrisken fortfarande att betrakta som låg vid en trafikintensitetsökning.

Den framräknade samhällsrisken, se Figur 12, ligger vid en trafikintensitetsökning fortfarande inom eller eventuellt under ALARP-området vilket innebär att risknivån bedöms vara accep-

tabel. Dock överskrider aversionskurvan satt för Göteborgs Stad baserat på Hamnbanan något. Detta anses dock inte påverka risknivån i sådan utsträckning att ytterligare säkerhetskörande åtgärder utöver de som anses lämpliga i grundfallet behöver vidtas.



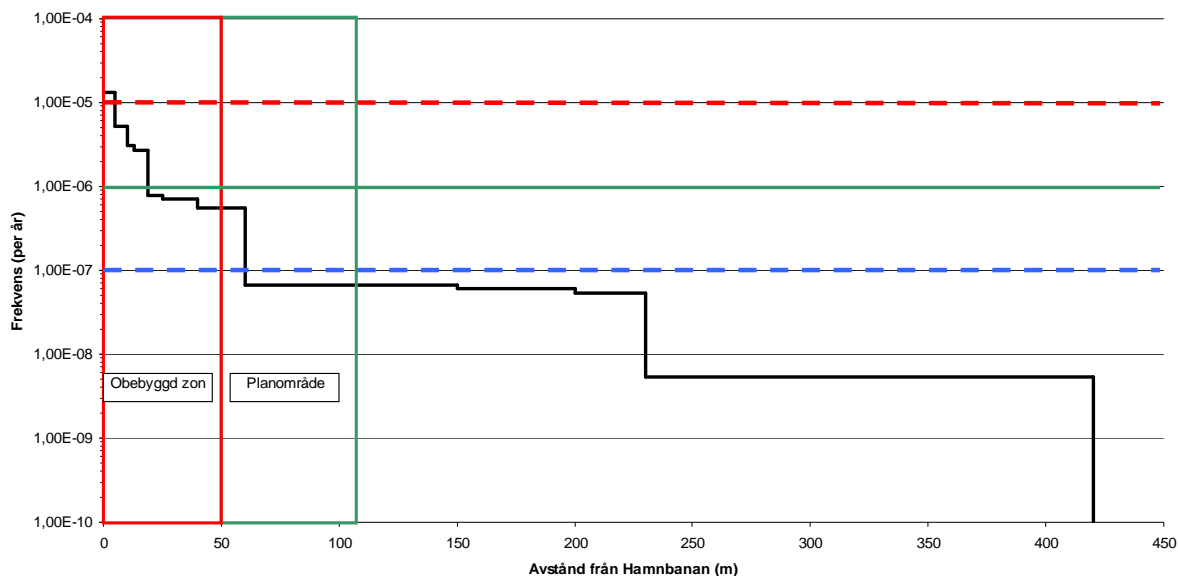
Figur 11 – Individriskprofil med avseende på farligt gods på aktuell sträcka av Hamnbanan om 150 godståg/dygn antas passera planområdet. Streckade linjer är den högre (1E-05) och lägre (1 E-07) aversionskurvan enligt DNV och den heldragna gröna linjen (1E-06) är aversionskurvan för bostäder enligt Göteborgs Stad.



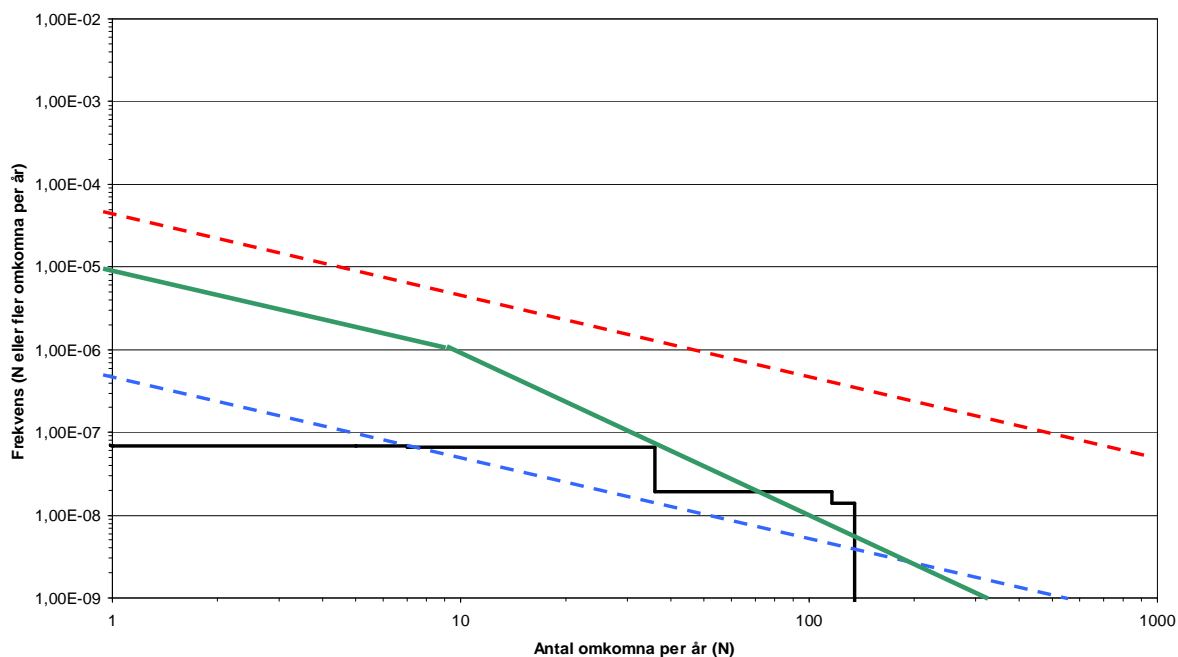
Figur 12 – Samhällsrisikoprofil för planområdet med avseende på farligt gods på Hamnbanan om 150 godståg/dygn antas passera planområdet. Streckade linjer är den högre och lägre aversionskurvan enligt DNV och den heldragna gröna linjen är aversionskurvan för bostäder enligt Göteborgs Stad.

Ökad andel farligt-godståg

Om samtliga godståg som passerar planområdet (80 tåg/dygn enligt grundantagandet) skulle transportera en vagn farligt gods, i stället för vartannat tåg som är antagandet i grundfallet, ökar risknivåerna något men inte heller i detta fall anses ytterligare säkerhetshöjande åtgärder än de som presenterats för grundfallet vara nödvändiga. Se Figur 13 och 14 nedan för resultaten.



Figur 13 – Individriskprofil med avseende på farligt gods på aktuell sträcka av Hamnbanan om 1 vagn/godståg innehåller farligt gods. Streckade linjer är den högre (1E-05) och lägre (1 E-07) aversionskurvan enligt DNV och den heldragna gröna linjen (1E-06) är aversionskurvan för bostäder enligt Göteborgs Stad.

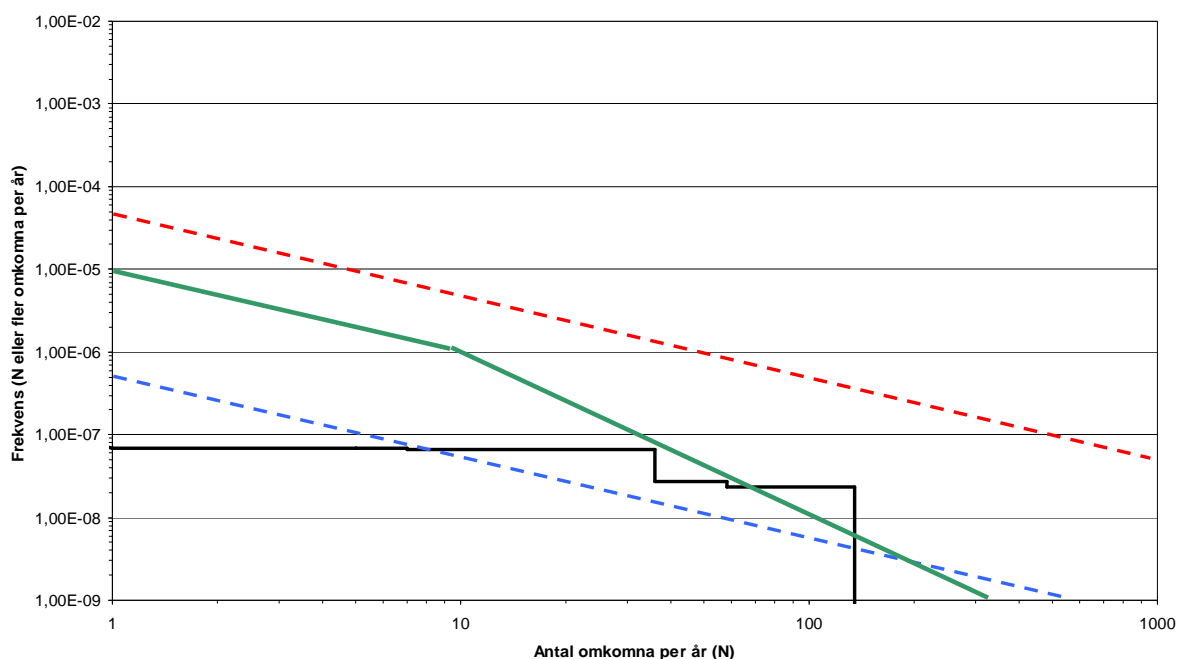


Figur 14 – Samhällsrisikoprofil för planområdet med avseende på farligt gods på Hamnbanan om 1 vagn/godståg innehåller farligt gods. Streckade linjer är den högre och lägre aversionskurvan enligt DNV och den heldragna gröna linjen är aversionskurvan för bostäder enligt Göteborgs Stad.

Känslighetsanalys har även genomförts med 2 FaGo- vagnar per tåg. Även i detta scenario hamnar risknivån inom acceptanskriterierna vid planområdet, dock överskrider aversionskurvan enligt Göteborgs Stad något under kortare perioder. Att varje tåg som passerar planområdet skulle transportera två vagnar med farligt gods skall dock betraktas som ett mycket konservativt antagande och bedöms inte som troligt.

Minskad konsekvens vid explosion

Då känslighetsanalysen innebar att antalet omkomna reduceras så får detta ingen inverkan på individrisken. För samhällsrisk syns en tydlig skillnad då det i detta fallet endast är BLEVE som skulle innebära att Göteborgs Stads riskkriterium överskrider. Därmed belyses åter att en BLEVE inte kan inträffa momentant utan är en följdhändelse av en kraftfull brand i närheten av en tank med tryckkondenserad brandfarlig gas. Möjligheterna att evakuera området bedöms därmed som goda.



Figur 15 – Samhällsrisksprofil för planområdet med avseende på farligt gods på Hammbanan med hänsyn tagen till ravinens inverkan på tryckvågen vid explosion..

7 Slutsats

Planområdets närhet till Hamnbanan genererar en risknivå som delvis överstiger den lägre aversionskurvan enligt DNV /11/ samt även till viss del aversionskurvan för bostäder enligt Göteborgs fördjupade översiktsplan /12/. Detta innebär att rimliga riskreducerande åtgärder skall vidtas som skydd mot farligt godsolycka på Hamnbanan.

De stora bidragen till risknivån är framförallt ovanliga händelser som explosion och BLEVE. Konsekvenserna av explosioner är mycket svårutredda, framförallt då detonationscentrum ligger i en ravin, och tryckvågorna inte transplanteras linjärt runt vallar och hörn. Konservativa antaganden har därför gjorts avseende konsekvenserna vid en explosion. Hänsyn har heller inte tagits till den långa tidsrymd att evakuera området som finns innan BLEVE inträffar, vilket rimligen reducerar sannolikheten för en sådan konsekvens.

Med hänsyn till de osäkerheter som, trots de konservativa antagandena, råder så har förslag på rimliga riskreducerande åtgärder arbetats fram. Åtgärderna är fördelade på separationsåtgärder och byggnadstekniska åtgärder, men även tidsaspekten vägs in som en möjlig åtgärd.

Följande åtgärder föreslås:

- Ravinens riskreducerande effekter förstärks genom att den kompletteras med en vall längs med södra kanten. Vallens utförs med fyllnadsmaterial (sten, betongrester, sand etc). Vallens överkant skall ligga minst 10 m över Hamnbanans spårnivå.
- Ventilationssystemet i bostadshuset förutsätts bli av typen mekanisk från- och tilluft. Detta medför goda möjligheter att placera intag för uteluft på en från Hamnbanan skyddad sida av huset. Provisoriska lösningar på detta bör kunna accepteras under den begränsade tidsperioden på ca 3 år.
- Träd och buskar planteras mellan bostadshuset och Hamnbanan.
- I så stor utsträckning som möjligt så skall trapphusens entréer mynna på en fasad som vetter bort från Hamnbanan.

Effekten av åtgärderna på risknivån har inte värderats kvantitativt men de bedöms ha en avsevärd riskreducerande effekt på de tre större riskkällorna: gasspridning, jetflammar och explosion.

8 Referenser

- [1] Kolluru, R. et al, *Risk Assessment and Management Handbook for Environmental, Health and Safety Professionals*, New York 1996
- [2] Förstudie Nya Hamnbanan, Underlagsrapport – Förutsättningar för ubyggnaden, fördjupad beskrivning, BRVT 2006:02-10
- [3] Miljökonsekvensbeskrivning Säterigatan, Stadsbyggnadskontoret Göteborgs stad, 2006
- [4] Muntlig kontakt Banverket: Kerstin Olsson
- [5] Muntlig kontakt Green Cargo: Malin Strandgren
- [6] Förstudie Nya Hamnbanan, Underlagsrapport – Trafik, BRVT 2006:02-11
- [7] SRV, Kartläggning av farligt gods transporter, September 2006
- [8] Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor, metoder för bedömning av risker, andra reviderade och utökade upplagan; Stellan Fischer et al., Försvarets Forskningsanstalt (FOA) 1998
- [9] Lönnemark, A. et al, *Fire suppression and structure protection for cargo train tunnels: Macadam and HotFoam*, 3rd International Symposium on Safety and Security in Tunnels, 217-228, Stockholm, 2008
- [10] Värdering av Risk, Räddningsverket, Karlstad 1997, Beställningsnummer P21-182/97
- [11] DNV, PM- Överdäckning av hamnspåret vid Bratteråsberget, 2002
- [12] Översiktsplan Göteborg, Fördjupad översiktsplan för sektorn transporter med farligt gods, Göteborgs stad 1997, antagen 1999
- [13] Muntlig kontakt JM: Johan Lundborg
- [14] Enviro Planning, Riskutredning – Bostäder och verksamheter vid Säterigatan, 2006
- [15] Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen, Sven Fredén, Banverket Borlänge, 2001
- [16] Purdy, G., *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1993
- [17] Konsekvenser vid tankbilsolycka med bensin i Stockholms innerstad, Stockholms brandförsvar, 1998
- [18] Göteborgs stad Miljöförvaltningen, Årsrapport luftföroreningar, 2006
- [19] JM, Planbeskrivning Säterigatan, Samrådshandling, 2006
- [20] BBR15 (BFS 1993:57 med ändringar t.o.m. 2008:6)

Bilaga A – Sannolikhetsberäkning för FG-olycka tåg

Denna bilaga innehåller frekvens- samt sannolikhetsberäkningar för de händelser som tidigare definierats och identifierats och som kan leda till utsläpp av farligt gods som påverkar omgivning kring Hamnbanan.

A1 – Urspårning av vagn med farligt gods för respektive klass

Frekvensen för en urspårning av ett tåg på aktuell sträcka beräknas genom Banverkets "Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen" /15/. Modellen bygger på verksamhetens art (W), vilken bestäms utifrån indata gällande undersökt sträcka, samt felintensiteter (ζ) för de olika verksamheterna.

Följande värden har ansatts som indata:

Tabell A1 – Indata till frekvensberäkningen av en olycka

Parameter	Indata
studerad längd	0,4 km
spårklass	klass B
antal godståg/år	29200 st
antal FG-vagnar/år	14488 st
andel FG-vagnar med 2 axlar	0,03 %
andel FG-vagnar med 4 axlar	0,97 %
vagnaxelkm FG-vagnar	22833 km
tågkilometer	11680 km

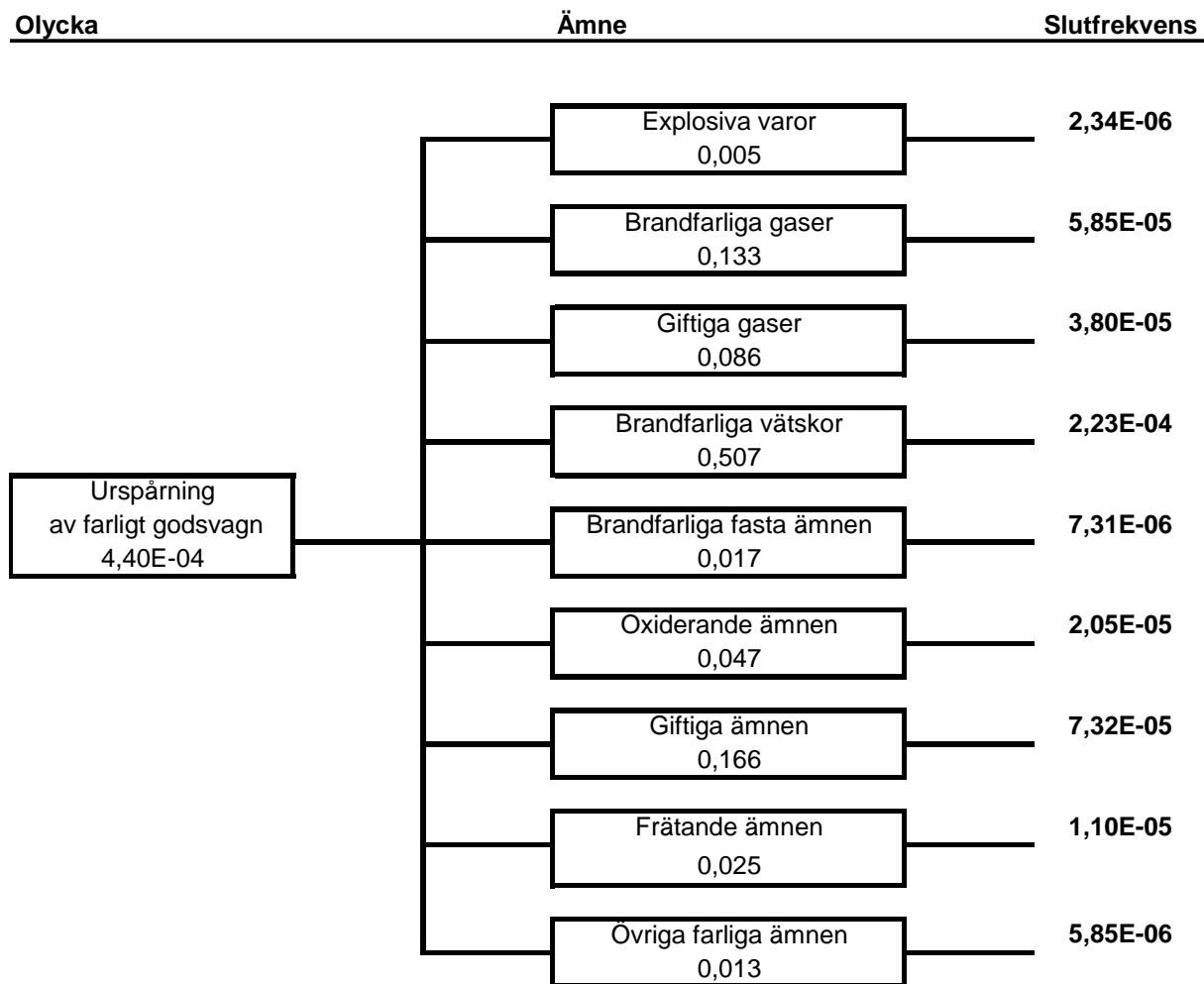
Förväntade antalet urspårningar beskrivs som: $F(\text{olycka}) = W \times \zeta$

Tabell A2 – Intensitetsfaktorer och frekvens/år för respektive olyckstyp

Olyckstyp	Beroendefaktor (W)	Intensitetsfaktor (ζ)	Omvandlingsfaktor för FaGo transport	Frekvens/år
rälsbrott	vagnaxelkm	1,00E-10	-	2,28331E-06
solkurva	spårkm	2,00E-04	-	8,00E-05
vagnfel	vagnaxelkm	3,10E-09	-	7,08E-05
lastförskjutning	vagnaxelkm	4,00E-10	-	9,13E-06
annan orsak	tågkm	5,70E-08	1/30 x 3,5	7,77E-05
okänd orsak	tågkm	1,40E-07	1/30 x 3,5	1,91E-04
spårlägesfel	vagnaxelkm	4,00E-10	-	9,13E-06
				$\Sigma 4,40E-04$

Frekvensen för en urspårningsolycka med en vagn innehållande farligt gods är **4,40E-04**. Detta motsvarar en FaGo-urspårning var 2272:a år.

För att vidare beräkna frekvensen av en urspårning av ett godståg som transporterar farligt gods av ett visst ämne används transportmängder redovisade i "Förstudie Nya Hamnbanan", se Tabell 1. Slutfrekvenserna för en olycka med ett givet ämne presenteras i Figur A1.



Figur A1 - Händelseträdet visar frekvensen för en olycka med en vagn innehållande ett visst ämne.

A2 - Olycka med explosivt ämne – händelse 1

Sannolikheten för explosion av farligt gods klass 1 har utretts i bl.a. /11/. Då denna rapport anger sannolikhet baserad på att även kollision och brand är möjliga orsaker till explosion, utöver urspårning, så krävs för aktuell utredning att sannolikheten korrigeras då kollision ej bedöms möjligt på aktuell bansträckning. Dessutom krävs anpassning till aktuell trafikintensitet etc.

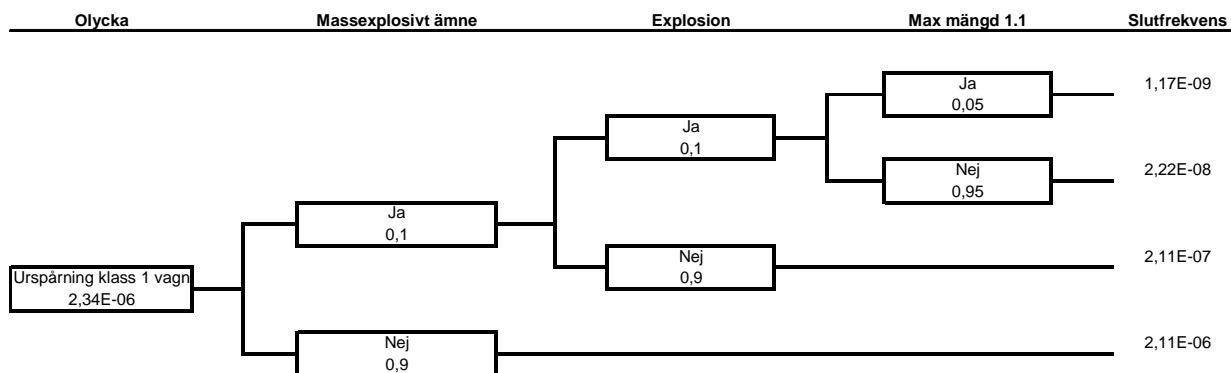
Andelen transporter med klass 1.1 ämne bedöms utgöra maximalt 10 % av samtliga klass 1 transporter. Öriga utgörs av mindre explosionsbenägna varor, klass 1.2 till 1.6. Dock antas väldigt konservativt att samtliga transporter klass 1.1 är med maximal last på 25 ton.

$$S_{\text{klass 1.1}} = 0,1$$

Urspårning av FaGo-vagn som leder till explosion:

Förutsatt en händelse där en vagn med klass 1.1 ämne spårar ur är sannolikheten 0,1 att en explosion uppkommer i aktuell vagn. Om aktuell vagn inte spårar ur är sannolikheten 0,02 att en explosion ändå inträffar /11/. Givet att en FaGo-vagn med massexplivt ämne sparat ur ansätts sannolikheten för explosion till:

$$S_{\text{explosion urspårning FaGo vagn klass 1.1}} = 0,1$$



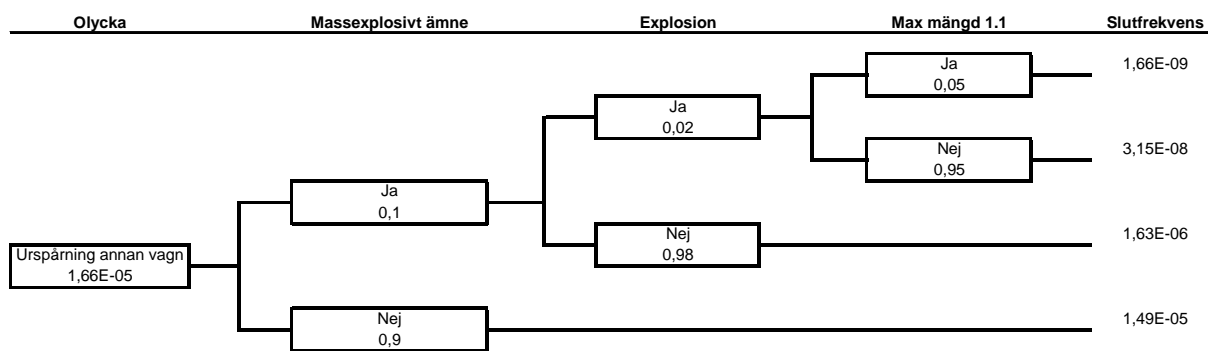
Figur A2 – Händelsetråd för urspårning av FaGo-vagn med klass 1.1

Urspårning ej av FaGo-vagn som leder till explosion:

För att kunna beräkna sannolikheten för explosion när urspårning av annan vagn än FaGo-vagnen skett görs följande uträkning. Med antagandet att 3,5 vagnar i genomsnitt spårar ur och ett tågsätt i snitt innehåller 30 vagnar /5/ varav en vagn bär farligt gods är sannolikheten att en sådan vagn spårar ur $3,5 / 30 = 0,117$.

Sannolikheten för urspårning av ett godståg med 1 st. FaGo-vagn, där denna vagn ej spårar ur, är då förenklat:

$$S_{\text{urspårning tåg med FaGo}} = S_{\text{urspårning FaGo vagn}} / 0,117 \times (1-0,117)$$



Figur A3 – Händelseträd för urspårning av annan vagn

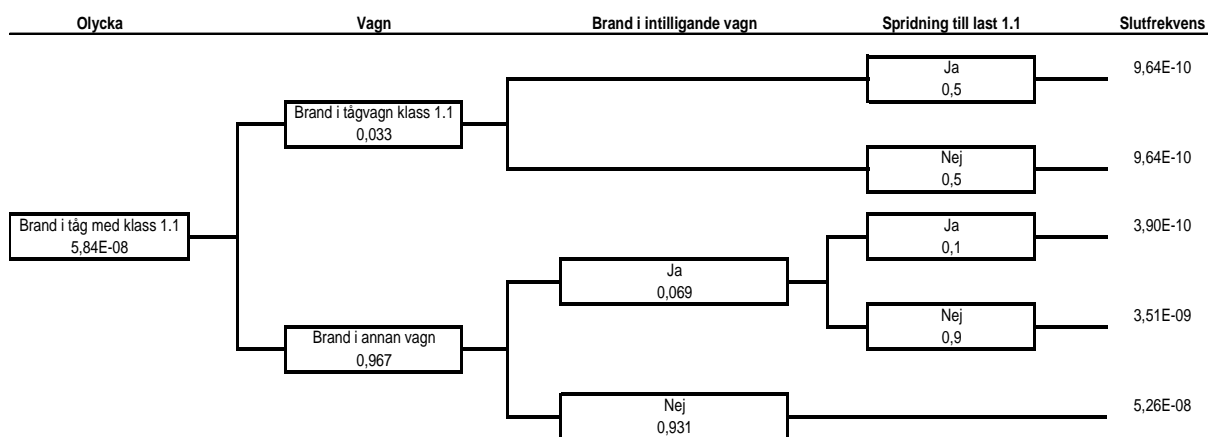
Brand i tåg som leder till explosion:

I översiktsplan för Göteborg /12/ anges sannolikheten för brand i godståg till 1×10^{-8} per tågkm. För aktuell sträcka på 0,4 km, 1 FaGo-vagn per 30 vagnar (slh = 0,033) samt andelen FaGo-transporter med klass 1.1 ämne = 0,005, en trafikmängd på 29 200 godståg per år samt antagen sannolikhet att branden sprider sig till lasten på 0,5 så blir frekvensen för brand i vagn med klass 1.1 ämne som leder till explosion:

$$F_{\text{explosion av brand i 1.1 vagn}} = 0,1 \times 0,5 \times 0,005 \times 0,033 \times 29\,200 \times 0,4 \times 1 \times 10^{-8} = 9,64 \times 10^{-10} / \text{år}$$

Brand kan även uppstå i en annan vagn. För att det ska finnas en risk för brandspridning från en annan vagn till vagnen med klass 1.1 ämne krävs att branden utbryter i den närmaste vagnen (före eller efter). För ett tåg med 30 vagnar är sannolikheten för detta 2/29 (då brand i vagn med klass 1.1 måste räknas bort). Dessutom skall branden sprida sig till lasten i den brinnande vagnen (slh = 0,5 /12/) samt därefter spridas till vagnen med klass 1.1 (slh = 0,1 då detta beror till stor del av vilken vara som transporteras på den brinnande vagnen. Det krävs en vara av brännbart material i stor kvantitet.)

$$F_{\text{explosion av brand i annan vagn}} = 0,1 \times 0,005 \times 0,967 \times 0,069 \times 0,1 \times 29\,200 \times 0,4 \times 1 \times 10^{-8} = 3,90 \times 10^{-10} / \text{år}$$



Figur A4 – Händelseträd för brand i FaGo-vagn med klass 1.1

A3 - Olycka med brandfarlig gas (propan) – händelse 2

Läckage av propan

Det finns få utstickande föremål längs aktuell sträcka som kan orsaka hål i behållare för propan. Tryckkondenserade gaser transportas i tjockväggiga tryckkärl vilka inte skadas i samma utsträckning som tunnväggiga kärl (jämför brandfarlig vätska). Längs spårets aktuella del finns vallar eller väggar som minskar konsekvensen vid en urspårning, men det finns stolpar för kontaktledningen samt bropelare till två viadukter som kan skada en behållare. Med anledning av detta antas konservativt /15/ att en olycka av 50 leder till utsläpp av propan.

$$S_{\text{Läckage propan}} = 0,02$$

Storlek på läcka

Vid en olycka med efterföljande läckage är det signifikant att fastställa storleken på läckaget. 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.

$$S_{\text{Litet läckage}} = 0,5$$

$$S_{\text{Stort läckage}} = 0,5$$

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]:

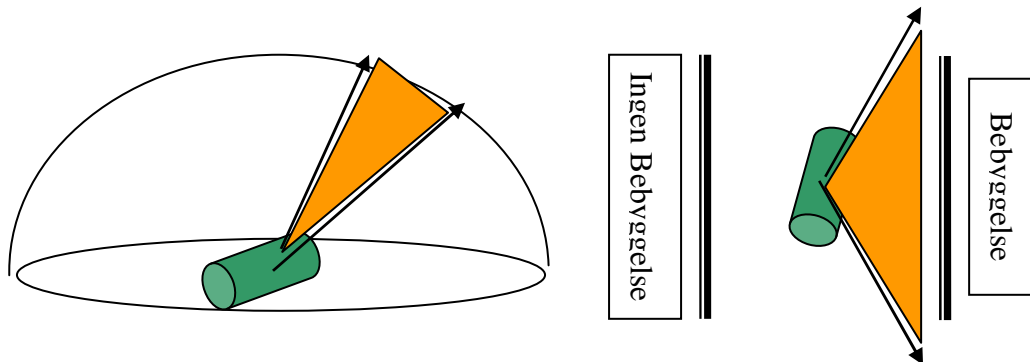
$$S_{\text{direkt antändning litet läckage}} = 0,1$$

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

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 till höjdskillnaden nerifrån ravinen beror detta 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 (135°/360°), se Figur A5. 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 till:

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



Figur A5 – Jetflammans utbredning vertikalt över ravinens kant (vänster) samt horisontellt (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 /16/ men 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 drivit upp ur ravinens kant och in över planområdet. De vanligast förekommande gaserna är tyngre än luft (klorgas, gasol, svaveldioxid, ammoniak) och således sprider sig längs marken och sjunker ner i sänkor. Ett undantag är ammoniak som kan bete sig som en lätt gas när den spätts ut och värmts upp av omgivande luft/mark. När detta sker bedöms ammoniaken ha drivit iväg från aktuellt område.

Sannolikheten för att spridning sker utanför ravinens kant oavsett vilket håll den driver åt ansätts konservativt till:

$$S_{\text{spridning upp ur ravinens kant}} = 0,1$$

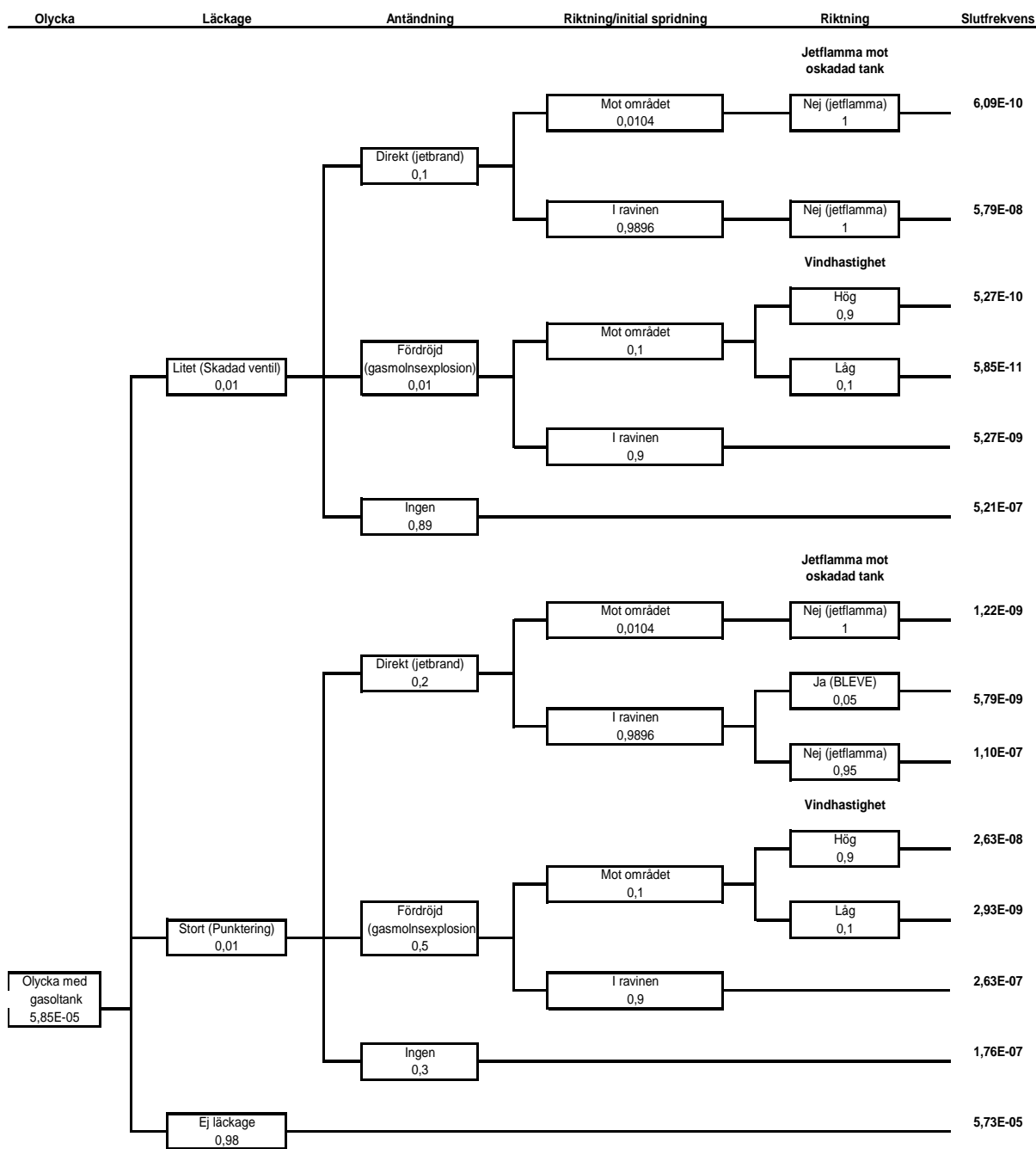
BLEVE

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 Hamnbanan bedöms möjligheterna goda att evakuera närområdet då det tar ansenlig 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 ner i ravinen kan få en sådan följd. Konservativt antas sannolikheten att en annan tank påverkas av jetflamma till:

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



Figur A6 – Händelsesträd för gasolläckage

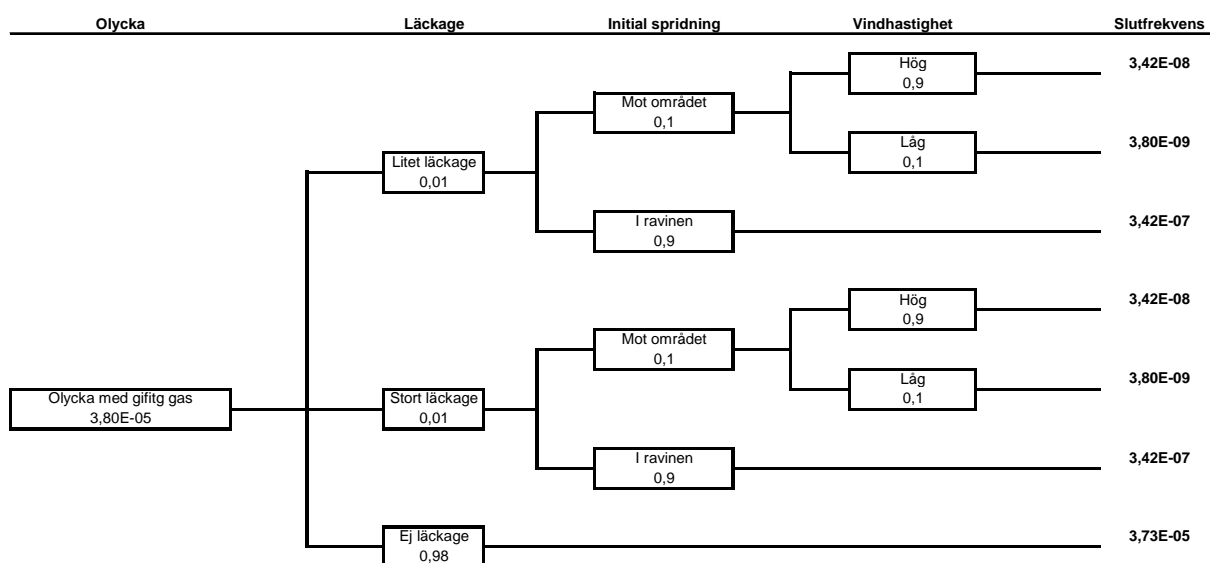
A4 – Olycka med läckage av giftig gas

Vid en olycka med giftig gas ansätts samma sannolikheter som en olycka med brandfarlig gas avseende hålstorlek och initial spridning då dessa transporteras under liknande förhållanden.

$$S_{\text{Litet läckage}} = 0,01$$

$$S_{\text{Stort läckage}} = 0,01$$

$$S_{\text{spridning upp ur ravinen}} = 0,1$$



Figur A7 – Händelseträd för läckage av giftig gas

A5 - Olycka med läckage av brandfarlig vätska (bensin) – händelse 3

Tankar för bensin etc. utförs för att klara transport av vätska under atmosfärstryck och sannolikheten att tanken skadas vid en olycka så att läckage sker, litet eller stort, ansätts konservativt till 5 % respektive 25 % /15/. Med stort läckage antas en pöl med arean 300 m² bildas. Vid litet läckage antas halva pölstorleken, 150 m² /17/. Vid ett bränslespill och följande pölbrand där bränslet till viss del täcks av makadam har det visat sig att brandeffekten kraftigt avtar /9/. Med hänsyn till att en del av spillet kan förväntas ske i makadam (ca 50 % av marken vid Hamnbanans studerade sträcka täcks av makadam) så kompenseras brandstorleken med att sannolikheten för ett stort läckage minskas med 50 %.

$$S_{\text{litet läckage}} = 0,275$$

$$S_{\text{stort läckage}} = 0,025$$

$$S_{\text{inget läckage}} = 0,70$$

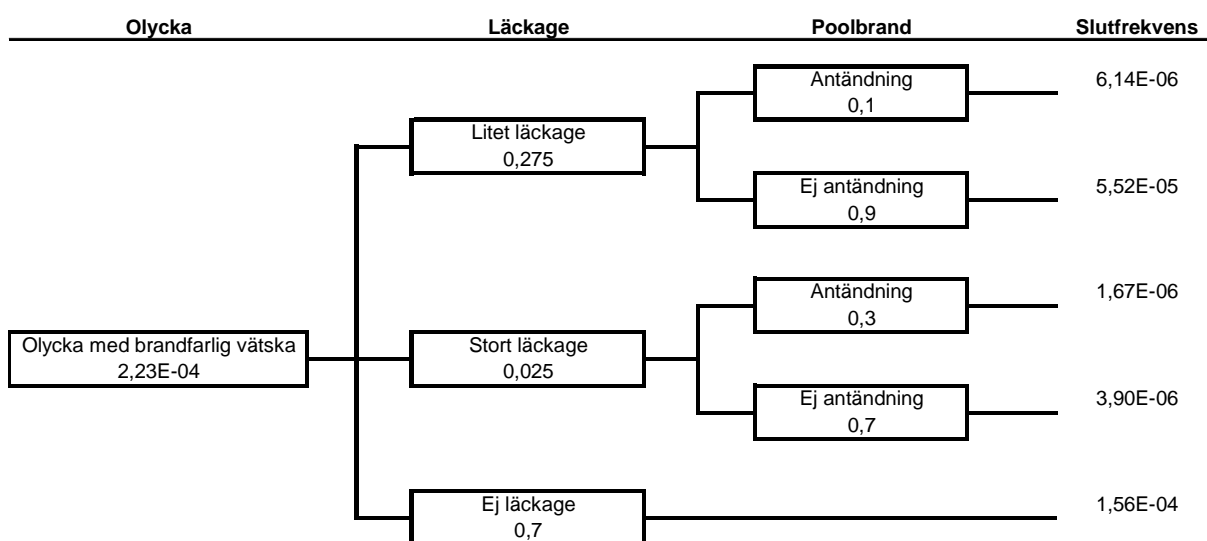
Antändning av läckage med brandfarlig vätska

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.

Vid ett momentant eller större utsläpp är risken stor att ingen åtgärd hinner vidtas innan bensinen antänds. Vid kontinuerligt mindre läckage bedöms dock möjligheten att förhindra en antändning vara större. Ett momentant utsläpp kräver dessutom en större olycka vilket sker med lägre sannolikhet. Det antas att antändning av en större bensinpöl sker i 30 % av fallen med läckage och att en brand i en mindre pöl sker i 10 % av fallen /16/.

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

$$S_{\text{antändning stort läckage}} = 0,3$$



Figur A8– Händelsetråd för olycka med brandfarlig vätska

A6 - Olycka med oxiderande ämne (5.1) samt organiska peroxider (5.2)

Sannolikheten för ett läckage sätts lika läckage av bensin då behållare för denna typ av ämnen är av liknande typ (tunnväggiga) som för brandfarliga vätskor. Däremot antas ingen reduktion med hänsyn till makadam då en pölbrand inte är att förvänta.

$$S_{\text{litet läckage}} = 0,25$$

$$S_{\text{stort läckage}} = 0,05$$

$$S_{\text{inget läckage}} = 0,70$$

Antändning av läckage med oxiderande ämne

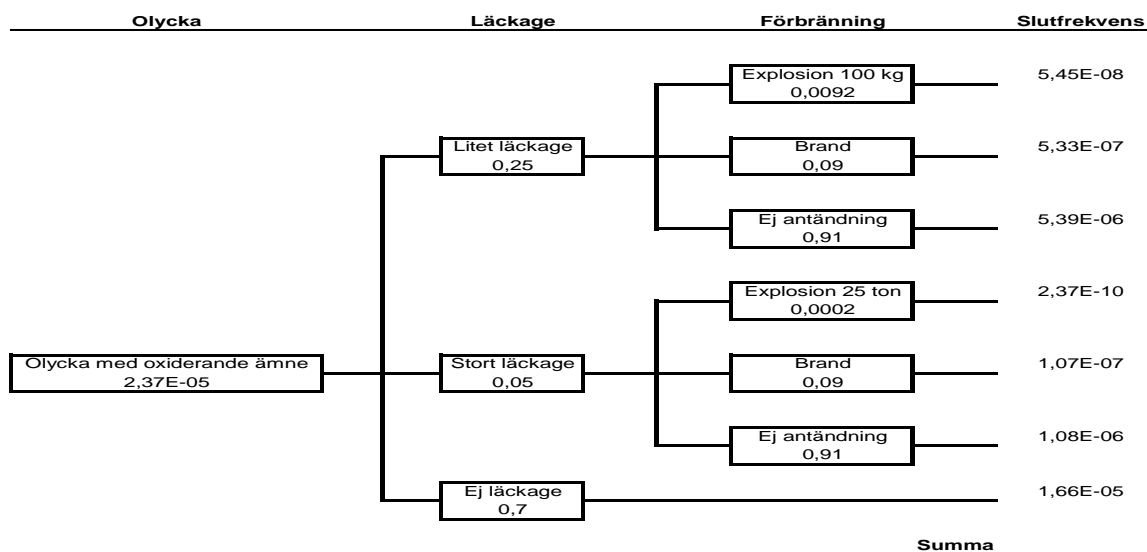
För att ett oxiderande ämne skall antända krävs att det först blandas med något brännbart ämne. Om det blandas med en brandfarlig vara kan explosion uppstå, d.v.s. liknande händelse som med ämne klass 1.1. Det är dock inte alla oxiderande ämnen som har dessa egenskaper, t.ex. krävs starkare lösningar än 60 % av organiska peroxider för att en brand eller explosion skall vara möjlig. Vissa organiska peroxider får inte ens transporteras på järnväg enligt RID då dessa är för känsliga och kan sönderfalla vid högre temperaturer än 10-20°C (SADT = Self-Accelerating Decomposition Temperature).

Det antas att sannolikheten för blandning med brännbart organiskt material som leder till brand är 0,09. För att en explosion skall vara möjlig krävs närvaro av brandfarlig vara genom t.ex. ytterligare en vagn med farligt gods eller ett diesellok som läcker i omedelbar närhet till vagnen med högkoncentrerat oxiderande ämne. Diesellok förekommer på vissa av Hamnbanans bangårdar men är sällsynna vid transport av gods på aktuell sträckning. Sannolikheten för att en viss vagn är placerad närmast en med oxiderande ämne är 2/29. Sannolikheten att denna vagn innehåller farligt gods är 0,5/29. Sannolikheten att godset utgörs av brandfarlig vara (vätska eller fast) är 0,52 samt att det går håll på vagnen är 0,3.

$$S_{\text{brand}} = 0,09$$

$$S_{\text{explosion}} = 0,0002$$

$$S_{\text{ej antändning}} = 0,91$$

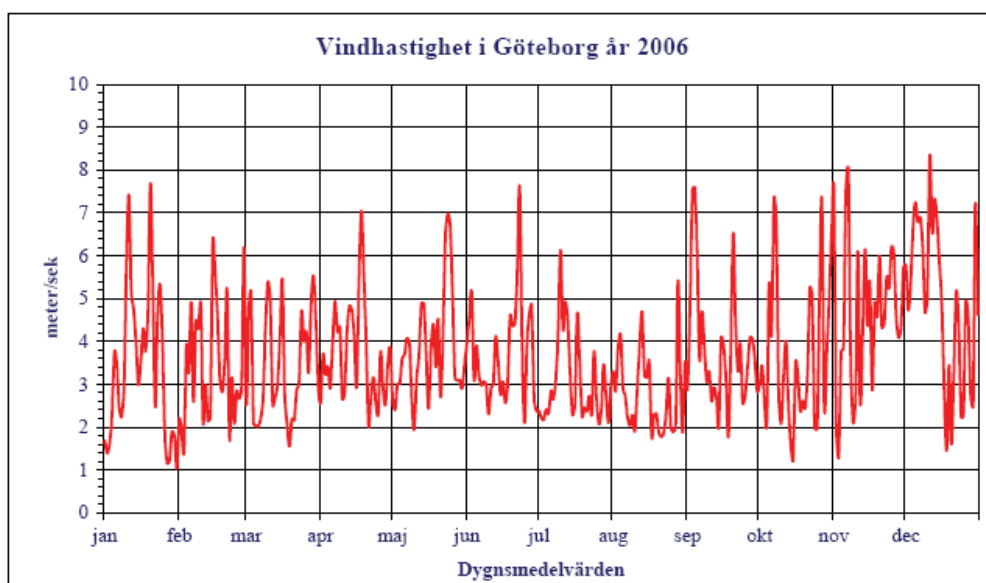


Figur A9 – Händelseträd för olycka med oxiderande ämne

Bilaga B – väderdata

B1 - Stabilitetsklass

Beräkningsmodellen använder sig av Pasquills stabilitetsklasser. I beräkningarna har de två stabilitetsklasser som är vanligast i Göteborg använts. Stabilitetsklass D som sannolikt uppkommer vid vindhastigheter över 3 m/s bedöms vara den vanligaste stabilitetsklassen i området under både dag- och nattetid. Stabilitetsklass F är också möjlig men denna förutsätter vindhastigheter under 2 m/s. Diagrammet nedan (figur 3) visar fördelningen av vindstyrka under 2006. Liknande förhållanden uppvisas för åren 2001-2005. Figuren visar att vindhastigheten endast i undantagsfall understiger 2 m/s. Medelvärdet under vinterhalvåret ligger mellan 3-4 m/s.



Figur B1 – vindhastighet under året i Göteborg år 2006 /18/

B2 - Vindhastighet

Vindens hastighet påverkar till stor del resultatet av spridningen. Väderdata från Göteborgs miljöförvaltning har använts med mätvärde från 2006, se Figur B1 ovan. Medelvindhastigheten under året var 3,7 m/s. Spridningen från en olycka blir värre i olyckans närhet om lägre värde används. För aktuellt planområde som ligger nära den potentiella olycksplatsen innebär detta att relativt låga vindhastigheter ansätts. I analysen har 3,0 m/s använts för svag vind samt 8 m/s för stark vind. Sannolikheten för de två fallen ansätts till:

$$S_{\text{svag vind}} = 0,1$$

$$S_{\text{stark vind}} = 0,9$$

B3 - Vindriktning

De förhärskande vindriktningarna inom Göteborg är sydlig till västlig och däremellan vilka tillsammans utgör ca 63 %. Det är även dessa vindar som är kraftigast. Vindriktningar mellan SSV och VSV inträffar ca 30 % av tiden och det bedöms för aktuellt område innebära att eventuella giftiga och brandfarliga gaser inte driver in mot planområdet utan driver längs med ravinen mot nordost.

Även nord(nord)ostlig vind är relativt vanlig och utgör ca 14 % men medför som regel lägre vindhastigheter.

Det antas att all vind mellan V och NO driver in mot det södra planområdet, att all vind mellan VSV och SSV driver längs lavinen och att all vind mellan SSV och NO driver upp mot det norra planområdet. Fördelningen antas jämn över året.

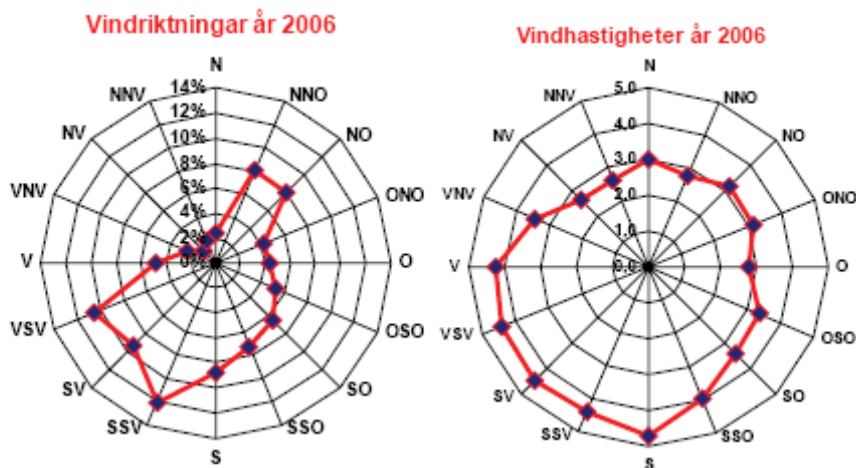
Följande fördelning antas för vindriktningar (anges som del av området, norr eller söder, som vinden blåser mot):

$$S_{\text{norr}} = 0,35$$

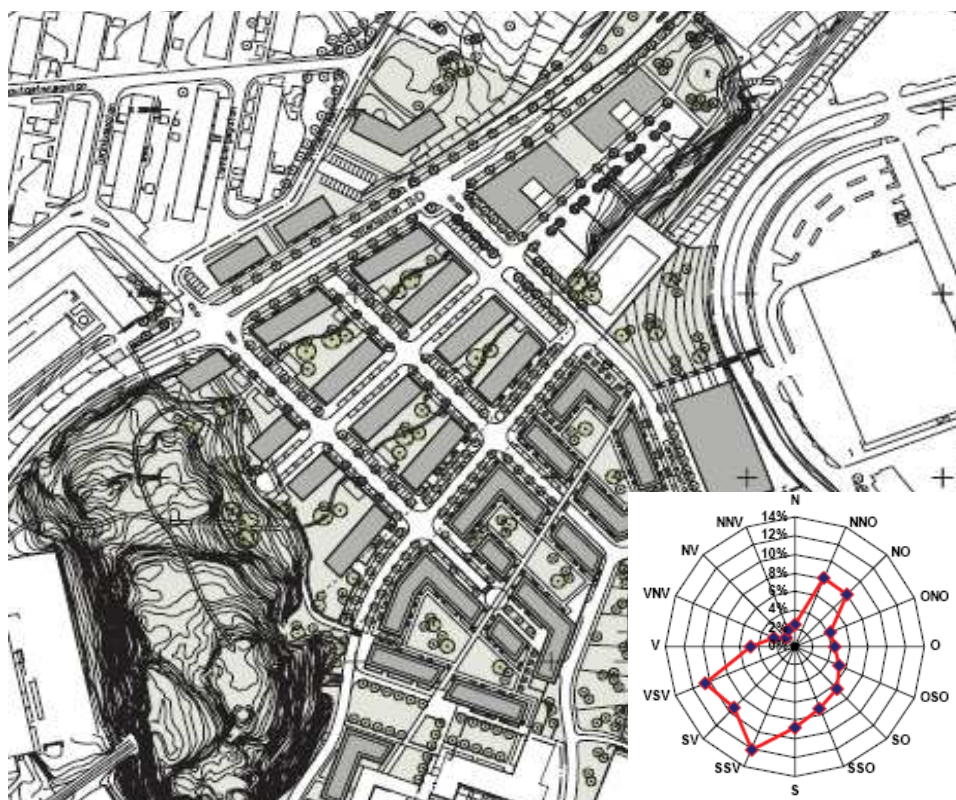
$$S_{\text{söder}} = 0,35$$

$$S_{\text{ravinen}} = 0,30$$

Vindriktningen har inverkan på spridningsbilden i de fall då gasutsläpp sker på så sätt att en signifikant mängd gas tränger upp ur den 7 m djupa ravinen. Detta är antaget till 10 % av fallen, se bilaga A. I figur 4 redovisas vindrosor för året 2006 och i figur 5 visas vindros med vindriktningar inlagd på plankartan för området.



Figur B2 – vindrosor för Göteborg år 2006 /18/



Figur B3 – vindros för Göteborg inlagd på planritning för området

Bilaga C – Konsekvensanalys Farligt gods

Sammanfattning konsekvenser

De händelser som, utan hänsyn tagen till sannolikhet, ger upphov till störst skadeområde och även störst antal omkomna är explosion, BLEVE samt stort utsläpp av giftig gas. Dessa händelser kan mycket väl påverka hela planområdet med skadeavstånd på mellan 150 m och 420 meter från olycksplatsen.

Det finns även ett antal mindre allvarliga olyckor med mellan 1-20 döda, primärt pölbränder, jetflamnor och gasmolnexplosioner samt mindre utsläpp av giftig gas. Dessa påverkar i regel endast Hamnbanans närområde upp till ett avstånd av ca 20 m men kan även ge påverkan uppemot 100 m från olycksplatsen.

Befolkningstäthet

Konsekvensanalysen utförs för att i riskutredningen kunna värdera samhällsriskerna och individrisken i området. Samhällsriskerna är beroende av persontätheten inom riskområdet. Endast personer inom de berörda ytorna i planområdet beaktas i samhällsriskerna.

Personer antas vistas inom området 24 timmar om dygnet men antas vistas utomhus i större utsträckning under dagtid än nattetid. Personantalet baseras på uppgifter från detaljplanen /19/ samt från byggherren /13/. Schablonmässigt antas att varje lägenhet i snitt omfattar 100 m² och att det i snitt bor 2,5 personer/lägenhet. Total boyta (BTA) för de 8 planerade bostadshusen är ca 23 000 m² och således ca 230 lägenheter. Antagen fördelning av personantal enligt tabell C1. Parkeringar söder om Hamnbanan är belägna i undermarkgarage medan området norr om Hamnbanan får markparkering.

Tabell C1 – Fördelning av personantal

Plats	Personbelastning och fördelning		
	Antal (lägenheter/parkeringsplatser)	Personer per lägenhet el. parkering	Antal personer
Bostäder söder	230	2,5	575
Garage söder	110	0,1	11
Totalt	-	-	Ca 585

Fördelat på respektive yta kan persontätheten uppskattas enligt tabell C2. Med ytan avses aktuell exploaterad del av planområdet, en sträcka på 270 m mellan 50 och 100 m från Hamnbanan.

Dag-/kvällstid antas 20 % vara hemma inomhus och 5 % vistas utomhus. Nattetid antas 99 % vara hemma inomhus och 1 % vistas utomhus.

Antalet påverkade personer erhålls genom att persontätheten multipliceras med skadeområdet vid respektive olyckshändelse.

Tabell C2 – Fördelning av persontäthet

Plats	Area (m ²)	Persontäthet (pers/m ²)	Persontäthet (pers/m ²) och fördelning (del av dygnet)		
			Natt (40 %)	Kväll/Dag (60 %)	
Söder	13 500	0,043	Ute	$4,3 \times 10^{-4}$	$2,15 \times 10^{-3}$
			Inne	0,0426	$8,6 \times 10^{-3}$

Händelse 1 – Explosion av masseexplosivt ämne

Då alla byggnader inom planområdet förutsätts utföras i betong så kan allvarliga skador förväntas på avstånd upp till 200 m på tryckutsatt fasad och ca 150 m mot övriga fasader /12/. Vid en explosion antas att Hamnbanans läge i ravinen minskar den direkta tryckvågens påverkan mot byggnader belägna en bit bort. I vilken utsträckning detta sker är svårt att säga utan noggrannare analyser. Det antas därför på säkra sidan att det kortare skadeavståndet på 150 m gäller vid en explosion av 25 ton klass 1.1 vara. Det antas även konservativt att tryckvågen påverkar större delen av planområdets längd upp till ett avstånd av ca 300 m. Inom detta område antas alltså konservativt att byggnader störtar samman eller skadas så allvarligt att personer i byggnaderna kan omkomma. Återigen belyses att ravinens inverkan inte beaktas. Där- emot kan inte samtliga personer inomhus antas förolyckas utan det antas att 50 % omkommer.

Händelse 2 – FG-olycka med brandfarlig kondenserad gas

Mängden brandfarlig gas i en vagn antas till ca 40 ton. Vidare antas att det är tryckkondense- rad gasol i samtliga vagnar eftersom gasol har en låg brännbarhetsgräns och medföra att an- tändning kan inträffa på ett längre avstånd från olycksplatsen än med andra gaser.

Två olika utsläppsstorlekar (för jetflamma och gasmoln) antas enligt följande:

- punktering (hålstorlek 20 mm)
- medelstort hål (hålstorlek 50 mm)

För respektive scenario beräknas, med simuleringsprogrammet *Gasol*, konsekvenserna av de möjliga följdhändelserna vid tankbilsolycka med brandfarlig gas:

- jetflammas längd vid omedelbar antändning
- det brännbara gasmolnets volym
- området som påverkas vid en BLEVE

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 beräk- ningarna antas att utsläppet sker nära vätskefas, då detta ger värden mellan det sämsta och bästa utfallen. De värsta konsekvenserna uppstår om utsläppet sker i vätskefasen.

De indata som använts i *Gasol* för att simulera konsekvensområden för jetflamma, gasmoln och BLEVE presenteras nedan:

- Lagringstemperatur: 15°C
- Lagringstryck: 7 bar övertryck
- Utströmningskoefficient (Cd): 0,83 (Rektangulärt hål med kanterna fläktat utåt)
- Tankdiameter: 2,5 m

- Tanklängd: 19 m
- Tankfyllnadsgrad: 80 %
- Tankens vikt tom: 50 000 kg
- Designtryck: 15 bar övertryck
- Bristningstryck: 4*designtrycket
- Lufttryck: 760 mmHg
- Omgivningstemperatur: 15°C
- Relativ fuktighet: 50 %
- Molnighet: Dag och klart
- Omgivning: Många träd, häckar och enstaka hus
- Vindhastighet: 3 m/s

Skadeområdet som berörs i denna utredning är endast det område som riktar sig mot planområde och utgörs av aktuellt planområde. Skadeområdet utomhus utgörs av parkering och gator vilka börjar ca 50 m från Hamnbanan och skadeområdet inomhus utgörs av byggnader som börjar ca 50 m Hamnbanan. Människor kan tänkas vistas närmare Hamnbanan än 50 meter med detta är inget som påverkas av aktuell bebyggelse. Vid bedömningen av antalet omkomna antas 100 % av de som vistas utomhus att omkomma och 25 % av de som vistas inomhus att omkomma. I bedömningen har hänsyn tagits till varierande personbelastning dag- och nattetid.

Tabell C3 – Skadeområdets area inom aktuellt planområde

Händelse	Läckagestorlek	Antändning	Skadeområdets area inom aktuellt planområde	
			Inomhus	Utomhus
BLEVE	-		Hela områdets area	Hela områdets area
Hål i tank nära vätskeyta	Punktering (20mm)	Jetflamma Fördröjd gas- molnsexplosion	- -	- -
	Stort hål (100mm)	Jetflamma Fördröjd gas- molnsexplosion	- -	3320 m ² -

Tabell C4 – Förväntat antal omkomna vid olycka med brännbar gas

Händelse	Läckagestorlek	Antändning	Antal omkomna (personer)	
			Inomhus	Utomhus
BLEVE	-		116	20
Hål i tank nära vätskeyta	Punktering (20mm)	Jetflamma Fördröjd gas- molnsexplosion	- -	- -
	Stort hål (100mm)	Jetflamma Fördröjd gas- molnsexplosion	- -	5 -

Händelse 3 – FG-olycka med giftig gas

Då klor är en av de giftigaste gaserna som transporteras på Hamnbanan, samt transporteras i störst utsträckning, har denna gas använts i beräkningarna. Mängden giftig gas i en vagn antas till ca 55 ton. För att bestämma hur stor del av planområdet som utsätts för klorkoncentrationer som kan vara dödliga används simuleringsprogrammet *Bfk*.

De indata som använts i Bfk för att simulera konsekvensområden presenteras nedan:

- Kemikalie: Klor
- Emballage: Järnvägsvagn (55 ton)
- Bebyggelse: Bebyggt
- Lagringstemperatur: 15°C
- Omgivningstemperatur: 15°C
- Molnighet: vår, dag och klart
- Vindhastighet: 3 m/s och 8 m/s

Vid beräkningarna har hänsyn tagits till om ett utsläpp förväntas ske ner mot marken, mot ravinens väggar eller upp mot planområdet. Samtliga inom gasmolnets LC50-avstånd antas omkomma och samtliga utom molnet bedöms överleva. Vid bedömningen av hur många som omkommer inomhus antas 50% av de påverkade omkomma.

Tabell C5 – Skadeområdets area inom aktuellt planområde

Händelse	Vindstyrka (m/s)	Skadeområdets area inom aktuellt planområde	
		Inomhus	Utomhus
Litet läckage (2,4 kg/s)	3	-	-
	8	-	-
Stort läckage (60 kg/s)	3	4 800 m ²	13 500 m ²
	8	200 m ²	10 800 m ²

Tabell C6 – Förväntat antal omkomna vid olycka med brännbar gas

Händelse	Vindstyrka (m/s)	Antal omkomna (personer)	
		Inomhus	Utomhus
Litet läckage (2,4 kg/s)	3	-	-
	8	-	-
Stort läckage (60 kg/s)	3	29	7
	8	1	6

Händelse 4 - Brand i bensinpöl efter FG-olycka

Strålningen från pölen beräknas enligt beräkningsmodell från FOA /8/. Data har valts för bensin då detta är det mest frekvent transporterade brandfarliga vätskan på Hamnbanan. Bensin har dessutom högst energivärde och förbränningshastighet av de olika typer av bränsle som kan vara aktuella. Dieselolja är förhållandevis svårantändligt och bedöms inte utgöra ett troligt scenario.

Följande data gäller för bensin:

Tabell C7

Bränsletyp	Förbränningshastighet (b') (kg/m ² s)	Energivärde (h _c) (J/kg)
Bensin	0,048	43,7 x 10 ⁶

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 som

$$h_f = d_p * 42 * \left[\frac{b'}{\rho_a \sqrt{g * d_p}} \right]^{0,61} \quad [A:1]$$

där b' = förbränningshastigheten per ytenhet (kg/m² s), hämtas från /2/, tab. 11.1

ρ_a = luftens densitet = 1,29 kg/m³

g = tyngdaccelerationen = 9,81 m/s²

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 är d_f samma som diametern på denna, d.v.s. ca 14 m (150 m²) respektive 19,5 m (300 m²).

Strålningen per ytenhet från flammen beräknas som

$$P = \frac{0,35 * b' * h_c}{1 + 4h_f / d_f} \quad [A:2]$$

där h_c = energivärdet i J/kg. Faktorn 0,35 utgör den andel av den totala energin som omsätts till strålningsvärme.

Strålningen från en idealt svart kropp blir enligt Stefan-Boltzmanns lag:

$$P_s = \sigma \cdot T^4 \quad [A:3]$$

där P_s = utstrålad effekt (W m^{-2})
 $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
 T = temperaturen (K)

Approximationen med en svart kropp som strålar ger resultat på säkra sidan. Vid större pölbränder antas strålningen normalt ha sitt ursprung i flammans mitt och här ligger emissionsfaktorn (ϵ) 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 på säkra sidan.

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

$$P_{12} = P_1 \cdot \tau_a \cdot F_{12} \quad [A:4]$$

där
 P_{12} = infallande strålning från 1 till 2
 P_1 = strålningen från ytan 1 (W/m^2)
 F_{12} = vinkelkoefficienten för 1 mot 2

Den atmosfäriska transmissionsförmågan, τ_a , har att göra med det faktum att den utsända strålningen delvis absorberas av luften mellan strålkällan och mottagaren. Den atmosfäriska transmissionsförmågan kan skrivas som

$$\tau_a = 1 - \alpha_w - \alpha_c \quad [A:5]$$

där
 α_w = absorptionsfaktorn för vattenånga
 α_c = absorptionsfaktorn för koldioxid

Båda faktorerna beror på respektive ämnes partialtryck, längden som strålningen färdas från den strålade ytan till mottagaren, strålningens temperatur och omgivningens temperatur. α_w och α_c bestäms grafiskt utifrån flamtemperaturen och partialtryck från figur 11.2 i /8/.

Vinkelkoefficienten (F) definieras som den andel 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 /8/.

Beräkningar utförs enligt kapitel 11 i /8/ för två olika stora pölar, cistern respektive invallning.

Pölarean erhålls enligt formeln:

$$A = \frac{\pi \times d_f^2}{4} \quad [A:6]$$

$$\begin{aligned} d_f = 10 \text{ m} & \quad \text{Area} = 79 \text{ m}^2 \\ d_f = 14,6 \text{ m} & \quad \text{Area} = 167 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Flamhöjden erhålls enligt [A:1] för olika pölar och värden på förbränningshastigheten b' :

Tabell C8

Brand	Flamhöjd (m)	Flamhöjd ovan ravinens kant (m)	Flamhöjd vid extra vall om 3 m (m)
150 m ²	17,6	10,6	7,6
300 m ²	22,2	15,2	12,2

Det är endast den del av flammen som når upp ovanför ravinens kant som ger ett bidrag till värmestrålning mot planområdet. Med ravinens djup på 7 m erhålls flamhöjderna i tabell D4. Med extra vall räknas vallens höjd bort från flamhöjden.

Den utfallande strålningen per ytenhet ges av [A:2] för olika energivärden och pölareor.

Tabell C9

Brand	Utfallande strålning (kW/m ²)
150 m ²	121
300 m ²	132

Temperaturen blir enligt [A:3]:

Tabell C10

Brand	Temperatur på den strålande ytan/flammans mitt (K)
150 m ²	1210
300 m ²	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 [A:4].

Skadenivån bestäms förutom av strålningsnivån även av strålningens varaktighet. För beräkning av skador på människor redovisas i tabell D7 nedan en varaktighet på 10 s som en rimlig tid tills man satt sig i säkerhet.

Sambandet mellan strålningens varaktighet och skador på människan beskrivs av probitfunktionen $t \cdot P^{4/3}$. Om denna tidsvägda strålningsdos är över $3,0 \times 10^6$ 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 /8/.

Tabell C11 – beräkningsgång för pölbrand med bensin

Brand	Avstånd från flamfront (m)	α_w	α_c	τ_a	F_{max}	P_{12} (kW/m ²)	$t \cdot P^{4/3} \times 10^6$ (s(W/m ²) ^{4/3})	2:a grad bränn-skador (%)	Andel döda från 2:a grad (%)
Pöl A = 150 m²	0 (flamfront)	0,11	0,015	0,875	1	106,57	50,5	100	15
	3	0,12	0,02	0,86	0,35	36,66	12,2	90	14
	13	0,170	0,028	0,802	0,11	10,74	2,4	0	0
	23	0,190	0,030	0,780	0,05	4,75	0,8	0	0
	43	0,22	0,034	0,746	0,035	3,27	0,5	0	0
Pöl A = 300 m²	0 (flamfront)	0,130	0,020	0,850	1	112,55	54,3	100	15
	10	0,170	0,025	0,805	0,28	29,85	9,3	65	10
	20	0,190	0,030	0,780	0,15	15,49	3,9	0	0
	30	0,200	0,032	0,768	0,09	9,15	1,9	0	0
	40	0,220	0,035	0,745	0,06	5,92	1,1	0	0

Med hänsyn till de korta skadeavstånden, max 20 m från pölbrandens centrum, eller 10 m från ravinens kant, föreligger skaderisk endast för personer som befinner sig utomhus och allra närmast Hamnbanan. Då planområdet sträcker sig som närmast till ca 50 m från Hamnbanan förväntas inga personer vistas på så korta avstånd som 10 m. Konsekvensen av en pölband blir därmed inga omkomna.

Händelse 5 – Olycka med oxiderande ämne

En olycka med oxiderande ämne innebär primärt en risk om det oxiderande ämnet kommer i kontakt med organiskt material så att förbränning sker, eller brandfarlig vätska så att en explosion sker. Konsekvenserna av ett litet läckage samt ett större läckage har studerats.

En brand antas konservativt ge ett liknande konsekvensområde som den mindre pölbranden i händelse 4 och kommer således inte påverka planområdet. Det större läckaget motsvarar vid en explosion händelse 1, ett mindre läckage bidrar inte till någon explosion som påverkar planområdet.

Tabell C12 – Skadeområdets area inom aktuellt planområde samt förväntat antal omkomna

Händelse	Skadeområdets area inom aktuellt planområde		Antal omkomna (personer)	
	Utomhus	Inomhus	Utomhus	Inomhus
Explosion (25 ton)	600	13500	1	116