

INNEHÅLL BILAGOR

BILAGA A- Sammanställning av konsekvensavstånd	2
BILAGA B - Riskanalys av identifierade riskkällor	5
Olycka vid transport av farligt gods	5
Urspårning Industrispår Shanghai.....	10
Spårvägsolyckor	11
Olycka vid transport och hantering av LNG	11
Olycka med bunkerolja och bioolja.....	15
Påkörning av rörledningar för brandfarlig vara.....	22
Olycka vid hantering av brandfarliga varor vid drivmedelsstation	23
Olycka vid hantering av koldioxid	26
BILAGA C- Konsekvensberäkningar.....	28
Pölbrand	28
BLEVE	33
BILAGA D- Påseglingsanalys.....	36
BILAGA E- Individrisk transporter med farligt gods.....	45
Referenslista Bilagor	65

BILAGA A- SAMMANSTÄLLNING AV KONSEKVENSAVSTÅND

Nedan presenteras en tabell med identifierade riskkällor, typer av olyckor, skadekriterier, och konsekvensavstånd vilka bedömts kunna ha en påverkan i dominoeffektanalysen. Därefter följer ett antal bilagor där indata, antaganden och konsekvensberäkningar för de olika olycksscenarierna redovisas. Följt av Bilaga E där individriskberäkningar för Lidingövägen och Norra Hamnvägen redovisas.

Tabell 1. Sammanställning av konsekvensavstånd avseende dominoeffekter, utifrån identifierade dimensionerande olycksscenarier.

Riskkälla	Typ av olycka	Skadekriterie	Konsekvens	Konsekvens-avstånd	Start-händelse	Avsnitt i bilaga
Stockholm Exergi	Cisternbrand, bioolja. Strålning till närliggande cisterntopp	15 kW/m2	Människor omkommer	21 m	Nej	Bilaga B- Olycka med bunkerolja och bioolja
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	Uppnås ej		
Cisterner	Cisternbrand 343, brandfarlig vätska klass 3. Strålning till närliggande cisterntopp	15 kW/m2	Människor omkommer	47 m	Nej	
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	3 m		
	Cisternbrand 343, brandfarlig vätska klass 3. Strålning till marknivå	15 kW/m2	Människor omkommer	38 m	Nej	
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	Uppnås ej		
	Cisternbrand övriga, brandfarlig vätska klass 3. Strålning till närliggande cisterntopp	15 kW/m2	Människor omkommer	24 m	Nej	
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	Uppnås ej		
Bio-CCS	Utsläpp koldioxid	Extrem nedkylning (< -20° C)	Människor omkommer, oskyddad utrustning skadas	Konsekvensområde kaj 503	Nej	-

Riskkälla	Typ av olycka	Skadekriterie	Konsekvens	Konsekvens-avstånd	Start-händelse	Avsnitt i bilaga	
Stockholms hamnar Depå Bunkerbränsle	Cisternbrand strålning/ Invallningsbrand, läckage. Strålning (murhöjd)	15 kW/m2	Människor omkommer	32 m (uppnås ej på marknivå)	Nej	Bilaga B- Olycka med bunkerolja och bioolja	
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	Uppnås ej			
	Invallningsbrand, rämnad cistern Strålning (murhöjd)	15 kW/m2	Människor omkommer	71 m	Nej		
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	13 m			
	Pölbrand efter utsläpp från rörledning eller tankbil. Strålning, avstånd från pölmitt. (16 m upp)	15 kW/m2	Människor omkommer	33 m	Nej		
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	25 m (Uppnås ej på marknivå)			
Bunkring, LNG	Gasmoln, ingen antändning			70 m	Nej	Bilaga B- Olycka vid transport och hantering av LNG	
	Gasmoln, antändning Avstånd är gasmolnets utbredning	Undre bränn- barhetsområde Brand, 1000- 1500 grader	Människor omkommer Brännbart material antänds Oskyddad utrustning skadas	24 m	Nej		
	Jetflamma vid bunkring	15 kW/m2	Människor omkommer	Längd 47 m, Bredd 31 m	Nej		
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	Längd 44 m, Bredd 14 m			
Pölbrand, LNG	Stort utsläpp på vatten, diameter 50 m Strålning (marknivå)	15 kW/m2	Människor omkommer	58 m	Nej		
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	Uppnås ej	Ja		
Tankbil LNG	BLEVE från tankbil (Strålning)	15 kW/m2	Människor omkommer	202 m	Nej		
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	108 m	Nej		
	BLEVE från tankbil (Tryckvåg)	45 kPa	Cistern, trycksatt	69 m	Ja		
		20-30 kPa	Cistern, atmosfärisk	86-112 m	Ja		
		45 kPa	Tankbil, fartyg, trycksatt	69 m	Ja		
		20 kPa	Tankbil, fartyg, övriga	112 m	Ja		
		25-35 kPa	Byggnader rasar	78-103 m	Ja		
		Jetflamma från tankbil	15 kW/m2	Människor omkommer	Längd 47 m, Bredd 31 m		
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	Längd 44 m, Bredd 14 m	Ja		
Shanghai Industrispår	Urspårning	Mekanisk påverkan	Människor omkommer, utrustning skadas	max 4 m från spår, utan vidtagna åtgärder.	Nej	Bilaga B – Urspårning Industrispår	

Riskkälla	Typ av olycka	Skadekriterie	Konsekvens	Konsekvens-avstånd	Start-händelse	Avsnitt i bilaga
Spårväg	Urspärning	Mekanisk påverkan	Människor omkommer, utrustning skadas	Åtgärder som förhindrar urspärning i sidled förbi cisterner krävs för att möjliggöra Spårvägen.	Nej	Bilaga B - spårvägs-olyckor
Lidingövägen	Olycka vid transport av farligt gods	37,5 kW/m2	BLEVE från tankbil klass 2.1 (Strålning), Maximalt konsekvensavstånd för olycka som kan ge påverkan i dominoanalysen	108 m	Ja	Bilaga B- Olycka vid transport av farligt gods.
Norra Hamnvägen	Olycka vid transport av farligt gods	37,5 kW/m2	BLEVE från tankbil klass 2.1 (Strålning), Maximalt konsekvensavstånd Max. konsekvensavstånd för olycka som kan medföra påverkan i dominoanalysen	108 m	Ja	Bilaga B- Olycka vid transport av farligt gods.
Värtahamnen	Olycka med farligt gods		Max. konsekvensavstånd för olycka som kan medföra påverkan i dominoanalysen. (klass 1.4, 3, 4, 5 och 8)	10 m	Nej	Bilaga B- Olycka vid transport av farligt gods.
Påsegling fartyg	Påsegling kajkant	Mekanisk påverkan (från kajkant)		10 m	Nej	Bilaga D
Lossning med fartyg	Pölbrand fartygsbränsle (300 m2)	15 kW/m2 37,5 kW/m2	Människor omkommer Skyddad utrustning skadas	22 m Uppnås ej i marknivå	Nej	Bilaga B – Olycka med bunkerolja och brandfarlig vara
Drivmedelsstation	Pölbrand (64 m2)	15 kW/m2	Människor omkommer	18 m	Nej	Bilaga B- Olycka vid hantering av brandfarliga varor drivmedelstation
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	9 m		
	Pölbrand (400 m2)	15 kW/m2	Människor omkommer	28 m		
		37,5 kW/m2	Skyddad utrustning skadas	15 m		

BILAGA B - RISKANALYS AV IDENTIFIERADE RISKKÄLLOR

I denna bilaga presenteras identifierade olycksscenarier, indata, förutsättningar och resultat från genomförda beräkningar och bedömningar av konsekvensavstånd från respektive riskkälla.

Olycka vid transport av farligt gods

En olycka vid transport av farligt gods på Lidingövägen, Norra Hamnvägen eller Värtahamnen kan medföra konsekvenser som ger en påverkan på verksamheterna i Energihamnen. I Tabell 2 nedan presenteras Allmänna beskrivningar av olycksscenarier som kan förekomma i olyckor vid transport av farligt gods. Därefter följer avsnitt med indata och förutsättningar och resultat av beräkningar och bedömningar av konsekvensavstånd vilka nyttjas i dominoeffektanalysen för identifierade olycksscenarier vid transport av farligt gods i Värtahamnen och på Lidingövägen samt Norra Hamnvägen.

Tabell 2. Allmänna beskrivningar av olycksscenarier för de olika klasserna av farligt gods. Generella bedömningar av påverkan baseras på tillgänglig litteratur^{1,2,3}.

ADR-S klass	Beskrivning
1 - Explosiva ämnen och föremål	Explosioner till följd av olyckor med ADR-S klass 1 påverkar omgivningen genom tryckpåverkan, värmestrålning och splitter. Vid stora mängder explosiva varor kan skador från tryckvågen uppstå på flera hundratals meter, och splitterskador på uppemot en kilometer.
2 – Gaser	Olycksförloppen vid olyckor med gaser varierar beroende på vilken typ av gas som är inblandad.
<i>2.1 - Brandfarliga gaser</i>	Olyckor med brandfarliga gaser inkluderar olika brandförlopp som kan påverka omgivningen genom värmestrålning eller tryckpåverkan. Vid ett läckage som antänds omgående uppstår en jetflamma som orsakar värmestrålning mot omgivningen. Om ingen antändning sker kan den utsläppta gasen bilda ett brännbart gasmoln som förflyttar sig med vinden och vid senare antändning orsakar en gasmolnsexplosion. Gasmolnsexplosionen orsakar värmestrålning och under vissa mycket specifika förhållanden även tryckvågor mot omgivningen. I sällsynta fall kan även en typ av explosion som kallas BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) uppstå.
<i>2.2 – Icke giftig, icke brandfarlig gas</i>	Den påverkan på omgivningen som kan uppstå vid olyckor med denna riskgrupp är främst kopplad att kraftig uppvärmning kan leda till kärlsprängning samt omkringflygande kärldelar eller splitter.
<i>2.3 – Giftiga gaser</i>	En olycka med giftig gas kan leda till påverkan på omgivningen om ett läckage leder till att ett giftigt gasmoln kan sprida sig från olycksplatsen. Spridningen av den giftiga gasen beror bland annat på läckagestorlek och väderförhållanden. Påverkan på människor kan uppkomma på flera hundratals meter.
3 – Brandfarliga vätskor	Olycksförlopp med brandfarliga vätskor innebär typiskt att ämnet vid läckage strömmar ur tanken och breder ut sig på marken och formar en pöl. Pölens utbredning beror på underlagets utformning (lutning, diken, porositet med mera). Om det sker en antändning uppstår en pölbrand, som påverkar omgivningen inom ett par tiotals meter genom värmestrålning från flammor och produktion av skadlig rök.

4 – Brandfarliga fasta ämnen	Olyckor som involverar brandfarligafasta ämnen kan påverka omgivningen inom något tiotal meter främst genom värmestrålning och giftiga brandgaser.
5 – Oxiderande ämnen och organiska peroxider	Oxiderande ämnen är brandfrämjande ämnen som vid avgivande av syre (oxidation) kan initiera eller understödja brand i andra ämnen samt i vissa fall leda till explosioner. Organiska peroxider är mycket reaktiva och dess termiska instabilitet kan medföra att ämnet sönderfaller, i vissa fall explosionsartat. Påverkan på omgivningen kan alltså uppstå genom värmestrålning vid bränder eller tryckpåverkan och splitter vid explosioner. Påverkan på människor kan sträcka sig upp till femtio meter från olyckan.
6 – Giftiga och smittfarliga ämnen	Giftiga substanser som troligen kan orsaka allvarlig ohälsa eller död, eller smittfarligt ämne, bedöms vid ett olycksscenario påverka människor endast vid direkt kontakt med ämnet.
7 – Radioaktiva ämnen	Ämnen som genom sitt sönderfall producerar alfa-, beta- eller gammastrålning transporteras inte på sådant sätt så att de kan medföra akut påverkan på människor vid ett tidsbegränsat olycksscenario. Allvarliga skador på människor bedöms generellt uppkomma vid långvarig exponering, vilket inte beaktas i denna riskbedömning.
8 – Frätande ämnen	Ämnen som i flytande eller fast form kan skada levande vävnad eller utrustning bedöms vid ett olycksscenario påverka människor endast vid direkt kontakt med ämnet
9 – Övriga farliga ämnen	Ett vanligt exempel på ADR-S klass 9 är asbest. Allvarliga skador på människor bedöms generellt uppkomma vid långvarig exponering, vilket inte beaktas i denna riskbedömning.

Förutsättningar

Nedan presenteras förutsättningar för bedömning av konsekvensavstånd från olyckor vid transport av farligt gods vilka nyttjas i dominoeffektanalysen.

Värtahamnen

Värtahamnens miljötillstånd innehåller ingen begränsning för total transport av farligt gods. Däremot finns en begränsning i hamnens driftföreskrifter⁴ av de maximala kvantiteterna av farligt gods som får skeppas vid varje fartygsanlöp och som samtidigt får finnas i terminalen.

Sedan 2013 trafikeras inte längre Värtapiren av några godsfärjor utan endast av Tallink Siljas passagerarfärjor samt ett ytterligare rederi som står för ett (1) anlöp i veckan. Idag sker därmed all transport av gods såväl som farligt gods på passagerarfärjor. Detta har inneburit restriktioner att transportera farligt gods utöver de som driftföreskrifterna specificerar.

De båda rederierna tillåter endast transporter av farligt gods enligt klasser i Tabell 4⁵. Dessa restriktioner har bedömts generella för eventuellt tillkommande passagerarfärjor. För alla transporter gäller att endast förpackad gods kan transporteras, vilket förbjuder transport i bulk eller tank (väg och järnväg).

Mellan januari och september 2018 transporterades cirka 1 miljon ton gods. Av dessa var cirka 10 000 ton farligt gods⁵. Cirka 50 % av det farliga godset bestod av ADR-klass 3 brännbara vätskor och 30 % av ADR-klass 8 frätande ämnen

Tabell 3. Tillåtna transporter av farligt gods i Värtahamnen⁵.

P = Indicates PACKAGED GOODS PERMITTED
A = Indicates PACKAGED and BULK GOODS ALLOWED
X = Indicates NOT ALLOWED

Remarks related to the information in the table above as applicable:

NOTE: Cargoes in bulk may be listed individually by name and class.

DG19

Version 6

2011-12-02

3(4)

De typer av farligt gods som transporteras på Lidingövägen och Norra Hamnvägen som beskrivits i avsnitt 4.1.1-4.1.2 har tillhandahållits av hamnens verksamhetsutövare⁶, de verksamheter på Lidingö som hanterar farligt gods, samt utifrån identifierade flöden av farligt gods till och från Värtahamnen⁵. På Lidingövägen förbi Energihamnen transporteras de transporter av farligt gods som även på Norra Hamnvägen men också de transporter med farligt gods som har målpunkt på Lidingö.

Indata och antaganden

I tabell 15 nedan presenteras vilka klasser av farligt gods som transporteras utifrån identifierade flöden^{6,5}.

Tabell 4. Sammanställning av vilka typer av farligt gods som transporteras på Lidingövägen förbi Energihamnen, Norra Hamnvägen samt i Värtahamnen.

ADR-S-klass	Lidingövägen/ Norra Hamnvägen	Värtahamnen
1.1-1.3	Nej	Nej
1.4S	Ja	Ja
2.1 (LNG)	Ja	Nej
2.2	Ja	Ja
2.3	Nej	Nej
3	Ja	Ja
4	Ja	Ja
5.1	Ja	Ja
5.2	Nej	Nej
6	Ja	Ja
7	Nej	Nej
8	Ja	Ja
9	Ja	Ja

Resultat

I Tabell 5 nedan presenteras de uppskattade maximala konsekvensavstånden för de möjliga olyckstyperna vid transport av farligt gods på Lidingövägen, Norra Hamnvägen samt i Värtahamnen.

Tabell 5. Uppskattade maximala konsekvensavstånd som nyttjas i dominoeffektanalysen för olyckor vid transport med farligt gods på Lidingövägen, Norra Hamnvägen samt Värtapiren.

IMDG klass	Kommentar	Konsekvensavstånd
1.4 S	<p><i>Explosiva ämnen och föremål. Fara för brand eller splitter och kaststycken.</i></p> <p>Riskgrupp 1.4 innebär ämnen, blandningar och föremål som endast medför obetydlig fara i händelse av antändning eller initiering. Verkningarna är i stort sett begränsade till förpackningen och inget utkast av splitter eller kaststycken av betydande storlek eller utbredning kan förväntas. Brand utifrån får inte förorsaka explosion av så gott som hela innehållet i förpackningen praktiskt taget samtidigt.^{7,8}</p> <p>Olyckor med klass 1.4 bedöms ej kunna påverka omkringliggande verksamheter, ett maximalt konsekvensavstånd på 10 m antas konservativt.</p>	10 m
2.1	<p><i>Brandfarliga gaser</i></p> <p>Den typ av brandfarlig gas som transporteras på Lidingövägen och Norra Hamnvägen och hanteras u Energihamnen är LNG. Specifika beräkningar för olycksscenarioer vid transport av LNG har därför genomförts, se Bilaga B, Olycka vid transport och hantering av LNG. Resultaten från dessa beräkningar nyttjas för Dominoeffekt analysen.</p>	<p>Jetflamma: 47 m Gasmoln: 24 m BLEVE: 108 m</p>
2.2, 2.3	<p><i>Icke giftig icke brandfarlig gas, Giftiga gaser</i></p> <p>Olyckor med klass 2.2 och 2.3 bedöms ej kunna medföra påverkan på omkringliggande verksamheters utrustning och inkluderas därför inte i dominoeffektanalysen.</p>	-
3	<p><i>Brandfarliga vätskor</i></p> <p>För beräkningar av konsekvensavstånd har den etablerade metoden i <i>Farligt gods – riskbedömning vid transport</i>⁹ tillämpats, se bilaga C.</p>	10 m (marknivå) 25 m (16 m upp)
4.	<p><i>Brandfarligt fast ämne, Självantändande ämne, Ämne som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten.</i></p> <p>Värtahamnen är målpunkten för de transporter av klass fyra som har identifierats. Endast förpackat gods tillåts att hanteras i Värtahamnen, vilket förbjuder transport i bulk eller tank.</p>	10 m
5.1	<p><i>Oxiderande ämne</i></p> <p>Värtahamnen är målpunkten för de transporter av klass 5.1 som har identifierats. Endast förpackat gods tillåts att hanteras i Värtahamnen, vilket förbjuder transport i bulk eller tank.</p>	10 m
6.1	<p><i>Giftiga ämnen</i></p> <p>Endast vätskor med flampunkt $\geq 60^{\circ}\text{C}$ tillåts. Olyckor med klass 6.1 bedöms ej kunna ge en påverkan på omkringliggande verksamheters utrustning.</p>	-
8	<p><i>Frätande ämnen</i></p> <p>Endast vätskor med flampunkt $\geq 60^{\circ}\text{C}$ tillåts</p>	10 m
9	<p><i>Övriga farliga ämnen</i></p> <p>Farligt ämne som inte kan klassificeras under något annat. Ett vanligt exempel på ADR-S klass 9 är asbest. Allvarliga skador på människor bedöms generellt uppkomma vid långvarig exponering. Vilket inte beaktas i denna bedömning.</p>	-

Urspårning Industrispår Shanghai

Söderifrån in i planområdet ansluter industrispår från Värtabanan.

Förutsättningar

Inget farligt gods transporteras på industrispåren och förväntas ej heller transporteras år 2040. För dominoeffektanalysen är det konsekvenser till följd av att ett urspårat tåg lämnar spårområdet och kolliderar med intilliggande verksamheter som behöver beaktas. Sannolikheten för urspårning samt det avstånd från spår ett urspårat tåg når beror främst av tågets hastighet

Indata

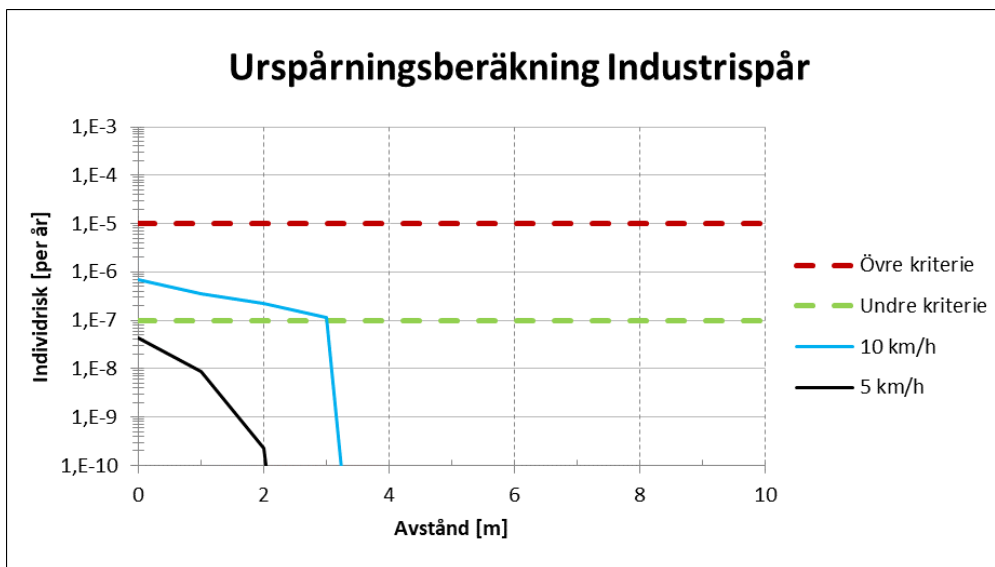
För beräkning av hur ofta urspårningsolyckor på industrispåren förväntas inträffa och för att beräkna ett konsekvensavstånd används den metod som presenteras i UIC:s rapport *Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone*¹⁰ för två scenarier. Indata till beräkningarna är delvis hämtade därur, samt från Stockholm Exergi vilka nyttjar industrispåren.

Tabell 6. Indata till urspårningsberäkningar.

Variabel	Scenario 1	Scenario 2
Hastighet [km/h]	5 km/h	10 km/h
Antal spår [st]	3	3
Växlar	Ja	Ja
Antal tåg genomsnittsdyn	3	3

Resultat

Nedan presenteras resultatet av urspårningsberäkningarna. Det går där att utläsa ett urspårat tåg i Energihamnen beräknas nå maximalt 3 m från spår vid en hastighet på 10 km/h. Människor som befinner sig inom detta avstånd från spår vid en tågurspårning antas omkomma.



Figur 1. Resultat av UIC-beräkningars frekvens för och konsekvensavstånd vid en urspårning.

Spårvägsolyckor

De olycksscenarioer som identifierats på spårvägen skulle kunna leda till en påverkan på närliggande områden och verksamheter bedöms möjliga att hantera vid vidtagande av åtgärder föreslagna i tidigare genomförda riskbedömningar^{11,12}. Olyckor kopplade till spårvägen inkluderas inte i dominoeffektanalysen.

Olycka vid transport och hantering av LNG

I detta avsnitt beskrivs indata, förutsättningar och metod för bedömning av konsekvenser för identifierade olycksscenarioer för LNG i Energihamnen, det vill säga BLEVE, jetflamma, gasmolnexplosion och pölbrand.

Förutsättningar

Det planeras att lossningen av LNG till Seagas ska flyttas från Loudden till Energihamnen. Kryssningsfartyget Viking Grace bunkras för närvarande med LNG från AGAs fartyg Seagas vid Stadsgården (Stockholm). Seagas fylls idag på med LNG från tre lastbilsleveranser per dag i Loudden.

Tankbilarna som transporterar LNG till Seagas är semitrailers med 55 m³ kryotankar (superisolerad tank med dubbla skrov) vilka rymmer 20 ton LNG. Lossningsutrustningen på både tankbil och båt är försedd med nödstoppknappar för snabbstopp av lossningen. Tankbilen är också försedd med tow away-skydd vilket innebär att den inte kan flyttas på med ansluten lossningsslang, samt med dödmansgrepp som måste kvitteras var fjärde minut. På befintlig fyllningsplats på Loudden stannar tankbilen cirka 25 meter från kajkant

där bunkerbåten Seagas väntar. Lastbil kopplas via lossningsslang och rörinstallation upp mot Seagas. Efter genomförda kontrollrutiner startar lossningen. Den styrs och övervakas både från lossningsplatsen (tankbilschauffören) och från Seagas. Efter fyllning spolats rörledningarna rena med kvävgas, och de innehåller därmed LNG enbart vid själva fyllningen¹³.

I denna riskbedömning antas att lossningen av LNG till Seagas kommer ske på samma sätt i Energihamnen sätt som den idag genomförs i Louden. Ingen lagring av LNG i cistern kommer att ske i Energihamnen.

Indata och antaganden

Nedan presenteras indata och antaganden för beräkning av olyckscenarier med LNG som leder till BLEVE, jetflamma, gasmolnsexplosion eller pölbrand.

Pölbrand

Strålning från pölbrand med LNG beräknas enligt Bilaga C. Strålningen som avges från en pölbrand med en viss storlek är beroende av förbränningseffektiviteten, förbränningshastigheten per ytenhet samt förbränningsvärmen.

Indata till strålningsberäkningarna med LNG presenteras nedan.

Tabell 7. Förbränningsparametrar för pölbränder för olika drivmedel.

Drivmedel	Förbrännings-effektivitet [m^{-1}]	Förbränningshastighet per ytenhet [kg/m^2s]	Förbränningsvärme [kJ/kg]
LNG ¹⁴	1,1	0,078	50 000

Tabell 8 Geometri för den pölbrand med LNG på vatten som beräknats.

Scenario	Diameter	Area	Höjd över mark	Flamhöjd
<i>Poolbrand på vatten</i>				
LNG	50 m	1 964 m^2	-4 m	87,4 m

Jetflamma och Gasmolnsexplosion

Avseende händelseförloppet jetflamma och gasmolnsexplosion används de konsekvensberäkningar som gjorts för Energihamnen i Göteborg¹⁵. Se Figur 2 och Figur 3.

BLEVE

Strålning från en BLEVE beräknas enligt Zhang-Liang¹⁶. Antagen mängd LNG för beräkning av konsekvenser från BLEVE är 12 000 kg vilket motsvarar en fyllnadsgrad av tankbilens kryotank om 60%. Resterande 40% antas förbrukas av jetflamman som värmer upp tanken. Antagandet baseras på en spansk studie av BLEVE i tankbil¹⁷.

Tryckvåg från en BLEVE beräknas enligt metod från Räddningsverket¹⁸. Massa LNG räknas då om till ekvivalent mängd TNT genom en delning med faktor 2,347 enligt studien från Spanien.

Resultat

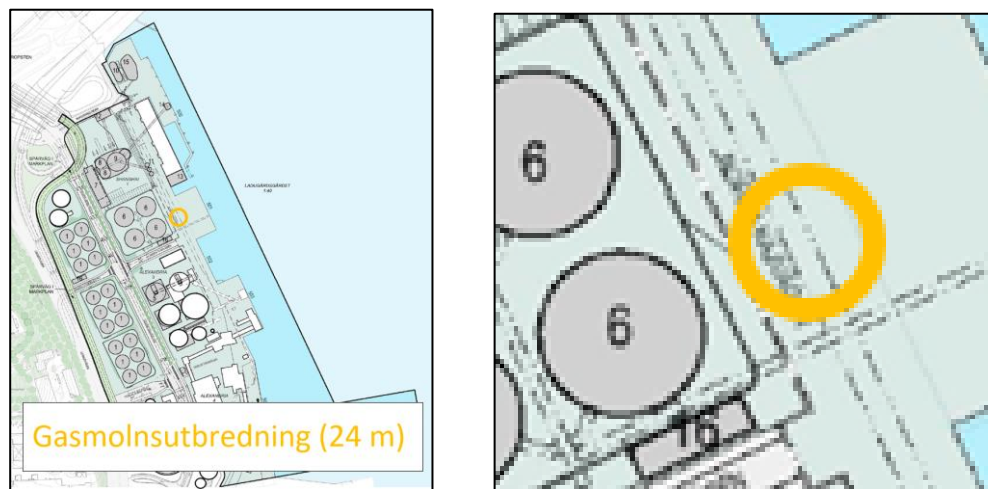
Nedan presenteras resultat av genomförda beräkningar av konsekvensavstånd för olyckor vid transport eller hantering av LNG.

Tabell 9. Avstånd som ger sökt strålningsnivå vid BLEVE

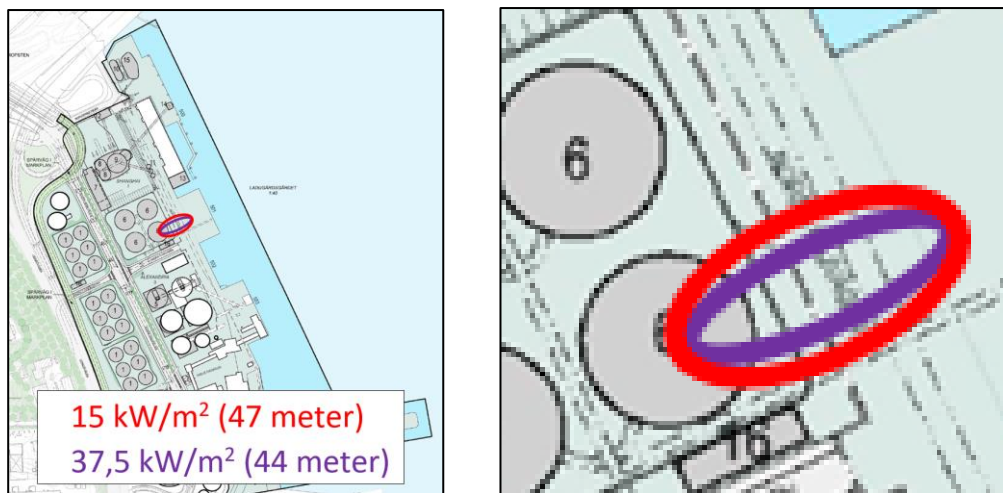
Avstånd, l	Avstånd, X _s	Strålning, q
108 m	78,1 m	37,5 kW/m ²
202 m	156,5 m	15 kW/m ²

Tabell 10. Avstånd som ger sökt övertryck

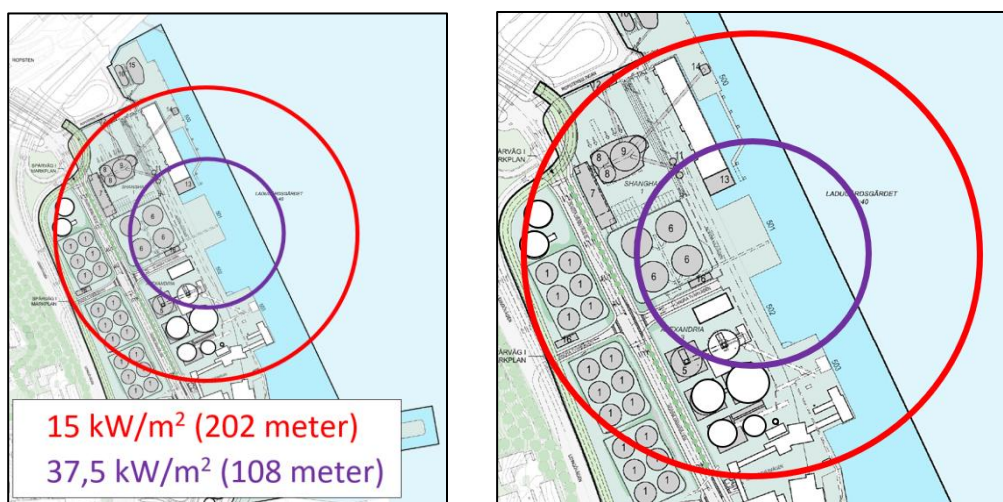
Avstånd (R)	Skalat avstånd (Z)	Övertryck (P ⁺)
69 m	4,0 m/kg ^(1/3)	45 kPa
86 m	5,0 m/kg ^(1/3)	30 kPa
112 m	6,5 m/kg ^(1/3)	20 kPa



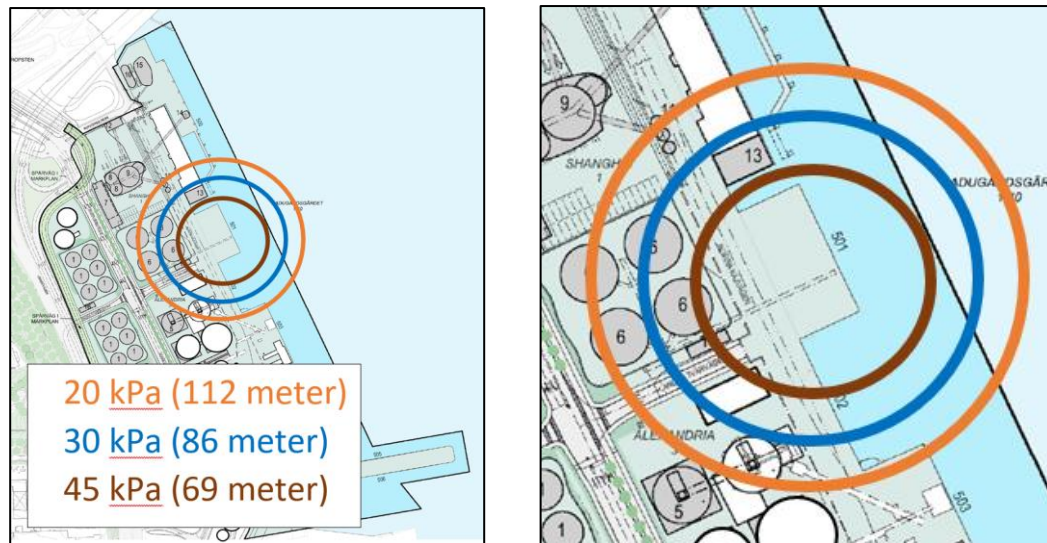
Figur 2. Konsekvensavstånd, gasmolnsbrand slangläckage med LNG vid bunkring eller utsläpp från tankbil. Observera att grundkartan som resultaten illustreras på (Situationsplanen) har ändrats sedan dessa analyser genomfördes. Förändringarna (t.ex. avseende planområdesgräns) bedöms inte ha någon betydande påverkan på gjorda bedömningar eller resultat.



Figur 3. Konsekvensavstånd, jetflamma efter slangläckage med LNG vid bunkring eller utsläpp från tankbil.



Figur 4. Konsekvensavstånd vid BLEVE från tankbil med LNG, strålning (marknivå).



Figur 5. Konsekvensavstånd vid BLEVE från tankbil med LNG, tryckvåg.



Figur 6. Konsekvensavstånd vid pölbrand med LNG på vatten, strålning (avstånd från kajkant)

Olycka med bunkerolja och bioolja

I detta avsnitt presenteras indata och förutsättningar för beräkning av konsekvensavstånd för olycksscenarioer med bunkerolja och bioolja.

Förutsättningar

Bunkerbränslen kallas de bränslen som används i internationell sjöfart. I de fyra invallade cisternerna norr om Andra Tvärvägen kommer bunkerbränsle förvaras. Depån ska kunna

hantera bränsletransporter både via vattnet, kajplats 502 och 503 och land, Andra Tvärvägen.

De bunkerbränsle som levereras till svenska fartyg är lättare eldningsolja (EO1-EO2), tyngre eldningsolja (EO3-EO6) samt lågsavvliga bränslen¹⁹. Särskilda data för fartygsbränslen har inte kunnat identifierats i denna analys, men samtliga eldningsoljor ska enligt svensk standard ha en flampunkt på 56°C eller högre²⁰. Detta innebär att även dessa oljor om de klassas som brandfarliga, tillhör brandfarlig vätska klass 3.

Indata och antaganden

För brand i cistern antas pölbrand ske med area enligt aktuell cistern, placerade på cisternens topp.

Invallningsbränder beräknas enligt area på aktuell invallning med hänsyn tagen till invallningens höjd. Geometri för de olika pölbränder som beräknats presenteras i Tabell 11 nedan.

Tabell 11. Geometri för de pölbränder som beräknats.

Scenario	Diameter	Area	Höjd över mark	Flamhöjd
Pölbrand på vatten				
Fartygsbränsle	19,5 m	300 m ²	-4 m	31,5 m
Cisternbrand				
Bunkerolja	28 m	616 m ²	28 m	40,0 m
Bioolja	18 m	255 m ²	35 m	29,0 m
Klass 3, Cisterner 320/321	25 m	491 m ²	20 m	37,1 m
Klass 3, Cisterner 340/342	25 m	491 m ²	18 m	37,1 m
Klass 3, Cisterner 343	43 m	1 452 m ²	21 m	52,8 m
Invallningsbrand, bunkerolja				
Läckage	29,4 m	680 m ²	0 m	41,3 m
Cisternhaveri	71,6 m	4 025 m ²	0 m	72,3 m

Strålningen som avges från en pölbrand med en viss storlek är beroende av förbränningseffektiviteten, förbränningshastigheten per ytenhet samt förbränningsvärmen se Tabell 12 nedan.

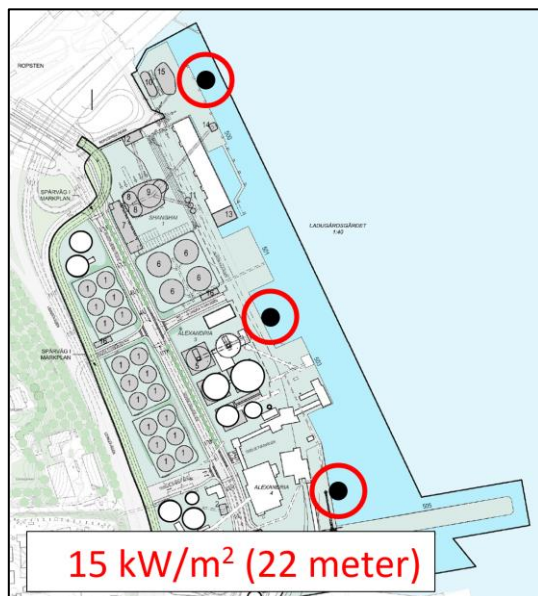
Tabell 12. Förbränningsparametrar för olika typer av olika drivmedel vilka nyttjas i konsekvensberäkningarna.

Drivmedel	Förbrännings-effektivitet [m^{-1}]	Förbränningshastighet per ytenhet [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$]	Förbrännings-värme [kJ/kg]
Bunkerolja (fuel oil, heavy) ¹⁴	1,7	0,035	39 700
Bioolja (Tallbecksolja) ²¹	1,7	0,035	38 000

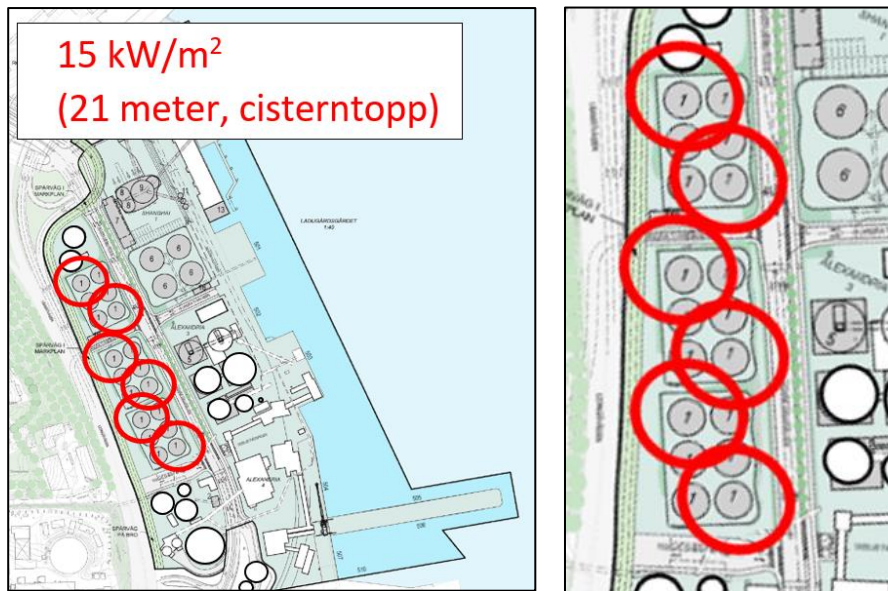
Förbränningseffektivitet och förbränningshastighet för bioolja antas vara samma som för bunkerolja.

Resultat

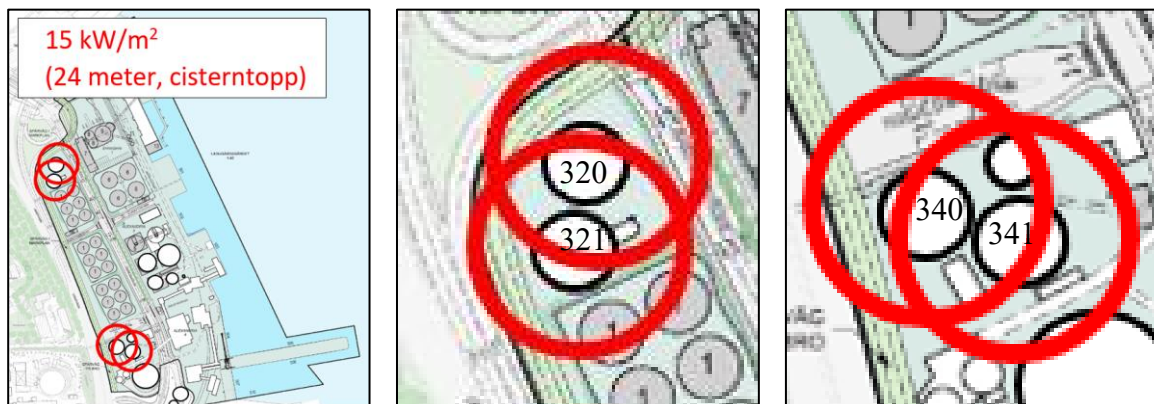
I Figur 7- Figur 15 presenteras resultatet för de beräknade konsekvensavstånden illustrerat i bilder för olyckor med bunkerolja och bioolja i Energihamnen.



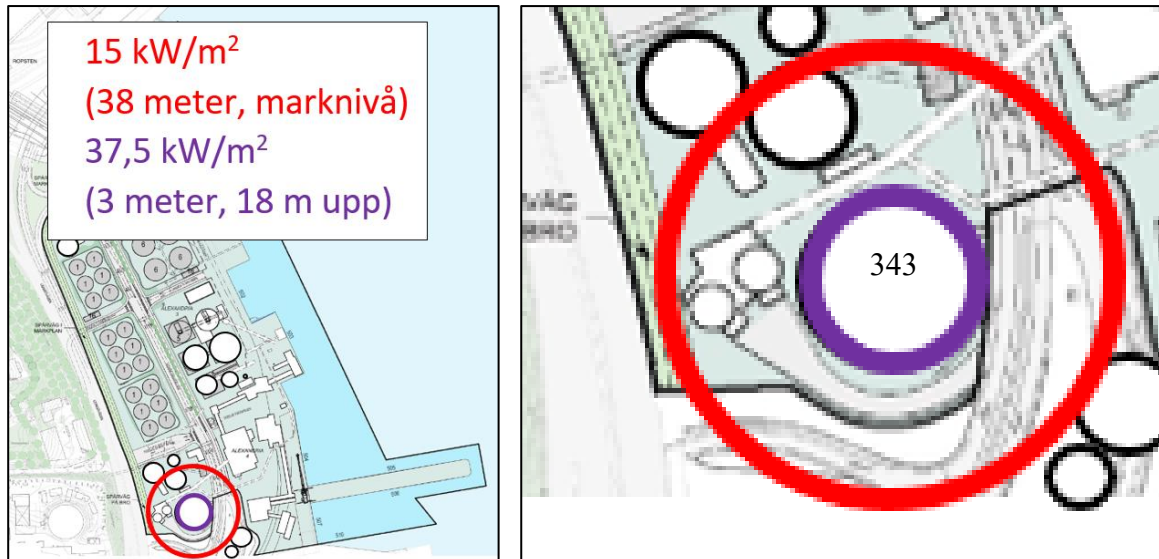
Figur 7. Konsekvensavstånd vid pölbrand med fartygsbränsle på vatten, strålning (avstånd från kajkant)



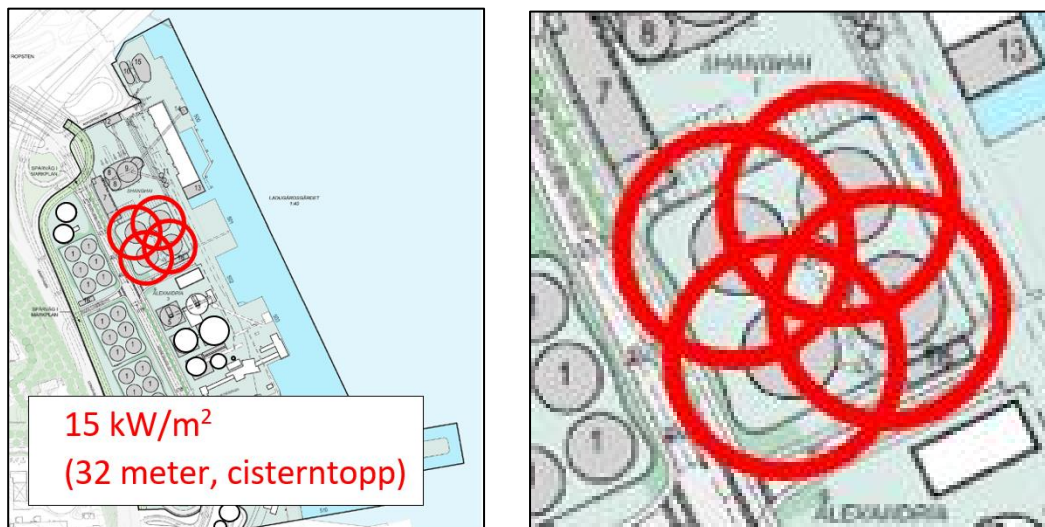
Figur 8. Brand i cistern med bioolja, cirklar markerar konsekvensavstånd från sex av de 18 cisternerna, övriga 12 har samma konsekvensavstånd (strålningsnivåer beräknande till cisterntopp). Observera att bakgrundskartan är en tidigare, utdaterad version från tidigare skede av planarbetet.



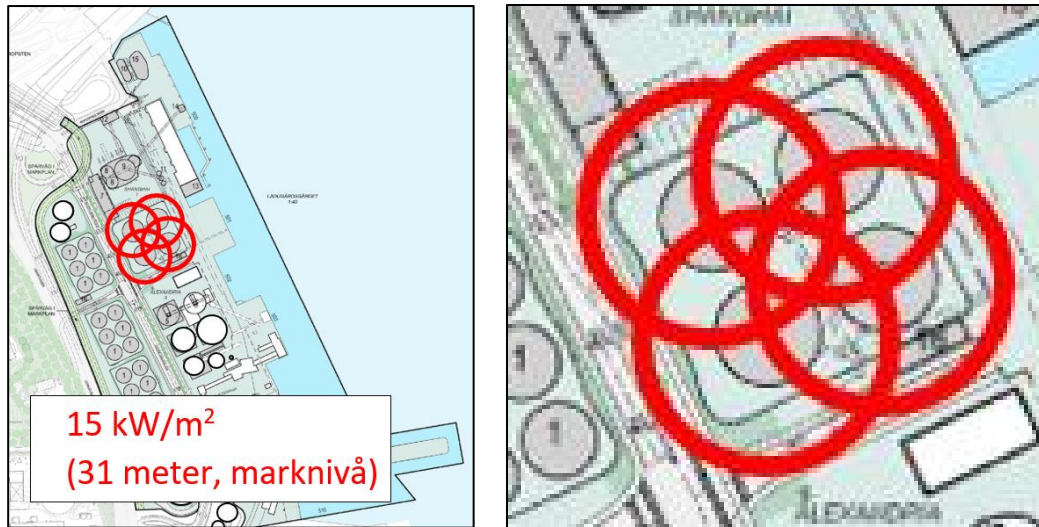
Figur 9. Brand i cistern 320/321/340/342, brandfarlig vätska klass 3 (strålningsnivåer beräknande)



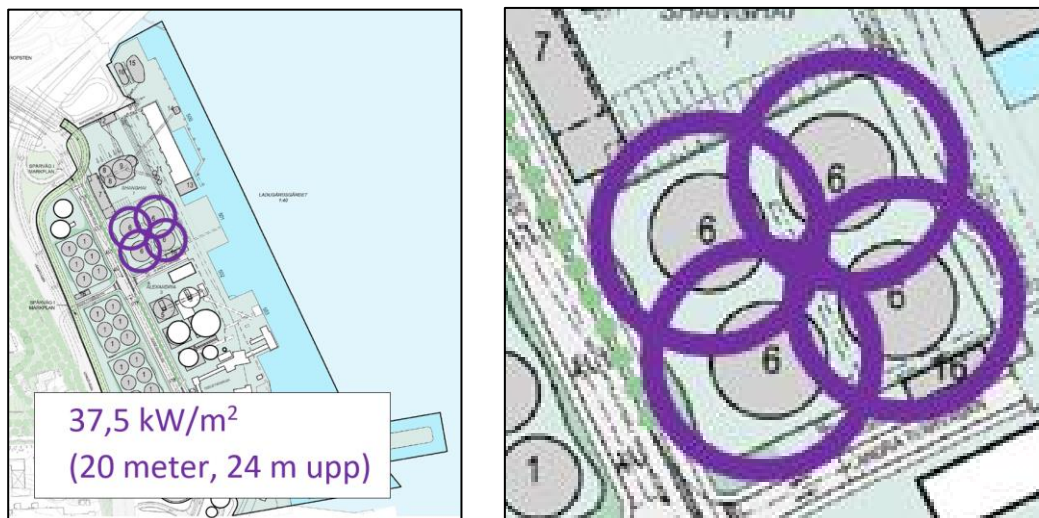
Figur 10. Brand i cistern 343, brandfarlig vätska klass 3 (strålningsnivåer beräknande till cisterntopp)



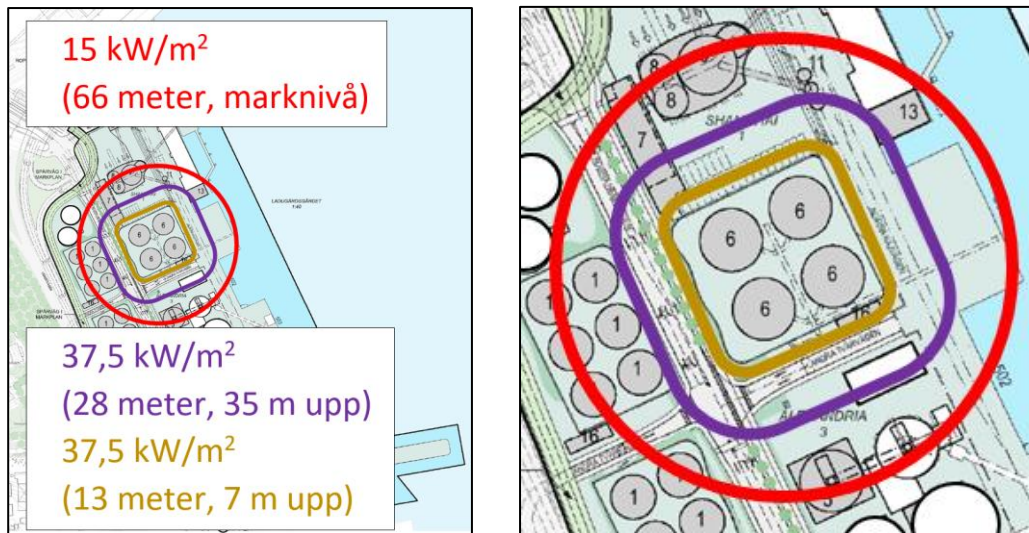
Figur 11. Brand i respektive cistern med bunkerolja, avstånd från cisternkant (strålning till cisterntopp). Scenariot är brand i endast en av dessa fyra cisterner vid ett tillfälle.



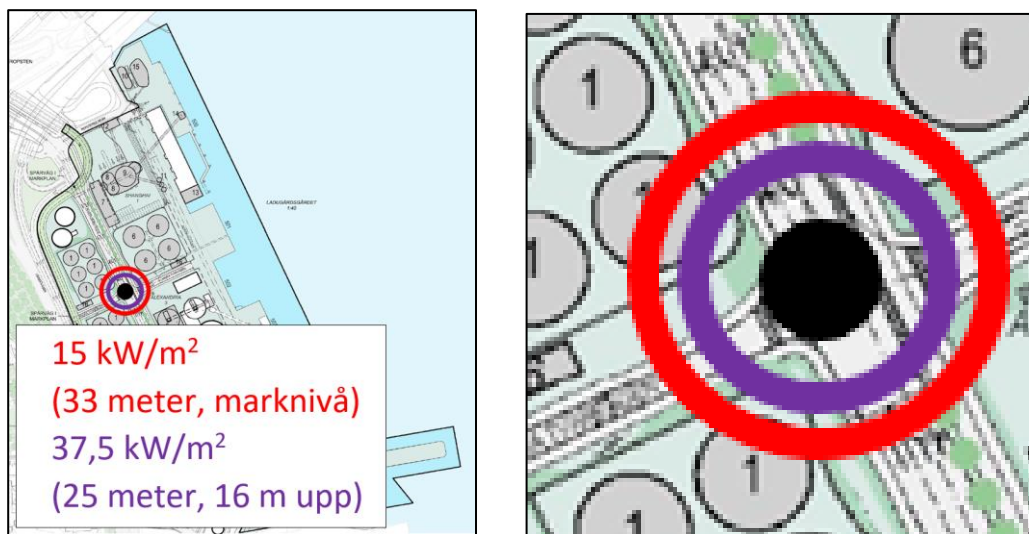
Figur 12. Brand i någon av de fyra mindre invallningarna runt respektive cistern efter läckage av bunkerolja, avstånd från invallningsmur, strålning 15 kW/m². Scenariot är brand i endast en av dessa fyra invallningar vid ett tillfälle.



Figur 13. Brand i någon av de fyra mindre invallningarna runt respektive cistern efter läckage av bunkerolja, avstånd från invallningsmur, strålning 37,5 kW/m². Scenariot är brand i endast en av dessa fyra invallningar vid ett tillfälle.



Figur 14. Brand i hela invallningen efter en rämnad cistern med bunkerolja, avstånd från invallningsmur.



Figur 15. Pölbrand på mark (ej i invallning) efter utsläpp av bunkerolja från rörledning eller tankbil, avstånd från pölmitt. Platsen kan vara någonstans längs vägnätet.

Påkörning av rörledningar för brandfarlig vara

Enligt säkerhetsrapporten²² för Värtaverket kan ett större läckage från cistern ske givet ett ledningsbrott på någon av de pumpledningarna som löper parallellt med eller korsar Norra Hamnvägen. Ledningarna som förbinder de olika depåerna är på tre ställen dragna över Norra Hamnvägen. Dessa platser kan komma att ändras till år 2040, men exakt lokalisering är inte känt. Vid tidigare Castrols fatlager är ledningarna dragna utmed vägen.

Trafiken är relativt intensiv och hastighetsbegränsningar (50 km/h) respekteras inte alltid. Om ett för högt ekipage försöker passera eller om ett annat ekipage tappar kontrollen och kör på ledning eller stödpelare bedöms utflöde av olja ske.²²

Under ogynnsamma förhållanden kan ledningarna innehålla eldningsolja 1 som blivit uppvärmd över sin flampunkt och som vid utflöde antänds av gnistor eller heta ytor. Under en internförflyttning av bränsle från Singapore till Port Said är flödet cirka 100 m³/h, dvs. cirka 1600 l/min. Under vissa typer av pumpningsarbete är ledningen helt öppen mellan anläggning och cistern, inga bakslagsventiler eller tryckvakter finns installerade, vilket betyder att ett potentiellt ledningsbrott kan tömma en hel cistern.²²

Konsekvenserna av en påkörning kan bli mycket allvarliga. En närbelägen busshållplats, gångtrafikanter från Värtaterminalen samt övrig biltrafik är faktorer som gör att personskadorna kan bli betydande, varför konsekvensen i säkerhetsrapporten²² uppskattats till 3 (enstaka svårt skadade, varaktiga svåra obehag). Eftersom inga invallningar finns, varken för ledningar eller cisterner, skulle de stora mängderna olja komma att rinna ut i dagvattenbrunnar och orsaka stora miljöskador. I cisternområdet Shanghai leds dagvattnet direkt ut i Lilla Värtan utan oljeavskiljare vilket betyder att även små läckage kan leda till stora miljöskador. Som mest bedöms 35 m³ EO1 kunna läcka ut vid ett potentiellt ledningsbrott, alternativt 150 m³ EO5 beroende på vilken ledning som skadas.²²

Sannolikheten för en påkörning av ledning bedöms till 3 (1 gång på 1-10 år). Sannolikheten för en brand är något mindre eftersom ledningarna endast är fyllda under pumpning samt att bränslets temperatur nästan alltid befinner sig under respektive flampunkt.²²

Förebyggande skyddsåtgärder som redan är vidtagna är 4,8 meter fri höjd där ledningar korsar Norra Hamnvägen. Reflexskyltning och ljus uppmärksammar att höjdbegränsning finns²². Påkörningsskydd av pumpledningarna och höjdbegränsningsportaler i både södra och norra änden av Norra Hamnvägens sträckning inom planområdet har också monterats.

Olycka vid hantering av brandfarliga varor vid drivmedelsstation

Direkt norr om planområdet, norr om Ropstensslangan finns idag drivmedelstationen Shell. Shell hanterar brandfarliga varor i form av vätskeformiga drivmedel, gasolflaskor samt lösa behållare med brandfarliga vätskor. Den hantering av brandfarliga varor som skall ske på drivmedelsstation är tillståndspliktig enligt 16§ i Lag (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor (LBE).²³ Det förutsätts att hanteringen av gasolflaskor och lösa behållare med brandfarliga vätskor sker i enlighet med kraven i LBE. Därmed behandlas dessa övrigt förekommande ämnen (aerosoler, gasol, samt övrig brandfarlig vätska i lösa förpackningar) inte vidare inom ramen för detta uppdrag. Nedan presenteras de generella riskerna som kan förekomma i olyckor vid hantering av vätskeformiga drivmedel vid drivmedelsstation.

Förutsättningar

Olycksförlopp med brandfarliga vätskor innebär typiskt att ämnet vid läckage strömmar ur tanken och breder ut sig på marken och formar en pöl. Pölens utbredning beror på underlagets utformning (lutning, diken, porositet med mera). Vid ett spill eller utflöde alstras däremot snabbt brännbara ångor som gör bränslet mycket lättantändligt. Vid en vätskebrand är det bränslets ångor som tillsammans med luft brinner. Risken för antändning är mycket hög. Antänds bensinen brinner den inom några sekunder med i princip full effekt²⁴. Om det sker en antändning uppstår en pölbrand, som påverkar omgivningen inom ett par tiotals meter genom värmestrålning från flammor och produktion av skadlig rök.

Identifierade olycksscenarier

Skadegörelse är möjlig men ovanlig på en drivmedelsstation. Det är dock vanligt att folk kör iväg med slangen i. Säkerhetsåtgärder och system finns på drivmedelsstationer för att hantera detta. Cisternerna för brandfarliga vätskor under mark är ej markerade för att undvika stölder av bensin.

En kvalitativ riskbedömning genomförs för ett antal scenarier som bedömts kunna inträffa, utifrån tidigare upprättade riskbedömningar²⁵ och andra underlag/rapporter^{26,27,28,29}. Där identifieras olycksscenarier som kan inträffa och om deras påverkan behöver utredas vidare genom kvantitativa beräkningar av värmestrålning mot omgivningen.

Följande scenarier som involverar brandfarlig vätska (bensin och diesel) bedöms kunna uppstå:

- *Pölbrand vid lossning av bränsle från tankfordon till cistern med brandfarliga vätskor.* Det största riskmomentet på en drivmedelsstation bedöms generellt vara vid lossning av bränsle från tankfordon till cistern med brandfarliga vätskor. Olyckor kan uppkomma exempelvis om slangen mellan bilen och cisternen brister eller lossnar²⁹. Chauffören ska dock alltid ha möjlighet att stoppa lossningen omedelbart. Vid lossningsplatsen finns en spillzon som doseras mot en lågpunkt så att utspilld vätska inte kan bilda en

pöl under tankbilen och begränsar arean som vätskan kan breda ut sig på. Detta medför att det dimensionerande skadefallet för läckage på drivmedelsstation anges till en bränslepöl på 64 m². Vid brand vid lossningen kan det ej brinna ner i tank under mark. Sannolikheten bedöms inte som obefintlig och utifrån detta studeras en pölbrand om 64 m².

- *Pölbrand vid pumpar för tankning av fordon.*
Det kan ske till följd av t.ex. bristfällig kontroll och underhåll eller yttre påverkan så som felhandling. Även här finns en spillzon som begränsar arean som vätskan kan breda ut sig. Vid brand vid lossningen kan det ej brinna ner i tank under mark då det råder övertryck där. Sannolikheten bedöms inte som obefintlig och utifrån detta studeras en pölbrand om 64 m².
- *Brand i fordonets tank då bränsletanken exponeras för lågor.*
Vid tankning är bränslepumparna utrustade med gasåterföringssystem som effektivt suger bort bränsleångorna från påfyllningsröret vilket minskar risken för antändning.³⁰ Bilarna är också konstruerade så att risken för alstring av statisk elektricitet vid tankning minimeras. Om antändning trots allt skulle ske är bränslekonzentrationen så hög inne i tanken att branden inte kan fortplantas in i den och skapa en explosion. Påverkar endast fordonet och dess direkta närhet.
- *Explosion i fordonets tank då bränsletanken exponeras för lågor.*
Dagens fordonstankar är oftast utförd i plast vilket innebär att denna kommer att värmas upp och smälta. Enligt gällande regelverk ska en bensintank motstå en standardiserad brandpåverkan under minst två minuter utan att läckage uppstår men därefter kan man förvänta sig att plasten smälter och bränslet flödar ut vilket gör att hela fordonet snabbt involveras i brand. Någon större risk för tankexplosion föreligger dock inte på grund av den höga bränslekonzentrationen inne i tanken och att plast/slangar tappar sin hållfasthet på grund av värmen vilket gör att höga tryck inte kan byggas upp i tanken.

Utifrån scenarierna ovan finns behov av att beakta pölbrand vid drivmedelsstationen vidare. Detta görs genom kvantitativa beräkningar av värmestrålning mot omgivningen för att se om det föreligger en påverkan på planområdet.

Indata och antaganden

Vid pumpar och lossningsplats på drivmedelsstationer finns spillzoner med brunn i mitten och i lågpunkt så att utspilld vätska inte kan bilda en pöl under tankbilen och begränsar arean som vätskan kan breda ut sig på. Spillzonen kommer att begränsa pölens utbredning. Spillzonen antas vara begränsad till en area om 64 m² (16*4 meter enligt lagstiftning) vid påfyllnadspunkten, varför denna pölstorlek utgör förutsättningen för grundberäkningen. En pölbrand i storleksordningen 200–400 m² är främst relevant att studera vid en olycka med farligt gods på väg och bedöms mer osannolika i samband med händelser inom en

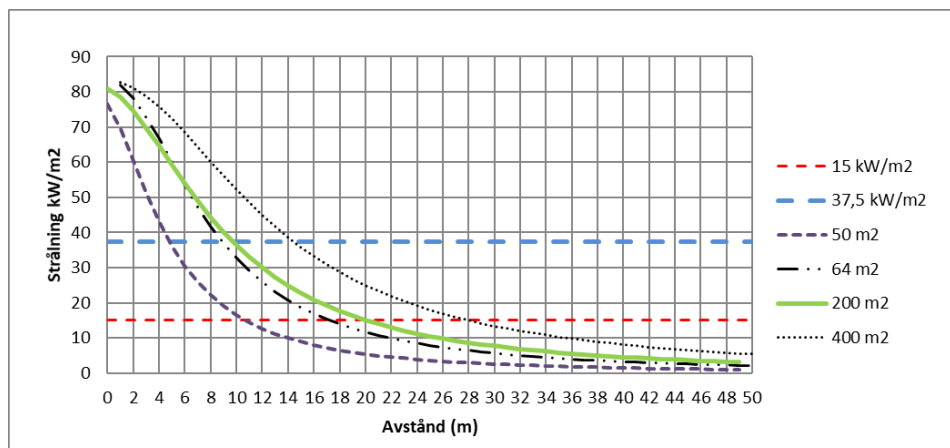
drivmedelsstation som ger upphov till läckage³¹ Dessa större storlekar på pölar ändå med i bedömningen av möjliga konsekvensavstånd från drivmedelsstationen, se Bilaga A. Strålningen som avges från en pölbrand med en viss storlek är beroende av förbränningseffektiviteten, förbränningshastigheten per ytenhet samt förbränningsvärmén. I tabellen nedan anges indata strålningsberäkningarna för pölbränder vid drivmedelstation.

Tabell 13. Förbränningsparametrar för pölbränder för olika brandfarliga vätskor.

Drivmedel	Förbrännings-effektivitet	Förbränningshastighet per ytenhet	Förbränningsvärme
Bensin	0,7 ³²	0,055 kg/m ² s ³³	43 700 kJ/kg ³³
Diesel	0,7 ^{32,33}	0,048 kg/m ² s ³³	43 600 kJ/kg ³⁴

Resultat

Strålningsberäkningar har genomförts med hjälp av beräkningar i enlighet med Bilaga C. De strålningsnivåer som, för olika vätskeformiga drivmedel kan uppnås till följd av valda pölstorlekar vid drivmedelstation presenteras i Figur 16.



Figur 16. Beräknad strålning från pölbränder med bensin.

De konsekvensbaserade skyddsavstånden för valda pölstorlekar visas i Tabell 14 nedan.

Tabell 14. Avstånd till kritisk strålningsnivå på halva flammans höjd (15 kW/m² och 37,5 kW/m²) för olika pölstorlekar vid transport av brandfarlig vätska klass 3, bensin.

Pölbrand av varierande storlek	Längd/bredd	Konsekvensavstånd 15kW/m ² från pölkant [m]	Konsekvensavstånd 37,5 kW/m ² från pölkant [m]
50 m ²	7,1/7,1	12 m	5 m
64 m ²	16/4	17 m	9 m
200 m ²	14/15	22 m	10 m
400 m ²	20	28 m	14 m

Olycka vid hantering av koldioxid

Stockholm Exergi planerar för att möjliggöra etablering av en fullskalig Bio-CCS-anläggning inom Energihamnen. En sådan anläggning omfattar infångningsanläggning, rörledningar, förvätskningsanläggning och mellanlagring av tryck- och kylkondenserad koldioxid i stående tankar. En riskbedömning³⁵ för Bio-CCS-anläggningen har inom ramen för Stockholm Exergis ansökan om ändringstillstånd enligt Miljöbalken. Följande sammanfattande avsnitt gällande koldioxidberäkningarna baseras på den framtagna riskbedömningen³⁵, där även resultaten redovisas.

Frekvensberäkningar koldioxid

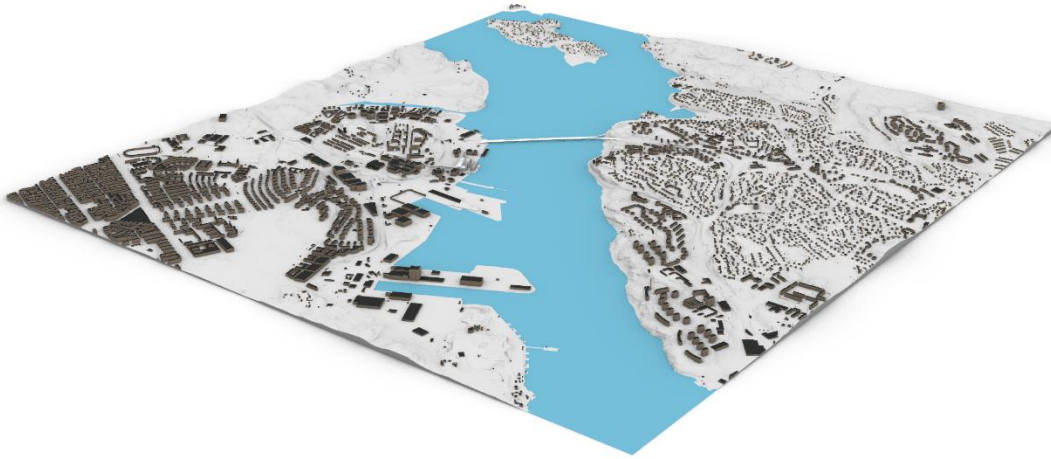
Frekvensanalysen och val/anpassning av relevanta händelser för analys baseras på metodiken som presenteras i RIVM:s handledning för riskbedömningar^a ”Bevi – manualen”. Där anges dels vilka typhändelser som rekommenderas för analys, såväl som feldata/frekvenser och lämpliga antaganden om sannolikheter för olika komponenter och delsystem. För beräkning av individrisk uppskattas en grundfrekvens per scenario (dvs. hur ofta händelsen inträffar).

Spridningsberäkningar koldioxid

Simuleringar av konsekvensavstånd för valda olycksscenarier med en mindre hålstorlek (<15 mm) har genomförts i programvaran ALOHA. ALOHA beräknar den största möjliga horisontella spridningen vid marknivå och tar inte hänsyn till spridning i vertikalt led, effekter av kemiska reaktioner eller topografi. Av dessa anledningar tillämpas verktyget ALOHA endast på de mindre utsläppen i denna riskbedömning.

Spridningen av de större utsläppen av trycksatt koldioxid i vätskefas modelleras av Det Norske Veritas, DNV i CFD med hjälp av simuleringsverktyget KAMELEON FIREEX KFX ®. Modellen är en så kallad pseudo-källmodell som använder grundläggande fysikaliska principer avseende bevarande av massa, rörelsemängd och energi för en kontrollvolym. Modellen har möjlighet att hantera spridning av ämnen i olika fasttillstånd. Verktygets förmåga att beräkna en realistisk spridning av koldioxid har visats genom tester och genom jämförelser av resultat från experimentella data från både laborietester och storskaliga fältförsök.³⁶

^a RIVM (2021) *Handleiding Risicoberekening Bevi*. Inleiding, Versie 4.3, 1 januari 2021. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Netherlands.



Figur 17. Vy över den 3D-modell som används i CFD-modelleringarna. (Urban Design, 2023)

BILAGA C- KONSEKVENSBERÄKNINGAR

Pölbrand

I denna bilaga beskrivs dimensionerande förutsättningar, antaganden och metod för genomförda strålningsberäkningar för pölbrand med avseende påverkan på människa och miljö.

Typ av brandfarlig vätska

Beroende på vilket drivmedel som släpps ut kommer den utsläppta vätskan vara olika lätt-antändlig. Bensin bildar mycket lättantändliga blandningar medan dieselångor är mer svårantändliga.

Antändning kan ske genom att den gas-/luftblandningen som uppkommer vid ett utsläpp av brandfarlig vätska kommer i kontakt med en tändkälla som exempelvis heta motordelar, statisk elektricitet eller en öppen låga. Gas-/luftblandningen är tyngre än luft för samtliga drivmedel. Detta innebär att den ibland kan spridas till lågt liggande utrymmen som kulvertar, rörledningar, källare m.m. eller föras med vinden och antändas på avstånd från själva utsläppspunkten.

Strålningen som avges från en pölbrand med en viss storlek är beroende av förbränningseffektiviteten, förbränningshastigheten per ytenhet samt förbränningsvärmen.

Tabell 15. Förbränningsparametrar för pölbränder för olika brandfarliga vätskor.

Drivmedel	Förbrännings-effektivitet	Förbränningshastighet per ytenhet	Förbränningsvärme
Bensin	0,7 ³²	0,055 kg/m ² s ³³	43 700 kJ/kg ³³
Diesel	0,7 ^{32,33}	0,048 kg/m ² s ³³	43 600 kJ/kg ³⁴
Bunkerolja (fuel oil, heavy)¹⁴	1,7	0,035	39 700
Bioolja (Tallbecksolja)²¹	1,7	0,035	38 000
LNG¹⁴	1,1	0,078	50 000

Ur tabellen kan det utläsas att bensin är det drivmedel som kommer att ge upphov till den största utvecklade effekten utifrån en given pölarea. Detta då bensin har både högst förbränningshastighet och förbränningsvärme.

Andra parametrar som har betydelse för påverkan från pölbranden är pölbrandens källa och utbredning.

Strålningsberäkningar avseende pölbränder med brandfarliga vätskor

Värmestrålningen från en pölbrand med brandfarlig vätska kan beräknas i följande steg:

1. Beräkning av brandeffekt för den aktuella pölstorleken
2. Beräkning av flammans höjd och temperatur,
3. Beräkning av synfaktor,
4. Beräkning av infallande strålning på olika avstånd från branden.

Brandeffekten beräknas för att uppskatta hur mycket energi som avges från branden till omgivningen. Flammans höjd beräknas för att sedan användas för att beräkna den så kallade synfaktorn som anger hur mycket av den från branden emitterade strålningen som når olika punkter i omgivningen. Temperaturen hos flammen ligger till grund för beräkningen av hur mycket infallande strålning som mottas av ytor på olika avstånd från branden.

Brandeffekt

För pölbränder med relativt stora diametrar (> 2 m) kan brandeffekten från en pöl beräknas utifrån följande samband:

$$\dot{Q} = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot \Delta H_c \cdot A_f$$

där

\dot{Q} = utvecklad effekt (kW)

χ = förbränningseffektivitet

\dot{m}'' = förbränningshastighet per ytenhet (kg/m²s)

ΔH_c = förbränningsvärme (MJ/kg)

A_f = pölstorlek (m²)

Ekvivalent branddiameter

Brandens ekvivalenta diameter (D) beräknas ur:

$$D = \sqrt{\frac{4A_f}{\pi}}$$

Flamhöjd

Flamhöjden H_f (m) för kvadratiska pölar och rektangulära pölar där längden på pölen inte är större än två gånger bredden beräknas med hjälp av följande ekvation³².

$$H_f = 0.23 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1,02D$$

För pölar där längden är betydligt större än bredden beräknas flamhöjden som:

$$H_f = 0.035 \cdot (\dot{Q}/L)^{2/3}$$

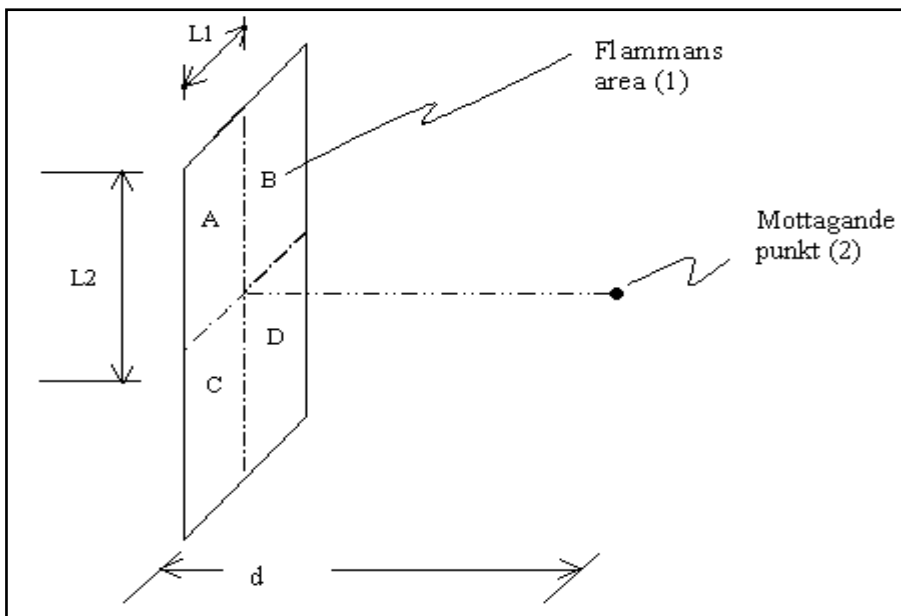
Flamtemperatur

Flamtemperaturen T_f utgör medeltemperaturen i flamman, temperaturen i själva flampetsen (T_t) är ca 540°C (813 K) och flammans maximala temperatur (T_b) antas för samtliga studerade ämnen vara 1000°C (1273 K). Den maximala flamtemperaturen är bland annat beroende av vilket material som brinner och storleken på branden. Utifrån dessa antaganden kan medeltemperaturen i flamman bestämmas. Medeltemperaturen används i beräkningen av strålningen från flamman och erhålls enligt:

$$T_f = \left(\frac{T_b^4 + T_t^4}{2} \right)^{1/4} = \left(\frac{1273^4 + 813^4}{2} \right)^{1/4} = 1112K$$

Synfaktor

Synfaktorn F anger hur stor andel av den emitterade strålningen från flamman (1) som når den mottagande punkten eller ytan (2), se Figur 18. Vid beräkningen av synfaktorn antas att flamman är rektangulär så att flammans diameter är lika stor i toppen som i botten. Detta är ett konservativt antagande då flamman i själva verket normalt är betydligt smalare i toppen än i basen.



Figur 18. Principiell modell för beräkning av synfaktor.

Synfaktorn $F_{1,2}$ mellan flaman och den mottagande punkten är en geometrisk konstruktion som beräknas enligt

$$F_{1,2} = F_{A1,2} + F_{B1,2} + F_{C1,2} + F_{D1,2}$$

där $F_{A1,2}$ beräknas enligt följande:

$$F_{A1,2} = \int_0^{A_1} \frac{\cos \Theta_1 \cos \Theta_2}{\pi d^2} \cdot dA_1$$

där Θ_1 och Θ_2 är infallande vinkel (i aktuellt fall 0), och $F_{B1,2}$, $F_{C1,2}$ och $F_{D1,2}$ beräknas på samma sätt för dess mått där:

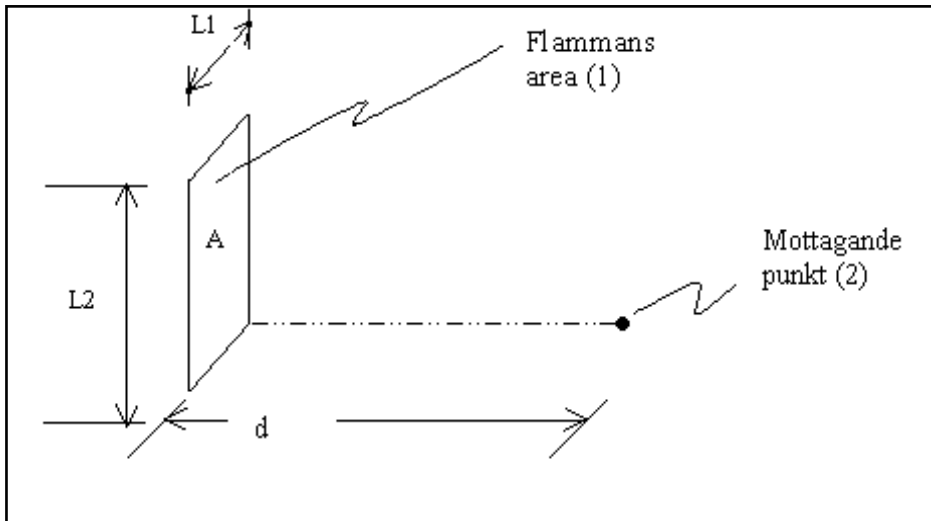
$$A_1 = L_1 \cdot L_2 \text{ enligt Figur 19.}$$

För beräkning av respektive ytas synfaktor används följande ekvation

$$F_{A1,2} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right)$$

där

$$X = \frac{L_1}{d} \quad \text{och} \quad Y = \frac{L_2}{d} \quad \text{enligt Figur 19.}$$



Figur 19. Synfaktor för yta A.

I det fallet då ytorna A, B, C och D är lika stora betyder det att det är den mest kritiska punkten på avståndet d från branden som studeras, vilket är det som eftersöks vid beräkningar av konsekvensavstånd.

Infallande strålning – vinkelrätt från flammen

Den från branden infallande strålningen som når omgivningen varierar med flammans temperatur, synfaktorn och den brinnande massans emissivitet. Emissiviteten, det vill säga materialets förmåga att avge värmeenergi, är beroende av materialets temperatur och egenskaper, särskilt vid ytan. Exempelvis kan sägas att en blankpolerad yta har mycket lägre emissivitet än en mörk skrovlig yta. Den infallande strålningen kan beräknas genom:

$$q_r'' = \varepsilon \sigma F T_f^4$$

där

$$q_r'' = \text{Infallande strålning (kW/m}^2\text{)}$$

ε = Emissionstal

σ = Stefan-Boltzmanns konstant (= 5.67×10^{-11} kW/m²K⁴)

F = Synfaktor

T_f = Flammans medeltemperatur

Emissionstalet för en flamma varierar med materialets egenskaper och tjockleken på flammen, vilket tas hänsyn till i beräkningarna.

BLEVE

I denna bilaga beskrivs metod, underlag och resultat för de beräkningar som gjorts avseende konsekvenser för det identifierade olycksscenariot vid hantering och transport med LNG som leder till BLEVE.

Strålning BLEVE (LNG)

Strålning från en BLEVE beräknas enligt Zhang-Liang¹⁶ och redovisas i Tabell 16. Antagen mängd (M) LNG är 12 000 kg vilket motsvarar en fyllnadsgrad om 60%. Resterande 40% antas förbrukas av jetflamman som värmer upp tanken¹⁷.

Eldklotets diameter (D_{max}), höjd (H) och varaktighet (t_B):

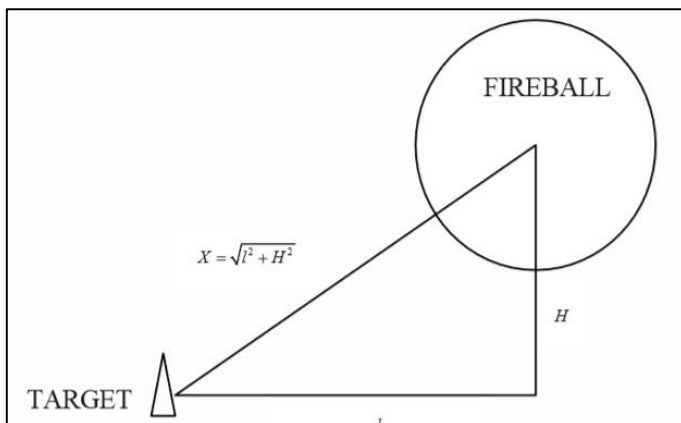
$$D_{max} = 6,48M^{0,325} = 137,2 \text{ m}$$

$$H = 4,35M^{0,333} = 99,3 \text{ m}$$

$$t_B = 0,825M^{0,260} = 9,8 \text{ s}$$

Synfaktorn beräknas enligt:

$$U_F = \left(\frac{D_{max}}{2X} \right)^2 = 0,0257$$



Figur 21. Avstånd (X) från eldklot till målpunkt

Avgiven strålning E (kW/m²) från eldklotet där ΔH är värmevärde (50 000 kJ/kg) och F_r är strålningskoefficient (0,0002336):

$$E = \frac{\Delta H M F_r}{\pi D_{max}^2 t_B} = \frac{50 \cdot 10^6 \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 233,6 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 137,2^2 \cdot 9,8} = 242,01 \text{ kW/m}^2$$

Strålning q (kW/m²) som når det skyddsvärda:

$$\tau = 2,02 (P_w X_s)^{-0,09}$$

$$q = E \cdot U_F \cdot \tau$$

Där τ är luftens transmissivitet, P_w är vattnets partialtryck (2,388 kPa vid 20° C) och (m) är avstånd från eldklot till målpunkt.

Tabell 16. Avstånd som ger sökt strålningsnivå

Avstånd, l	Avstånd, X _s	Strålning, q
108 m	78,1 m	37,5 kW/m ²
202 m	156,5 m	15 kW/m ²

Tryckvåg, BLEVE (LNG)

Tryckvåg från en BLEVE beräknas enligt metod från Räddningsverket¹⁸.

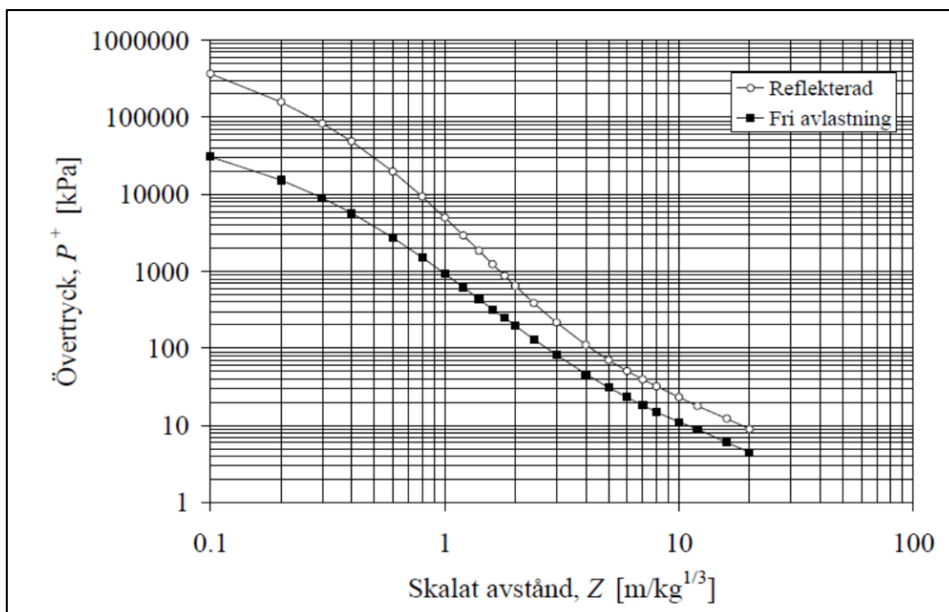
Massa LNG räknas om till ekvivalent mängd TNT genom en delning med faktor 2,347 enligt rapport från Spanien¹⁷.

$$\text{Ekvivalent mängd TNT} = \frac{12\,000}{2,347} = 5\,113 \text{ kg}$$

För R , avstånd från explosionscentrum (m), och M , ekvivalent mängd TNT (kg), kan det skalade avståndet, Z , beräknas:

$$Z = \frac{R}{M^{1/3}}, \text{ exempelvis } 112 \text{ meter från LNG-tanken blir } Z = \frac{112}{5113^{1/3}} = 6,5 \text{ m/kg}^{1/3}$$

I Figur 22 avläses övertryck (kPa, fri avlastning) för varje aktuellt avstånd. För ovanstående Z blir övertrycket P^+ 20 kPa.



Figur 22. Övertryck som funktion av det skalade avståndet Z (SRV, 2007)

BILAGA D- PÅSEGLINGSANALYSER

Denna bilaga behandlar påseglingsrisker utmed kajer inom Energihamnen. Denna bilaga redovisar också risk för påsegling av Lidingöbron till följd av de föreslagna verksamhetsförändringarna inom Energihamnen. Analysen utgör ett underlag till den övergripande riskbedömning som i sin tur är en del av den miljökonsekvensbeskrivning som upprättas inför detaljplanens granskningsskede. Den översiktliga analysen avseende påsegling utmed alla kajerna i Energihamnen som tagits fram specifikt för detaljplaneprocessen redovisas i denna bilaga. En mer avancerad påseglingsanalys avseende Lidingöbron har utförts av RISE³⁷ som underlag för Heidelberg Materials miljötillståndsansökan för planerad verksamhet i Energihamnen. En detaljerad påseglingsanalys har också utförts av RISE³⁸ avseende påsegling av det planerade mellanlagret för koldioxid på kaj 503 kaj, inom ramen för miljötillståndsansökan för Stockholm Exergis planerade bio-CCS-anläggning. Även dessa beskrivs kortfattat i denna bilaga i efterföljande kapitel, i de avseenden som är relevanta ur ett detaljplaneperspektiv.

Påsegling av kajer inom Energihamnen

I följande avsnitt beskrivs den översiktliga analys som genomförts avseende risken för att fartyg i hamnbassängen seglar på kajerna inom planområdet.

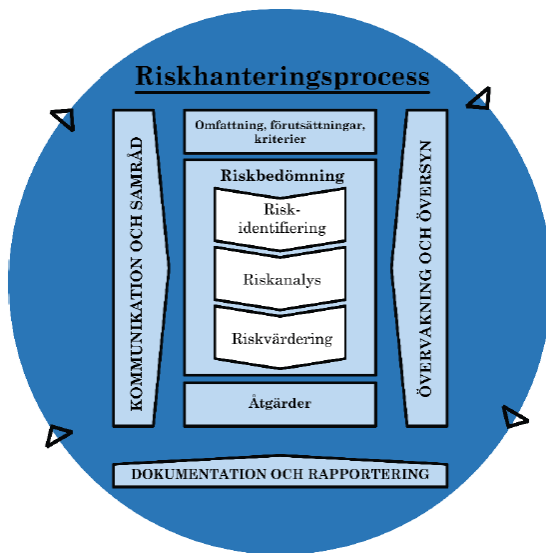
Syfte och mål

Riskbedömningens syfte är att verka som beslutsunderlag för Energihamnens detaljplan, om den utökade verksamheten kan anses acceptabel ur risksynpunkt. Målet är att bedöma ifall sjötrafiken i hamnområdet utgör risker som kan anses acceptabla med avseende på människors liv eller om detaljplanen kräver riskreducerande åtgärder.

Denna riskanalys redogör endast för risker kopplade till påseglingsolyckor som påverkar människors hälsa och säkerhet inom planområdet. De sjöfartsolyckor som beaktas i denna analys är plötsligt inträffade händelser. Händelser med uppsåt beaktas inte inom ramen för denna analys. Långvariga hälsoeffekter eller annan miljöpåverkan till följd av olyckorna beaktas inte.

Metod

Denna påseglingsanalys genomförs som en riskanalys utifrån riskhanteringsprocessen som den beskrivs i ISO 31 000³⁹, se Figur 23. Dispositionen följer delmomenten riskidentifiering och riskanalys.



Figur 23. Riskhanteringsprocessen anpassad utifrån ISO 31 000.
Denna bilaga hanterar de delar som benämns riskidentifiering och riskanalys.

Områdesbeskrivning

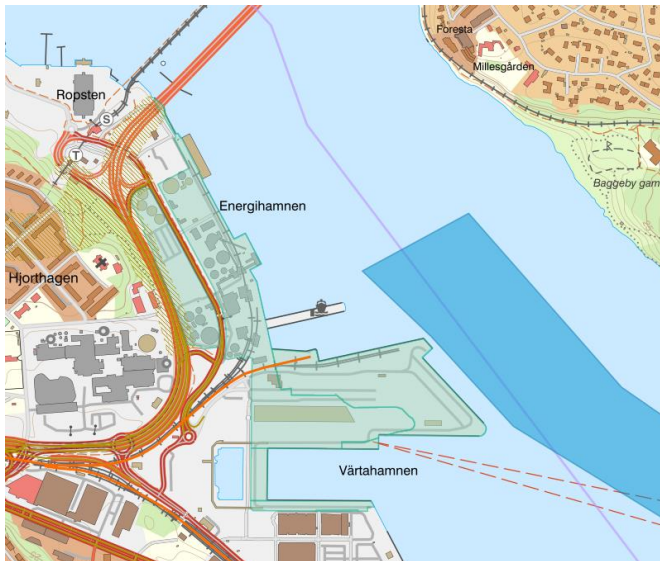
I detta kapitel beskrivs kortfattat både omgivningen, verksamheterna i Energihamnen samt den framtida fartygstrafiken.

Omgivningen

Energihamnen är belägen i stadsdelen Hjorthagen, söder om Lidingöbron/fäste/Ropstenstrafikplats och norr om Värtapirens färjeterminal. Planområdet ligger inom Norra Djurgårdsstadens stadsutvecklingsområde. Avgränsningarna i norr och söder utgörs av Ropsten respektive Valparaiso. Fjärden lilla Värtan avgränsar områdets östra sida och Lidingövägen dess västra. Hela planområdet är 16 hektar varav ca 5 hektars utgörs av vattenområde⁴⁰.

Energihamnen utgör ett riksintresse som allmän hamn⁴¹. Farleden till hamnen har beteckningen 541 Stockholm (sträckan Kanholmsfjärden–Värtahamnen), är av riksintresse för sjöfarten och har farledsklass 1, vilket beskrivs som prioriterad sjöväg till allmänna hamnar av betydelse för fartygstrafiken.

Inom Lilla Värtan, som sträcker sig från Lidingöbroarna till Högudd på Lidingö, gäller fartförbud på hastigheter över 8 knop för skepp⁴² samt lotsplikt⁴³ på fartyg längre än 70 meter. Den sjötrafik som passerar vidare under Lidingöbron är endast mindre fartyg och fritidsbåtar och bedöms inte vara relevanta att beakta avseende påseglingsolyckor⁴⁴.



Figur 24. Kartbild över området med riksintressen markerade. Blått anger riksintresse farled, grönt anger riksintresset hamn och brunstreckat anger riksintresset för Östlig förbindelse. Bildkälla: LstAB Länskarta Stockholms län.

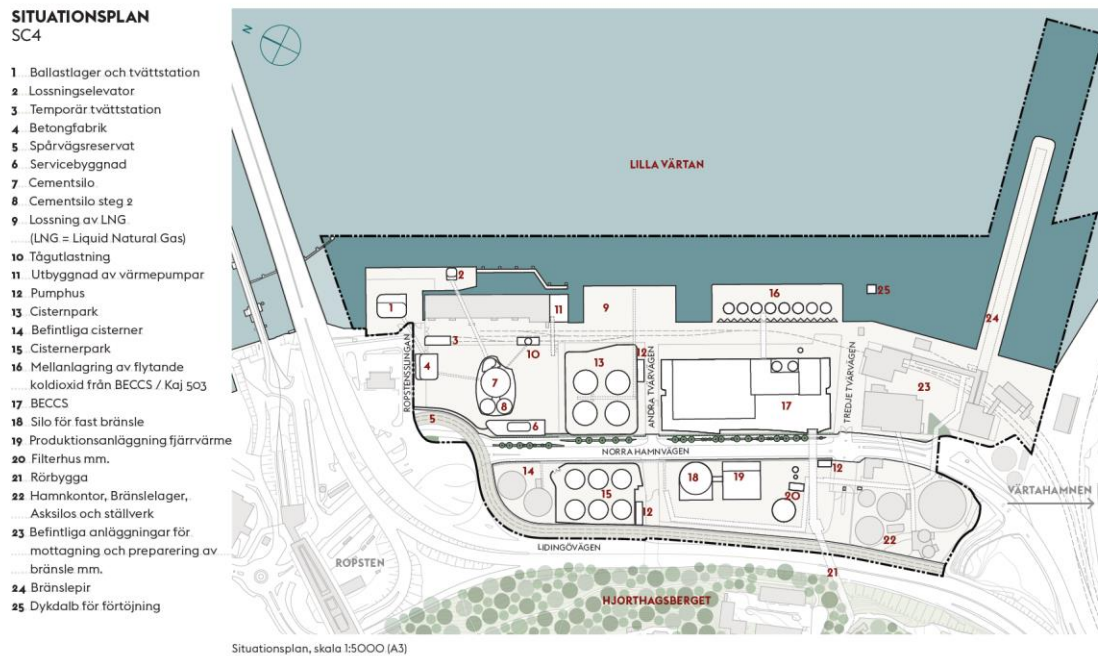
Energihamnens verksamhet

Verksamheten i Energihamnen utgörs idag av Stockholm Exergi i anslutning till Värtaverket. Stockholm Exergi har som mål att successivt konvertera Värtaverkets produktionsanläggning till biobränsle samt skapa möjligheter för en ny produktionsanläggning för fjärrvärme. Utvecklingen medför krav på Energihamnen för att anpassas för mottagning, hantering, lagring och distribution av biobränslen.

I Energihamnen bedriver även Heidelberg Materials Betong verksamhet. Utöver utvecklingen för Stockholm Exergis verksamhet innefattar planen även att Heidelberg Materials Cements nuvarande verksamhet i Lövholmen flyttas till Energihamnen, och i samband med detta samlokaliseras Heidelberg Materials Betongs verksamhet till Heidelberg Materials Cements verksamhet, samt att Stockholm Hamnar AB upplåter en yta för en bunkerbränsledepå. Förändringarna medför sammantaget att behovet av sjötransporter till Energihamnen ökar.

Inom planområdet finns sex kajer för fartygstrafik, kaj 501–506, se Figur 25. Därutöver finns också kaj 500 där värmepumpsanläggning Ropsten 3 ligger placerad.

De befintliga kajerna nyttjas i dagsläget för transporter till och från Stockholm Exergi och Heidelberg Materials Betong. I planförslaget kommer kajerna även användas för transporter som kopplar till Heidelberg Materials och Stockholms Hamnars verksamhet.



Figur 25. Planområde med ett av de föreslagna alternativen till markanvändning⁴⁵. Denna illustration är baserad på en tidigare version av situationsplanen, men det bedöms inte ha någon betydelse för analysen.

Lidingöbron ligger närmast kajplats 500 som i dagsläget fungerar som en småbåtskaj för bland annat taxibåtar⁴⁶. Denna kajplats kommer i planförslaget att byggas om för att kunna ta emot stora och små fartyg med last till Heidelberg Materials verksamhetsområden.

Kajplats 501 kommer i planförslaget byggas ut och användas för lastning/lossning till den nya bränsledepån samt för LNG-lastning till Seagas. Kajplats 502 och 503 ligger på ett avstånd på över 220 meter ifrån dess närmsta hörn till Lidingöbrons södra brofäste. Kajerna 504-506 ligger på ökande avstånd om ca 300-600 meter från Lidingöbron. Samtliga dessa kommer i planförslaget att ha en liknande användning som idag, men med något ökande trafik till följd av förändringar i verksamheterna.

Riskidentifiering

De händelser förknippade med fartygstrafiken som bedöms kunna påverka beaktade skyddsvärden (människors hälsa och säkerhet) är främst påseglingar/fartygskollisioner. Vid en påsegling är det i huvudsak den mekaniska påverkan (kraft) som kan leda till skador inom det drabbade området. Några faktorer som identifierats som relevanta för dessa händelser är förändringar i fartygstrafiken och ett förändrat utnyttjande av de olika aktuella kajerna, vilket diskuteras vidare i kommande kapitel.

Riskanalys

Risk definieras i denna analys som en kombination av en händelses sannolikhet och dess konsekvenser. I följande avsnitt görs uppskattningar av sannolikheter (frekvenser) för påseglingsolyckor utifrån generell olycksstatistik, diskussioner med expertis, erfarenheter från andra projekt och etablerad praxis för olika felhändelser.

Frekvensuppskattningar

Följande avsnitt syftar till att ge en uppskattning av frekvensen för påsegling av kajerna utmed Energihamnen utifrån relevant olycksstatistik. Ett rimligt händelseförlopp som antas kunna leda till en påsegling kan förenklat beskrivas enligt följande.

- 1. Ett fartyg anlöper någon av kajplatserna.
- 2. Fartyget hamnar ur kurs. Fartygen delas in i två storleksklasser: "stort" och "litet".
- 3. Den felaktiga kursen är riktad mot Energihamnens kajer
- 4. Fartyget kan varken stoppas i tid eller ändra sin kurs
- 5. Påsegling av kaj.

Händelseförloppet som antas kunna leda till en påsegling av någon av kajerna inom Energihamnen kan förenklat illustreras med följande figur, och inkluderar samtliga fartyg som anlöper kajplatserna 500-506.



Figur 26. En modell av studerat händelseförlopp för ett anlöp som leder till påsegling av kajerna i Energihamnen.

1 – Fartygsanlöp och storlekar

En beskrivning av fartygstrafiken i dagsläget samt prognoser för 2040 redovisas i Tabell 17. Data är hämtat från verksamhetsutövarnas samlade prognoser som underlag till planarbetet⁶.

Tabell 17. Uppskattningar⁶ av fartygsanlöp per år till de olika kajplatserna idag (2018) och 2040.

Kajplats	Idag		2040		Kommentar
	Stort fartyg	Litet fartyg	Stort fartyg	Litet fartyg	
500	0	220	290	210	Heidelberg Materials cementfartyg (Typfartyg 2) antas vara "stort" & ballastfartyg (Typfartyg 1) "litet"

501	0	0	0	1460	bunkerpräm (litet) ut från bränsledepå, samt LNG-bunkring med Seagas (litet)
502-506	275	0	304	0	Okänd fördelning mellan stort/litet (antar konservativt 100 % stort).

2 – Fartyg ur kurs

Tre huvudtyper av felkällor som kan leda till att ett fartyg kommer ur kurs är:⁶.

- Mänskliga fel – Misstag eller navigationsfel.
Mänskliga fel är en vanlig orsak till att olyckor uppstår inom sjöfarten⁴⁷. Ett vanligt⁴⁸ använt värde är $3 \cdot 10^{-5}$ per fartyg och nautisk mil (nm).
- Tekniska fel – Blackout i maskin (bortfall av framdrivning)
Teknisk fel i form av blackouts och förlust av framdrivning (eller back) har tidigare uppskattats till $2,5 \cdot 10^{-4}$ per timme⁴⁹.
- Tekniska fel – Roderfel (ex. roder låser sig i ett visst läge)
Tekniskt fel som påverkar roderutslag antas inträffa med en frekvens på $1 \cdot 10^{-5}$ per timme⁵⁰.

För att uppskatta hur ofta som dessa fel kan leda till att ett fartyg hamnar ur kurs på den aktuella platsen, behöver en kritisk sträcka (eller en kritisk tid) uppskattas – inom vilken ett fel kan leda till en påsegling. Samtliga typer av fel bedöms mest kritiska vid den manövrering som fartygen gör för att komma till rätt kajläge i önskad riktning. Vid en black-out är finns det särskilt ogynnsamma lägen då fartyget har en peka-på-kurs mot något objekt som det kan segla på. Risk för blackout bedöms samtidigt vara störst under manövrering då belastning på maskineri och generatorer varierar mycket. Vid roderfel är det mest ogynnsamma läget om den kurs som rodet felaktigt låses i pekar mot kajerna. Oavsett om fartyget går in med fören åt norr, eller vänder och lägger till med fören åt söder, antas förenklat den kritiska sträckan för manövrering vara omkring 400 meter.

3 – Kurs mot Energihamnens kajer

Vidare antas det förenklat att det är 50% sannolikhet att fartygets felaktiga kurs riktas mot Energihamnen.

4 – Misslyckade motmanövrar

När ett fartyg hamnar ur kurs kan det beroende på fartygets position dröja ett antal minuter innan påseglingen sker. I de fall mänskligt felhandlande är orsaken, bedöms det i vissa fall kunna finnas möjligheter till upptäckt av situationen och att besättningen vidtar åtgärder. Vid roderfel kan sådana åtgärder exempelvis vara att slå back eller stopp i maskin. Vid blackout kan sådana möjligheter vara begränsade. Sammantaget antas att det i 50 % av fallen inte går att vidta någon effektiv motmanöver som förhindrar en påsegling.

4 – Påsegling av brospann eller bropelare

Uppskattad frekvens för påsegling av kajkant redovisas i Tabell 18:

Tabell 18. Resultat av frekvensuppskattningar för påseglingsscenarier.

Scenario	2018		2040	
	Frekvens	Återkomsttid	Frekvens	Återkomsttid
Påsegling av kaj (litet)	1,03E-03	1 000 år	7,89E-03	100 år
Påsegling av kaj (stort)	1,29E-03	800 år	2,43E-03	400 år

Konsekvensuppskattningar

Fartygets hastighet och massa avgör hur mycket rörelseenergi som en kollision innebär. I följande avsnitt diskuteras konsekvenser avseende kajpåsegling.

Med avseende på människors liv och hälsa kan konsekvenserna antas vara begränsade till olycksområdet där påseglingen skett och en mekanisk skada uppstått. Personer utanför olycksområdet anses inte vara i fara för skada.

Avseende konsekvenserna av en påsegling mot kajkant inom Energihamnen kan vissa slutsatser dras utifrån en tidigare genomförd utredning⁴⁹ avseende påseglingsrisker vid Lövholmen i Stockholm. Där har kvantitativa konsekvensberäkningar genomförts med fartyget Jehander 1 som representativt fartyg. Resultaten visar att vid sämsta tänkbara förutsättningar och en hastighet på upp till 6 knop kan fartyget ge en inträngning i kajen om upp till 0,7 meter. Fartyget är ett av de fartyg som i denna analys antagits trafikera Energihamnen 2040 i kategorin ”litet” fartyg. Avseende ”stort” fartyg har det genomförts kvantitativa konsekvensberäkningar för Södra Värtan⁴⁴ som delvis är relevanta även för Energihamnen. För de största fartyg som trafikerar Värtahamnen antogs där vid sämsta förutsättningar (högsta tänkbara hastighet om 8 knop och 90 graders infallsvinkel) en inträngning om upp till ca 11 meter in i kajen. De aktuella hastigheterna vid alla relevanta fartygsrörelser i Energihamnen är dock betydligt lägre än 8 knop. Följande konsekvensområden bedöms därmed vara att betrakta som mycket konservativa:

- Påsegling litet fartyg: konsekvensområde mindre än 1 meter från kajkant
- Påsegling stort fartyg: konsekvensområde upp till cirka 10 meter från kajkant

Riskvärdering och åtgärder

Med avseende på människors hälsa och säkerhet utmed kajerna visar riskuppskattningen i denna påseglingsanalys att risknivån i både nuläget och år 2040 skulle betraktas som oacceptabelt hög⁵¹ inom ungefär 10 meter från kajkanterna utmed hela Energihamnen. Detta om sådana värderingskriterier som brukar tillämpas för platser där allmänheten vistas stadigvarande, skulle tillämpas på hamnområdet. Eftersom hamnområdet inte utgör allmän

plats bedöms resultaten inte vara helt tillämplbara, men ändå relevanta att dra vissa slutsatser utifrån. En tolkning som bedöms vara rimlig utifrån resultaten är att stadigvarande vistelse inom detta område (0-10 meter från kajkant) ska undvikas.

Påsegling av Lidingöbron

En påseglingsanalys³⁷ avseende Lidingöbron utförts av RISE som underlag för Heidelberg Materials miljötillståndsansökan för planerad verksamhet i Energihamnen. Analysen fokuserar på fartygsrörelser till den planerade verksamheten och syftar till att beräkna påseglingsrisken mot Lidingöbron från fartygen som ska anlöpa Heidelberg Materials nya kajanläggning.

Påseglingsrisken kvantifieras av RISE genom beräkningar av sannolikheten för olika nivåer av kinetisk energi vid påsegling av bron. De beräknade påseglingsriskerna i den aktuella studien värderas mot Trafikverkets föreslagna acceptanskriterium på maximalt 10^{-4} incidenter/år. Metoden som använts inkluderar realtidssimuleringar med deltagande av lotsar från Sjöfartsverket, där fartygen har ankommit/avgått säkert till kaj, och från dessa har närmare 30 000 "fast-time-simuleringar" körts för att bestämma risken för påsegling.

Resultaten visar att sannolikheten för bropåsegling hamnar i intervallet $4,83 \cdot 10^{-5}$ till $1,87 \cdot 10^{-4}$. Det innebär att sannolikheten hamnar precis över acceptansnivån ($1,00 \cdot 10^{-4}$ per år) för vissa av de studerade trafikeringalternativen, medan några av alternativen innebär att kravnivån uppfylls. Påseglingsriskerna mot Lidingöbron från verksamheten kan därmed uppfylla Trafikverkets acceptanskriterium, givet en anpassning av verksamheten och begränsningar avseende trafikeringen av den närmaste delen av kajen. Mer specifikt handlar det om att en studerad utformning av verksamheten i RISE analys inkluderade en kajplats för angöring av ballastfartyg på kortsidan av den utbyggda kajen som vetter norrut, direkt mot bron. RISE analys visade dock att trafikering till den norra kortsidan innebär att Trafikverkets acceptanskriterium överskrids. Den föreslagna utformningen med samtlig trafikering till kaj 500 (istället för att ballastfartyg angör kortsidan) kommer enligt RISE analys att innebära att Trafikverkets acceptanskriterium kan uppfyllas. Denna typ av anpassningar eller eventuella trafikeringsbegränsningar bedöms vara lämpliga att hantera inom ramen för miljötillståndsansökan för verksamheten, och bedöms därmed inte vara lämpliga att reglera specifikt i detaljplaneprocessen. Några ytterligare åtgärder som är lämpliga att hantera inom detaljplaneprocessen, med avseende på bropåsegling har inte identifierats.

Påsegling av kaj 503

En påseglingsanalys³⁸ avseende kaj 503 har utförts av RISE som underlag för Stockholm Exergis miljötillståndsansökan för planerad bio-CCS-anläggning i Energihamnen. Analysen inkluderade alla framtida fartygsrörelser i hamnbassängen som kunde medföra en betydande risk för påsegling av kaj 503, och med avseende på huruvida dessa kunde påverka mellanlagringstankarna för koldioxid. Analysen inkluderade kvantitativa

beräkningar av påseglingssannolikheter och energinivåer. En bedömning av konstruktionens robusthet utifrån föreslagen utformning gjordes också.

Resultaten visade att det valda huvudalternativet för konstruktion av kaj 503 enligt ansökningshandlingarna i miljötillståndet, kunde utformas så att fullgott skydd mot tankskada orsakad av fartygpåsegling uppnås. Den skyddsåtgärd som formulerades utifrån detta i miljötillståndprocessen blev att kaj 503 dimensioneras enligt Eurokod SS-EN 1991-1-7 för att kraften vid påsegling av ett dimensionerande fartyg inte ger upphov till betydande deformation eller påverkan på koldioxidtankarna. Tankarna för mellanlagring av koldioxid är också placerade så att ett tillräckligt skyddsavstånd till kaj uppnås. Avståndet överstiger 10 meter. Några åtgärder som är lämpliga att hantera inom detaljplaneprocessen, med avseende på påsegling av kaj 503 har inte identifierats.

BILAGA E- INDIVIDRISK TRANSPORTER MED FARLIGT GODS

För att studera påverkan på människa har individriskberäkningar genomförts för Lidingövägen förbi Energihamnen samt Norra Hamnvägen genom Energihamnen. I denna bilaga beskrivs inledande metod och underlag (indata och antaganden) för de beräkningar som gjorts på Lidingövägen och Norra Hamnvägen. För beräkning av frekvenser för möjliga olycksscenarier, se Bilaga B-Olyckor vid transport av farligt gods. som kan påverka människor, används händelseträdsmetodik. Resultaten redovisas i rapportdelen.

Indata och antaganden

För beräkningar av hur ofta olyckor med farligt gods förväntas inträffa används den metod som presenteras i *Farligt gods – riskbedömning vid transport*⁵². För de aktuella vägarna presenteras viktiga indata till beräkningarna som är hämtade från denna rapport.

Viktiga indata till beräkningar Norra Hamnvägen utöver de som redovisats i rapporten, presenteras i Tabell 19 nedan.

Tabell 19. Indata till frekvensberäkningar Lidingövägen och Norra Hamnvägen

Variabel	Lidingövägen	Norra Hamnvägen
Hastighet [km/h]	70 km/h	50 km/h
Bebyggelsemiljö ⁵²	Tätort	Tätort
Gatu-/vägtyp ⁵²	Trafikled	Gata/väg
Olyckskvot [-] ⁵²	0,8	1,2
Andel singelolyckor [-] ⁵²	0,25	0,15
Index för farligt gods olycka [-] ⁵²	0,11	0,03
ADT 2040	45 000	8000

Den mängd farligt gods som transporteras på Lidingövägen och Norra Hamnvägen har tillhandahållits och uppskattats av hamnens verksamhetsutövare⁵³, de verksamheter på Lidingö som hanterar farligt gods, samt utifrån den mängd farligt gods som tidigare uppskattats transporteras till Värtahamnen⁵⁴ se Tabell 20. Av den mängd farligt gods som transporteras till och från Värtahamnen antas att 50 % transporteras via Lidingövägen/Norra Hamnvägen.

Resterande 50 % antas nyttja Norra Hamnpåfarten eller ankomma/lämna Värtahamnen på Norra Hamnvägen söderifrån.

Tabell 20. Uppskattat antal transporter av farligt gods på Lidingövägen och Norra Hamnvägen förbi/genom planområdet år 2040.

ADR-S-klass	Lidingövägen [st/år] 2040	Norra Hamnvägen [st/år] 2040
1.4	65	65
2.1 (LNG)	2580	2190
2.2	116	116
2.3	0	0
3	4689	2051
4	64	64
5	2	2
6	2	2
8	826	810
9	246	246
Totalt	8589	5637

Frekvensberäkningar

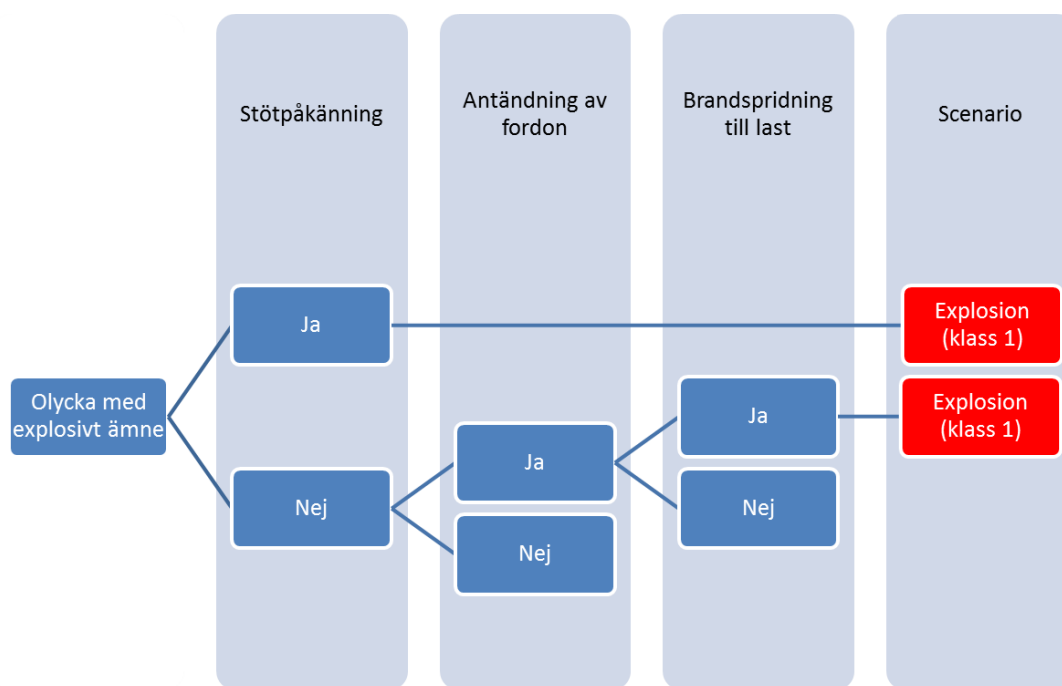
För fortsatt beräkning av frekvenser för olika möjliga olycksscenarioer som kan påverka människor, används händelseträdsmetodik. I avsnitten nedan presenteras händelseträd för de olika klasserna av farligt gods som förekommer.

Explosiva ämnen (ADR-S klass 1)

För att en olycka som involverar explosiva ämnen ska leda till en explosion krävs att det transporterade godset påverkas (genom t.ex. en kraftig stöt eller brand).

Ett jämförelsevärde att förhålla sig till gällande stötpåkänning angavs av HMSO⁵⁵ baserat på brittiska data från 1950–1990. Där var sannolikheten för en stötinitierad detonation till följd av en kollision mindre än 0,2 %. Med hänsyn till utvecklingen inom trafiksäkerhet och fordonskonstruktion som skett sedan det statistiska underlaget, bedöms det vara konservativt att använda en halverad sannolikhet på 0,1 % för att en kollision leder till en stötinitierad detonation.

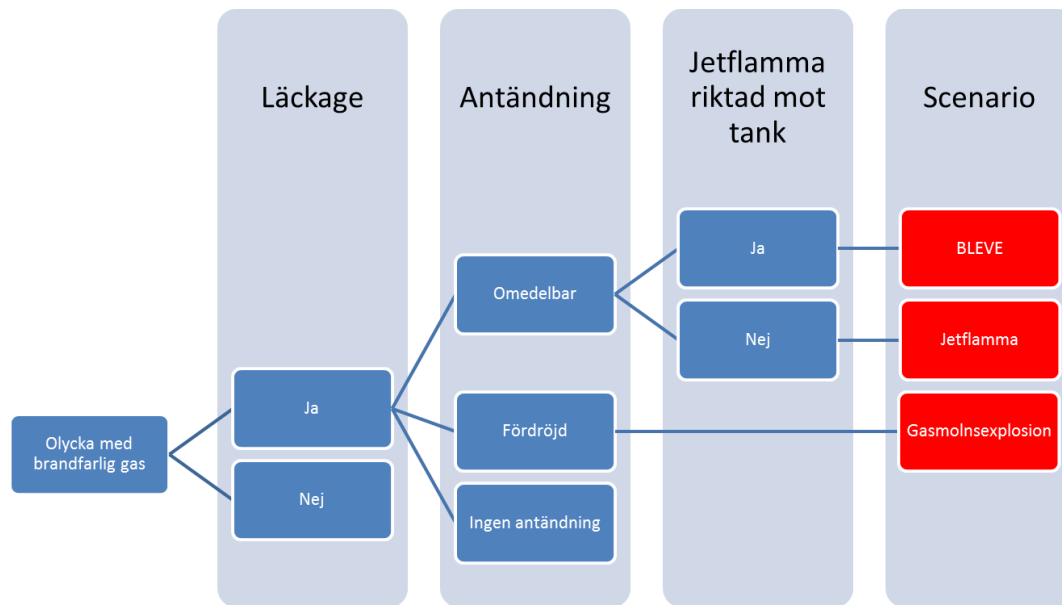
Svensk statistik visar på att sannolikheten för att ett fordon inblandat i trafikolycka ska börja brinna är ca 0,4 %⁵⁶. Vidare antas (som i Göteborgs fördjupade översiktsplan¹ att sannolikheten för att en brand sprider sig och leder till en explosion är 50 %.



Figur 27. Händelseträd för olyckor med explosivt ämne.

Brandfarliga gaser (ADR-S klass 2.1)

De händelseförlopp som kan uppkomma vid olyckor med brandfarlig gas har identifierats som: jetflamma, gasmolnsexplosion och BLEVE. Ett möjligt förlopp illustreras av händelseträd i Figur 28.



Figur 28. Händelseträd för olyckor med brandfarlig gas.

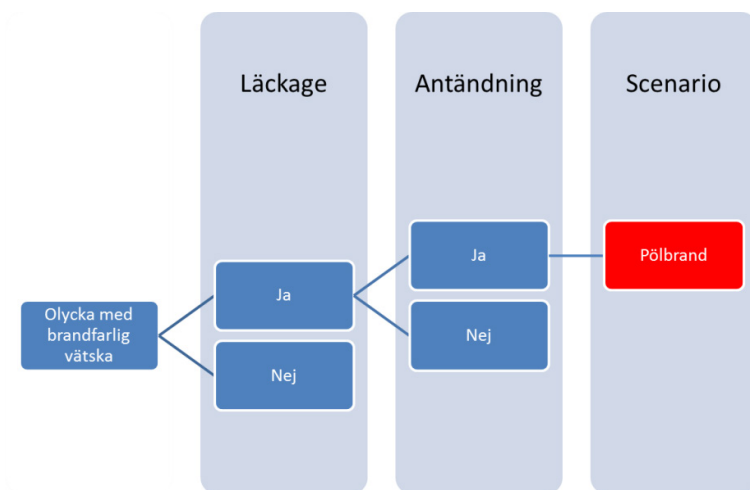
Sannolikheten för läckage från gastanken antas vara 1/30 av sannolikheten för läckage från en tank med vätska⁵². Sannolikhetsfördelningen för de olika typerna av antändning antas är anpassade utifrån *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*⁵⁷. Följande sannolikheter är resultatet av en sammanvägning av de två uppsättningar med sannolikheter som presenteras i den rapporten för "Litet utsläpp" respektive "Stort utsläpp":

- Omedelbar antändning: 15 %
- Fördröjd antändning: 65 %
- Ingen antändning: 20 %

Vidare antas grovt att en av hundra (1 %) jetflammar är så riktad att den genom kraftig uppvärmning orsakar en BLEVE i en närliggande tank (eller om jetflamman reflekteras, en BLEVE som involverar den aktuella tanken själv).

Brandfarliga vätskor (ADR-S klass 3)

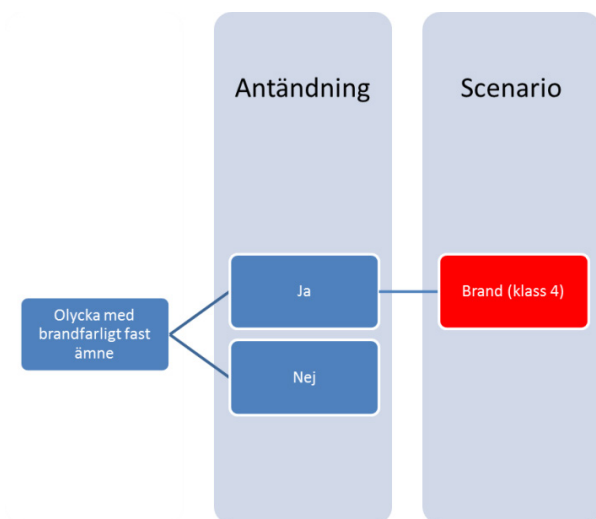
Ett identifierat olycksscenario utgörs enligt tidigare av ett utsläpp med brandfarlig vätska som bildar en pöl och som vid en antändning orsakar en pölbrand. Sannolikheten för att ett läckage uppstår, givet att en olycka med en tankbil inträffar, antas vara enligt *Index för farligt gods olycka* (se Tabell 19 och Figur 29). Givet att ett sådant läckage har inträffat antas sannolikheten för en antändning av pölen vara en trettiondel (3,3 %)⁵⁵. Händelseträdet i Figur 29 visar hur händelseförloppet kan utvecklas.



Figur 29. Händelseträd för olyckor med brandfarlig vätska.

Brandfarliga fasta ämnen (ADR-S klass 4)

Olyckor med brandfarliga fasta ämnen kan påverka omgivningen om det sker en antändning, vilket kan resultera i en kraftig brand även om inget läckage uppstått. Sannolikheten för antändning, givet att en olycka skett antas likt tidigare utifrån svensk statistik vara 0,4 % ⁵⁶. Förenklat antas alla sådana bränder leda till att de transporterade brandfarliga fasta ämnena deltar i branden.



Figur 30. Händelseträd för olycka med brandfarligt fast ämne.

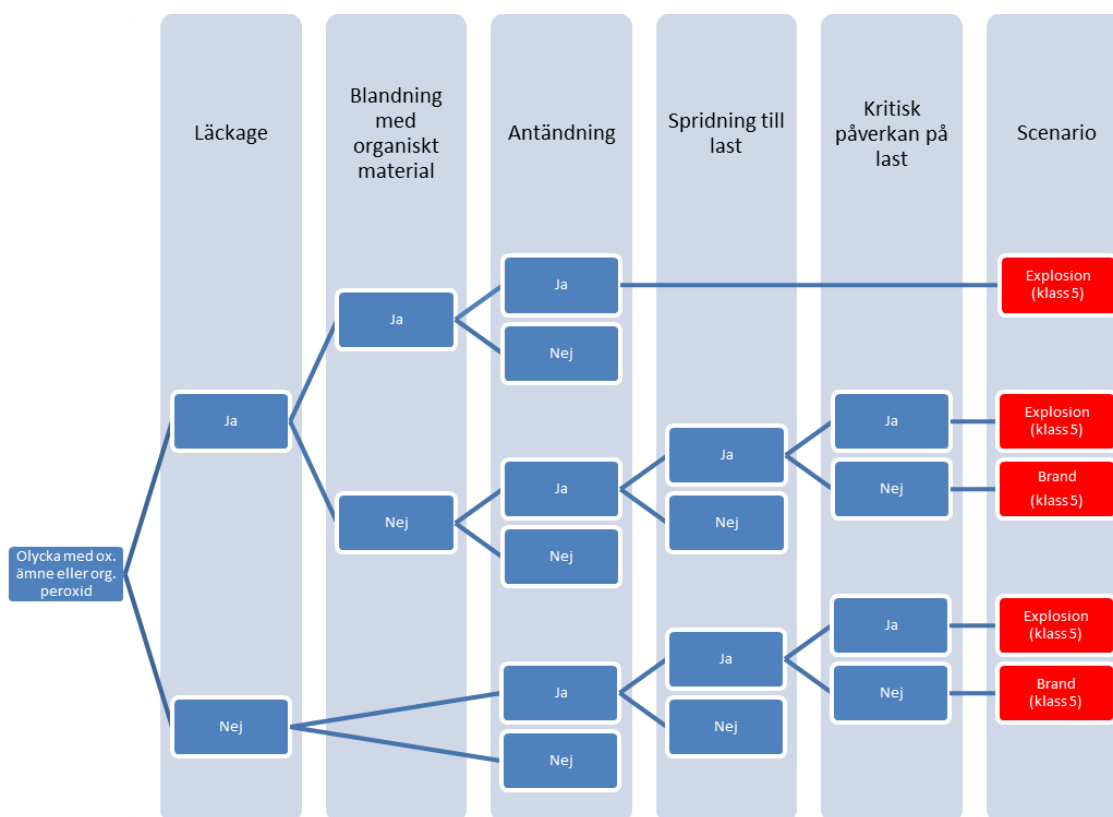
Oxiderande ämnen och organiska peroxider (ADR-S klass 5)

Olyckor med oxiderande ämnen och organiska peroxider kan orsaka kraftiga bränder och under särskilda förhållanden leda till explosioner. En antändning och explosion kan ske i samband med en olycka där det utsläppta oxiderande ämnet (eller den organiska peroxiden) först blandas med ett organiskt flytande ämne. Blandningen som bildas utgör då ett kraftfullt sprängämne. Vidare kan en explosion uppkomma efter kraftig brandpåverkan även om någon blandning med organiskt material inte skett.

Ammoniumnitrat är vid transport uppvärmt till ca 135°C, då ämnet är flytande med relativt hög densitet (27 m³ väger ca 40 ton).

Sannolikheten för läckage antas vara samma som för gastankar enligt ovan (1/30 av sannolikheten för läckage från en tank med vätska⁵²). Sannolikheten för att det i samband med utsläppet av ADR-S klass 5 också förekommer ett utsläpp av exempelvis ADR-S klass 3 (flytande organiskt material), och att blandning mellan dem kan ske uppskattas till 50 %⁵⁸. Sannolikheten för en påföljande antändning av blandningen uppskattas vara jämförbar med sannolikheten för antändning av ett utsläpp av brandfarlig vätska (3,3 %⁵⁵). En sådan antändning antas resultera i en explosion.

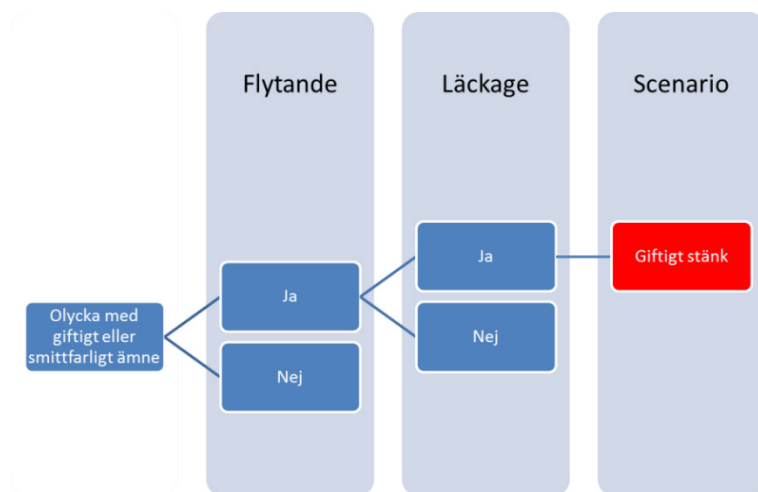
Sannolikheten för antändning som följer en olycka med läckage men utan blandning uppskattas på samma sätt som för antändning av fordon ovan till 0,4⁵⁶. Sannolikheten för att den då uppkomna branden ska sprida sig till att påverka lasten uppskattas grovt till 50 %⁵⁵. För att en brand som spridit sig och påverkar lasten ska leda till en explosion krävs att temperaturen överstiger 190°C under en längre tidsperiod. Det eventuella sönderfallet avstannar ofta om värmekällan avlägsnas⁵⁹. Olycksstatistik för olyckor med ADR-S klass 5 visar också på att det är relativt långa olycksförlopp med brinntider på 1–16 timmar innan detonation. Grovt antas hälften av dessa bränder leda till en sådan kraftig påverkan att en detonation (explosion) uppkommer (50 %). Detta gäller för de fall där ett utsläpp av ADR-S klass 5 också inträffat och en kraftig brand antas uppstå kring lastbilen. I de fall något utsläpp inte inträffat bedöms det grovt vara hälften så sannolikt att en brandpåverkan skulle leda till en explosion (25 %). De bränder som inte leder till någon explosion antas i modellen ändå påverka omgivningen med värmestrålning och brandgaser i en omfattning som är jämförbar med en pölbrand (ADR-S klass 3).



Figur 31. Händelsesträd för olycka med oxiderande ämne eller organisk peroxid.

Giftiga eller smittfarliga ämnen (ADR-S klass 6)

Skador på människor till följd av olyckor med giftiga eller smittfarliga ämnen bedöms enligt tidigare endast kunna uppstå där stänk från ämnet hamnar. Det innebär att det endast är i flytande form som ämnena kan medföra en akut påverkan på människor i omgivningen. Uppgifter⁵⁸ gör gällande att omkring 23 % av den transporterade mängden ADR-S klass 6 utgörs av flytande ämnen. Sannolikheten för att ett läckage uppstår, givet att en olycka med en tankbil inträffar, antas vara enligt *Index för farligt gods olycka* (se Tabell 19 och Figur 32)



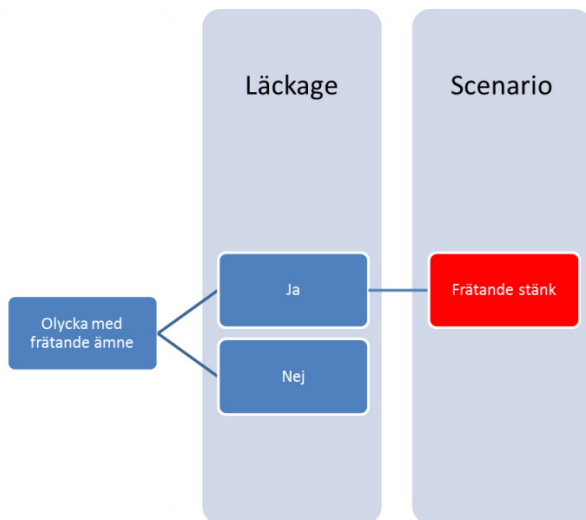
Figur 32. Händelseträd för olycka med giftigt eller smittfarligt ämne.

Radioaktiva ämnen (ADR-S klass 7)

Skador till följd av utsläpp av radioaktiva ämnen beaktas enligt ovan se Tabell 2 inte i denna riskbedömning.

Frätande ämnen (ADR-S klass 8)

Skador på människor till följd av olyckor med frätande ämnen bedöms enligt tidigare endast kunna uppstå där stänk eller iväg kastat ämne hamnar. En förutsättning är därmed att ett läckage uppstår. Sannolikheten för att ett läckage uppstår, givet att en olycka med en tankbil inträffar, antas vara enligt *Index för farligt gods olycka* (se Tabell 19 och Figur 33).



Figur 33. Händelseträd för olyckor med frätande ämnen.

Övriga farliga ämnen och föremål (ADR-S klass 9)

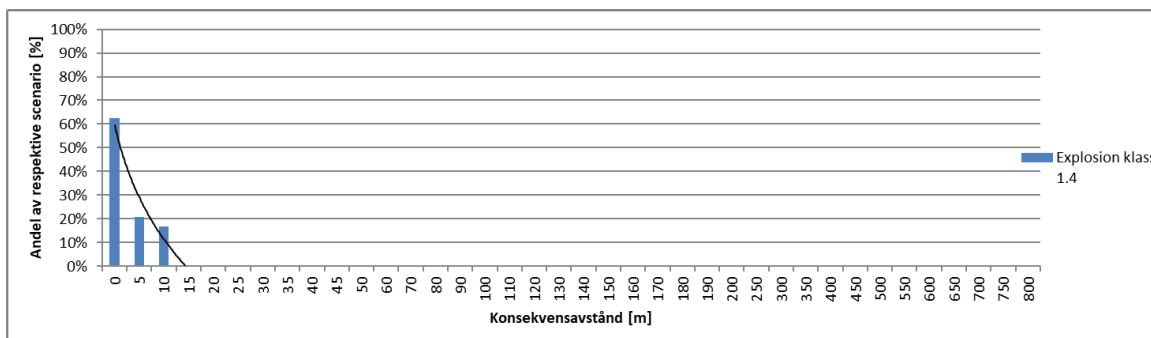
Beaktas (enligt Tabell 2) inte i denna riskbedömning.

Konsekvensberäkningar

I denna bilaga beskrivs metod och underlag (indata och antaganden) för de beräkningar som gjorts avseende konsekvenser av de identifierade olycksscenarierna. Resultaten redovisas i rapportdelen.

Konsekvenserna av de identifierade typerna av olycksförlopp vid transport av farligt gods på väg har tidigare beräknats bland annat i samband med att Länsstyrelsen i Skåne län upprättade sina *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen*³(RIKTSAM). Nedanstående fördelningar av konsekvensavstånd som nyttjas i individriskberäkningarna är hämtade resultaten däri förutom för ADR-S klass 2.1 och klass 3. Konsekvensavstånden för klass 1 har också korrigerats till följd av att identifierade transporter av klass 1 tillhör klass 1.4.

Explosiva ämnen (ADR-S klass 1.4)



Figur 34. Använda fördelningar av konsekvensavstånd för explosion (ADR-S klass 1.4)..

Endast transporter av klass 1.4S transporteras på Lidingövägen förbi Energihamnen och Norra Hamnvägen. Klass 1.4S vilket innebär ämnen, blandningar och föremål som endast medför obetydlig fara i händelse av antändning eller initiering. Verkningarna är i stort sett begränsade till förpackningen och inget utkast av splitter eller kaststycken av betydande storlek eller utbredning kan förväntas. Brand utifrån får inte förorsaka explosion av så gott som hela innehållet i förpackningen praktiskt taget samtidigt.^{7,8} Maximala konsekvensavståndet för klass 1 bedöms därför i beräkningarna till 10 m.

Brandfarliga gaser (ADR-S klass 2.1)

Avseende händelseförloppet jetflamma används de konsekvensberäkningar som gjorts för Förbifart Stockholm i samband med upprättande av Arbetsplan⁶⁰, se Figur 36.

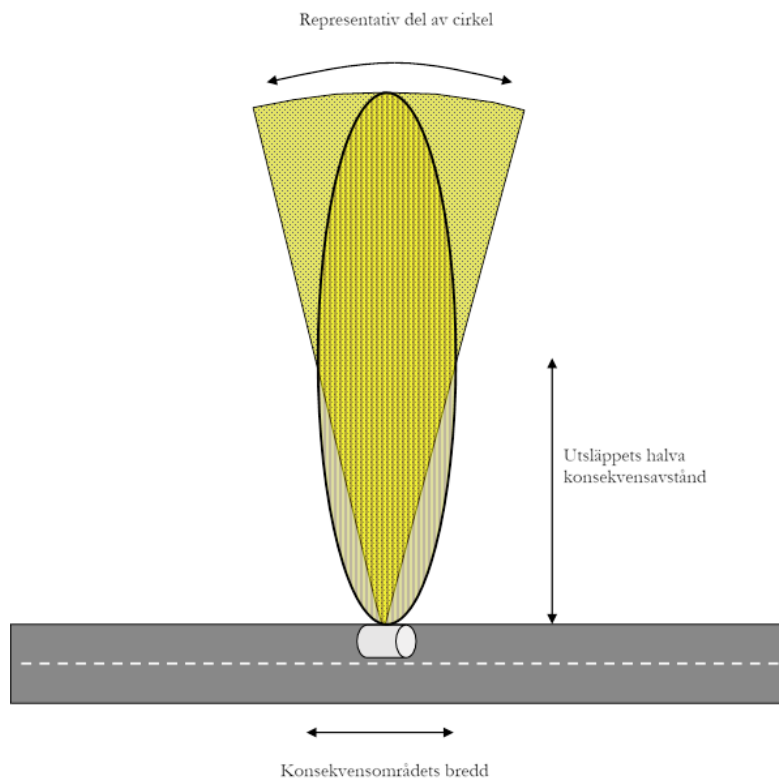
Gällande händelseförloppen gasmolnsexplosion och BLEVE genomförs konsekvensberäkningar. Brandfarliga gaser (ADR-S klass 2.1) omfattas av exempelvis väte, propan, butan och acetylen och LNG vilket transporteras på aktuella vägsträckor. Gasol är ett exempel på en kondenserad brandfarlig gas, som har den största transportvolymen på väg¹ överlag i Sverige. Gasol används ofta som representativt ämne i riskhantering i planprocesser, och antas i detta fall utgöra ett konservativt representativt ämne att basera individriskberäkningarna på. Detta då LNG, som antas vara den dominerande typen av brandfarlig gas på aktuella vägar, har egenskaper som är gynnsammare ur ett riskperspektiv.

Antaganden

Ett läckage till följd av en olycka med en transport av brandfarlig gas antas kunna bli *litet*, *medelstort* eller *stort*, där utsläppsstorlekarna är definierade i *Farligt gods – riskbedömning vid transport*³ utifrån massflöde: 0,09 kg/s (*litet*), 0,9 kg/s (*medelstort*) respektive 17,9 kg/s (*stort*). Vid läckage från tjockväggiga tankbilar bedöms sannolikheten för respektive storlek vara 62,5 %, 20,8 % och 16,7 %⁵².

När ett läckage har skett påverkar väder och vindförhållanden spridning av gaser och ångor. Vid högre vindhastigheter blandas utsläppta gaser ut snabbare med den omgivande luften än vid lägre vindhastigheter. Under åren 1961–2004 har vindhastigheten på 330 stationer runtom landet avlästs månad för månad. Insamlade data visar på en medelvindhastighet i Sverige som är 4 m/s^{61} . Vindhastighet antas vara 4 m/s . Temperaturen antas vara 15°C och väderscenariot till stabilitetsklass C vilket är ett vanligt antagande i denna typ av riskbedömningar.

En viktig faktor för spridningen av en gas vid ett läckage är påverkan av vinden, både för scenarier med brännbara gaser och giftiga. De huvudsakliga konsekvenserna uppkommer i vindriktningen från utsläppet. Eftersom konsekvenserna drabbar ett mindre område, reduceras frekvensen för respektive scenario med hänsyn till vilken approximativ spridningsvinkel som konsekvensområdet får, enligt Figur 35.



Figur 35. Konsekvensområdet vid gasutsläpp får ofta en oval form. Utifrån konsekvensområdets längd och bredd approximeras en lämplig cirkelsektor (representativ del av cirkel) för reducering av grundfrekvensen.

Samtliga vindriktningar antas förenklat ha samma sannolikhet, vilket innebär att konsekvensområdets utbredning har samma sannolikhet i alla riktningar från läckaget.

Vid beräkning av konsekvenserna av en farligt gods-olycka med utsläpp av brännbar gas (gasol) uppskattas det grovt att samtliga transporter utgörs av tankbilar och att mängden gas i en tankbil alltid är 25 ton.

Vid beräkningar av värmestrålning mot omgivningen definieras kritiska nivåer för exponering mot icke brandklassad byggnadsfasad och utrymningsvägar till 15 kW/m^2 .⁶²

BLEVE

Konsekvenserna av en BLEVE i individriskberäkningarna beräknas enligt exempel 11.3.2 i *Våda utsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor*.² Antagen mängd gasol är satt till 25 ton i en lastbil. Avståndet inom vilket värmestrålningen blir 15 kW/m^2 är beräknat till 170 meter.

Gasmolnsexplosion

En gasmolnsexplosion kan uppstå vid en fördröjd antändning av en utsläppt gasmassa som hunnit sprida sig och inte längre befinner sig under tryck. Konsekvensområdet beror på hur gasen sprids i omgivningen, vilket i sin tur beror på en mängd faktorer som vind, stabilitetsförhållanden, hinder, utströmmande flöde och densitet, med mera.

Vid en antändning antas hela den gasvolym som befinner sig inom brännbarhetsområdet förbrännas. I det fysiska område där detta sker blir konsekvenserna mycket allvarliga med dödliga förhållanden. Utanför detta område förväntas dock konsekvenserna bli lindriga, men strålningspåverkan kan uppkomma.

Programvaran *Spridning Luft* används för spridningsberäkningarna där avståndet till den undre brännbarhetsgränsen ($21\,000 \text{ ppm}$)⁶³ beräknas. Som konsekvensavstånd nyttjas avståndet till brännbarhetsgränsen tillsammans med en säkerhetsmarginal för att ta hänsyn till strålningspåverkan som kan ske även utanför den gasvolym som förbränns. Säkerhetsmarginalen beräknas genom en konservativ strålningsberäkning utifrån gasmolnets höjd och bredd, samt i utsläppets riktning.

Beräkningarna resulterar i ett konsekvensområde som enligt Tabell 21, approximeras med en cirkelsektor (anges som en vinkel, i grader).

Konsekvensavstånd

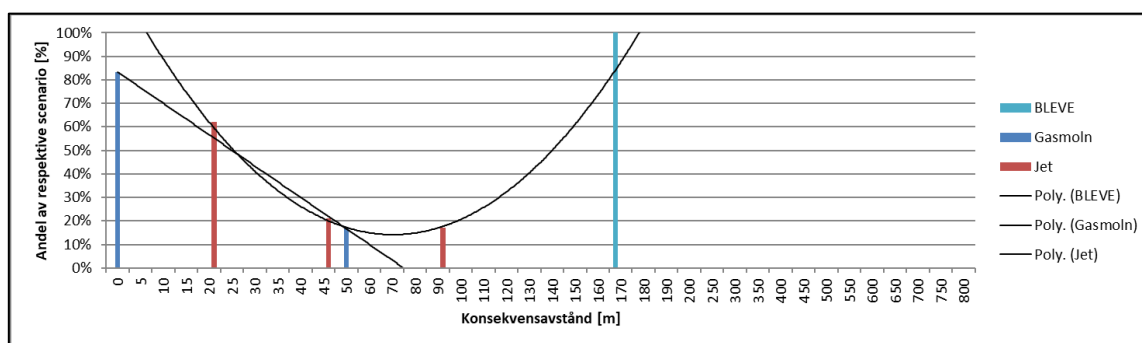
Nedan sammanställs de beräknade konsekvensavstånden för ADR-S klass 2.1 som nyttjas i individriskberäkningarna, se Tabell 21.

Tabell 21. Beräknade konsekvensavstånd för plym med gas inom vilket personer antas omkomma.

Scenario	Konsekvensavstånd [m]	Vinkel [grad]
BLEVE	170	360
Gasmolnsexplosion - litet läckage	0*	-
Gasmolnsexplosion - mellanstort läckage	0*	-
Gasmolnsexplosion - stort läckage	48	35

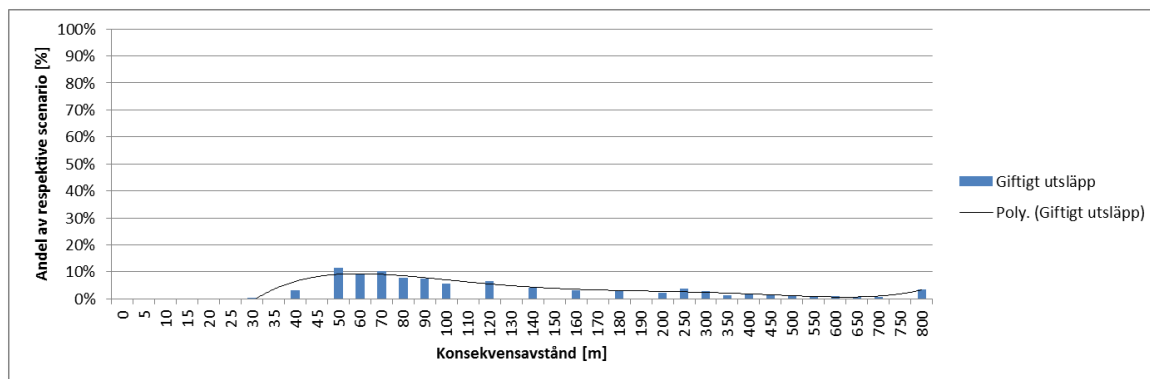
* Konsekvensavståndet blir noll meter då läckageflödet är så litet att någon gasvolym med en gaskoncentration inom brännbarhetsområdet inte uppkommer.

Använda fördelningar av konsekvensavstånd i individriskberäkningarna presenteras i Figur 36.



Figur 36. Använda fördelningar av konsekvensavstånd för BLEVE, gasmolnsexplosion samt jetflammar (ADR-S klass 2.1).

Giftiga gaser (ADR-S klass 2.3)



Figur 37. Använda fördelningar av konsekvensavstånd vid utsläpp av giftig gas (ADR-S klass 2.3).

Brandfarliga vätskor (ADR-S klass 3)

ADR-S klass 3 omfattas av brandfarliga vätskor, exempelvis bensin, E85, diesel- och eldningsoljor, lösningsmedel. Bensin och diesel utgör tillsammans majoriteten av

produkterna i ADR-S klass 3⁶⁴ som har målpunkt på Lidingö och Eldningsoljor utgör majoriteten av produkterna som har målpunkt i hamnen. Brandfarliga vätskor med låg flampunkt (till exempel bensin) antänds lättast⁶⁵. Förenklat (och konservativt) antas samtliga transporter av brandfarlig vätska utgöras av bensin.

Antaganden olycka vid transport

För beräkningar av konsekvensavstånd tillämpas den etablerade metoden i *Farligt gods – riskbedömning vid transport*⁵². Ett läckage till följd av en olycka med en transport av brandfarlig vätska är definierade i *Farligt gods – riskbedömning vid transport*⁵² som *litet*, *medelstort* eller *stort*, utifrån vilken pölstorlek de ger upphov till: 50 m² (*litet*), 200 m² (*mellanstort*) samt 400 m² (*stort*). Vid läckage från tankbil med släp bedöms sannolikheten för respektive storlek vara 25%, 25% och 50%⁵².

I försök har det även påvisats att pölens utbredning är kraftigt beroende av underlagets utformning och lutningar. Det krävs relativt små lutningar för att vätskan ska forma rännilar eller ansamlingar i lågpunkter m.m. Med avseende på pölbrand antas det grovt att pölen har cirkulär utbredning, vilket ger en högre strålningsnivå. Skydd antas finnas längs väggkant som hindrar vätska från att rinna av från vägbanan om inget annat är känt.

För brandfarliga vätskor gäller att skadliga konsekvenser för omgivningen kan uppkomma när vätskan läcker ut och antänds för då bildas en brand som sprider giftiga brandgaser och genererar värmestrålning mot omgivningen. Det avstånd, inom vilket personer förväntas omkomma direkt alternativt som följd av brandspridning till byggnader, antas vara där värmestrålningsnivån överstiger 15 kW/m². Det är en strålningsnivå som orsakar outhärdlig smärta efter kort exponering (cirka 2–3 sekunder) samt acceptabla nivåer för exponering mot icke brandklassad byggnadsfasad och utrymningsvägar^{1,52,66}.

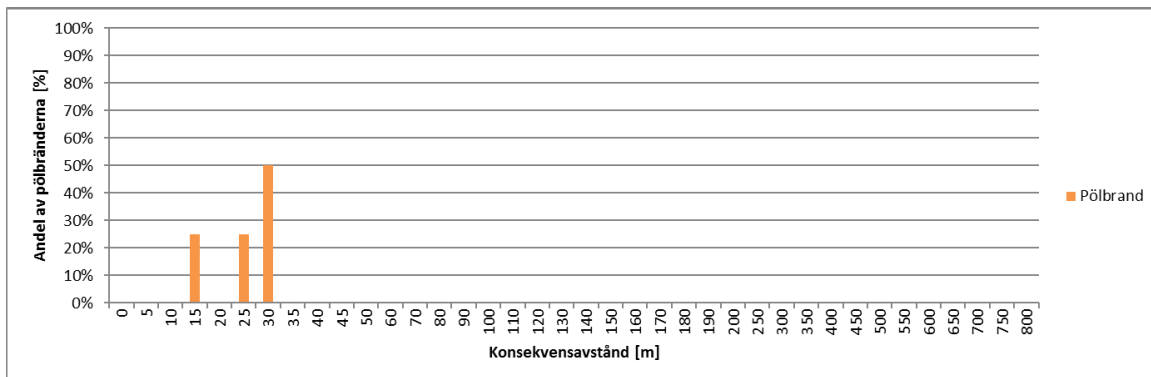
Konsekvensavstånd

Strålningsberäkningar har genomförts med hjälp av beräkningar i enlighet med. Nedan sammanställs de beräknade konsekvensavstånden för ADR-S klass 3, se Tabell 22.

Tabell 22. Avstånd till kritisk strålningsnivå på halva flammans höjd (15 kW/m²) för olika pölstorlekar.

Scenario	Pölbrand av varierande storlek	Längd/bredd	Konsekvensavstånd från pölkant [m]	Fördelning
Litet utsläpp	50 m ²	7,1	12 m	25%
Mellanstort utsläpp	200 m ²	14,15	22 m	25%
Stort utsläpp	400 m ²	20	28 m	50%

Använda fördelningar av konsekvensavstånd presenteras i Figur 38.



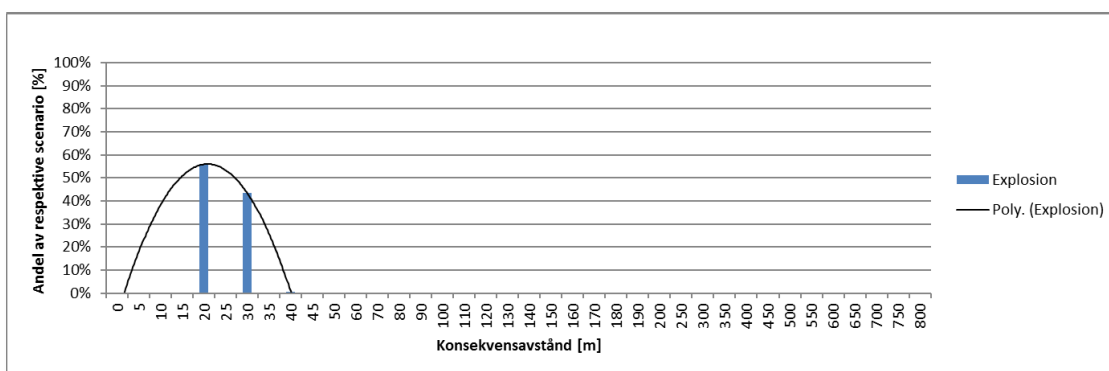
Figur 38. Använda fördelningar av konsekvensavstånd för pölbränder (ADR-S klass 3).

Brandfarliga fasta ämnen (ADR-S klass 4)

Brandfarliga fasta ämnen (ADR-S klass 4) antas ha samma konsekvensavståndsfördelning som brandfarliga vätskor (ADR-S klass 3). Detta antagande bedöms vara konservativt.

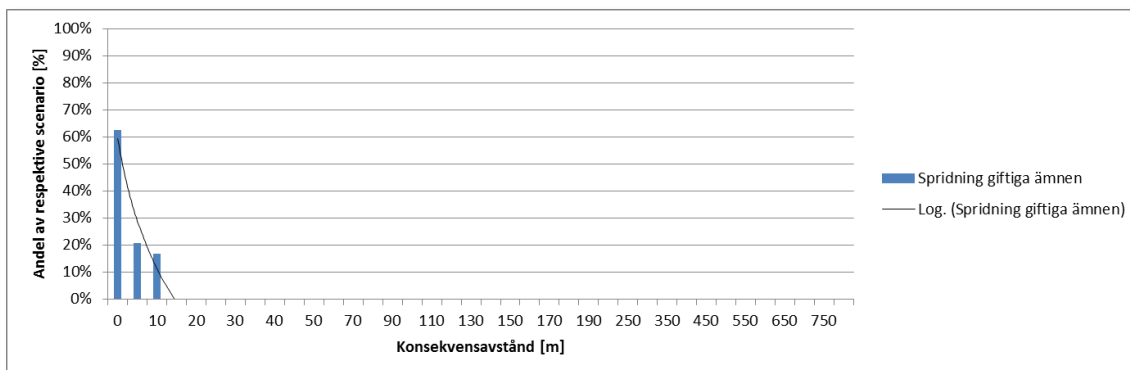
Oxiderande ämnen och organiska peroxider (ADR-S klass 5)

Fördelningen vid bränder för oxiderande ämnen och organiska peroxider (ADR-S klass 5) antas ha samma konsekvensavstånd som för brandfarliga vätskor (ADR-S klass 3). Detta antagande bedöms vara konservativt. Använd fördelning av konsekvensavstånd vid explosioner redovisas i Figur 39.



Figur 39. Använd fördelning av konsekvensavstånd vid explosioner med oxiderande ämnen och organiska peroxider (ADR-S klass 5).

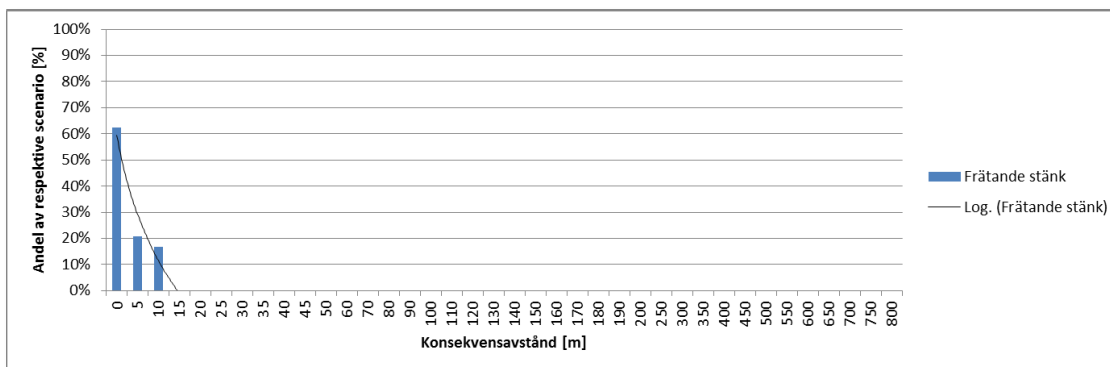
Giftiga eller smittfarliga ämnen (ADR-S klass 6)



Figur 40. Använd fördelning av konsekvensavstånd för stänk med giftiga eller smittfarliga ämnen (ADR-S klass 6).
Radioaktiva ämnen (ADR-S klass 7)

Skador till följd av utsläpp av radioaktiva ämnen (ADR-S klass 7) beaktas enligt ovan inte i denna riskbedömning.

Frätande ämnen (ADR-S klass 8)



Figur 41. Använd fördelning av konsekvensavstånd för stänk med frätande ämne (ADR-S klass 8).

Övriga farliga ämnen och föremål (ADR-S klass 9)

Övriga farliga ämnen (ADR-S klass 9) beaktas enligt ovan inte i denna riskbedömning.

Beräkning av individrisknivåer

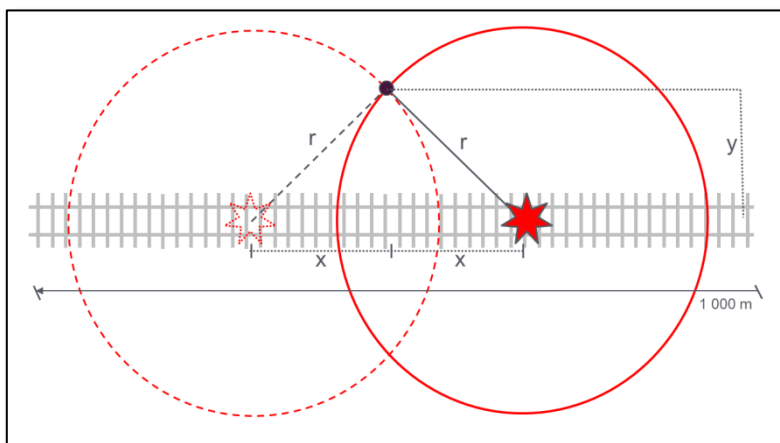
I följande avsnitt beskrivs hur beräkningarna av individrisk för Lidingövägen förbi Energihamnen samt Norra Hamnvägen genom Energihamnen har genomförts.

Metod

Beräkningsmetoden för individrisknivåer som används i denna riskbedömning bygger på den metod som används ibland andra Helsingborgs stads *Strategi för bebyggelseplanering intill rekommenderade färdvägar för transport av farligt gods*⁵⁸.

Resultaten av frekvensberäkningarna och konsekvensuppskattningarna ovan räknas samman till en risknivå utmed den aktuella sträckan genom en beräkningsgång som kan beskrivas enligt följande (med scenariot pölbrand som exempel).

En specifik punkt i omgivningen påverkas endast av en olycka som inträffar på en sträcka nära punkten. Längden på denna sträcka beror på punktens avstånd från järnvägen och hur stort område som det studerade olycksscenariot påverkar, se Figur 42.



Figur 42. Olyckor med konsekvensavståndet (r) måste inträffa någonstans på sträckan ($2x$) för att påverka en given punkt på ett avstånd (y) från vägen. Med hjälp av Pythagoras sats kan sträckan ($2x$) beräknas, givet att konsekvensavståndet (r) samt avståndet till vägen (y) är känt.

Resonemanget i Figur 42 leder till att en frekvenskorrigeringsfaktor som är specifik för en punkt på ett givet avstånd kan beräknas. Beräkningarna bygger vidare på att ett stort antal punkter i omgivningen (olika värden på y) studeras med upprepade beräkningar för alla de identifierade olycksscenarierna. Den använda upplösningen för beräkningarna (värden på y) är:

0–50 meter från väggkant	Var 5:e meter
50–200 meter från väggkant	Var 10:e meter
200–800 meter från väggkant	Var 50:e meter

Formeln som används för att beräkna en frekvenskorrigeringsfaktor per kilometer blir:

$$\frac{2\sqrt{r^2 - y^2}}{1000}, \text{ se Tabell 23.}$$

Tabell 23. Frekvenskorrigeringsfaktor (utsnitt).

↓ Olyckan når (r) [m]	Studerat avstånd (y) [m]				
	0	5	10	15	...
0	0	-	-	-	0
5	0,01	0	-	-	0
10	0,02	0,02	0	-	0
15	0,03	0,03	0,02	0	0
20	0,04	0,04	0,03	0,03	0
...					0
800	1,60	1,60	1,60	1,60	0

Siffrorna i tabellen utläses i det enklaste fallet som att om en olycka sker någonstans inom den studerade kilometersträckan och som har en konsekvens som når 5 meter kommer sannolikheten för att den påverkar en slumpmässigt vald punkt längs med spåret vara 1 %. Detta utgår ifrån att olyckan har en konsekvens som når totalt 10 m längs med spåret och det motsvarar 1 % av 1 km. För längre avstånd från spåret blir beräkningarna mer komplicerade utifrån de trigonometriska beräkningar som visas i Figur 42.

Vidare har det i konsekvensberäkningarna ovan uppskattats en fördelning av hur långa konsekvensavstånd som förväntas uppstå vid de olika scenarierna, vilka redovisas för pölbrand i Tabell 24. Dessa värden är framtagna utifrån de redovisade diagrammen i Figur 34 - Figur 41.

Tabell 24. Fördelning av konsekvensavstånd (utsnitt).

↓ Olyckan når (r) [m]	Sannolikhetsfördelning konsekvensavstånd
	Pölbrand
0	x %
5	y %
10	z %
15	x %
...	
800	0 %

Därefter multipliceras värden korsvis mellan de två tabellerna (Tabell 23 och Tabell 24) ovan. Resultatet redovisas i Tabell 25 för att väg samman sannolikheten att en olycka får ett visst konsekvensavstånd med sannolikheten att den specifika punkten påverkas av konsekvensen.

Tabell 25. Resultat av korsvis multiplikation (utsnitt).

	Studerat avstånd [m]				
↓ Olyckan når (r) [m]	0	5	10	15	.. 800
0	0	-	-	-	.. 0
5	0,0001	0	-	-	.. 0
10	0,0010	0,0009	0	-	.. 0
15	0,0024	0,0023	0,0018	0	.. 0
20	0,0072	0,0070	0,0062	0,0048	.. 0
...					

Respektive kolumn summeras sedan för att ta fram en reduceringsfaktor som ska appliceras på respektive avstånd för att ta hänsyn till hur stor del av den ursprungliga frekvensen som faktiskt påverkar en specifik punkt, se Tabell 26. Vidare sker en justering av frekvenserna med avseende på att vissa av olycksscenarierna inte har en cirkulär utbredning, utan bedöms påverka olika andelar av en cirkelsektor, se Tabell 27.

Tabell 26. Kolumnvis summering av Tabell 25 (utsnitt).

	Studerat avstånd [m]				
	0	5	10	15	... 800
Reduceringsfaktor	0,051	0,050	0,046	0,040	... 0

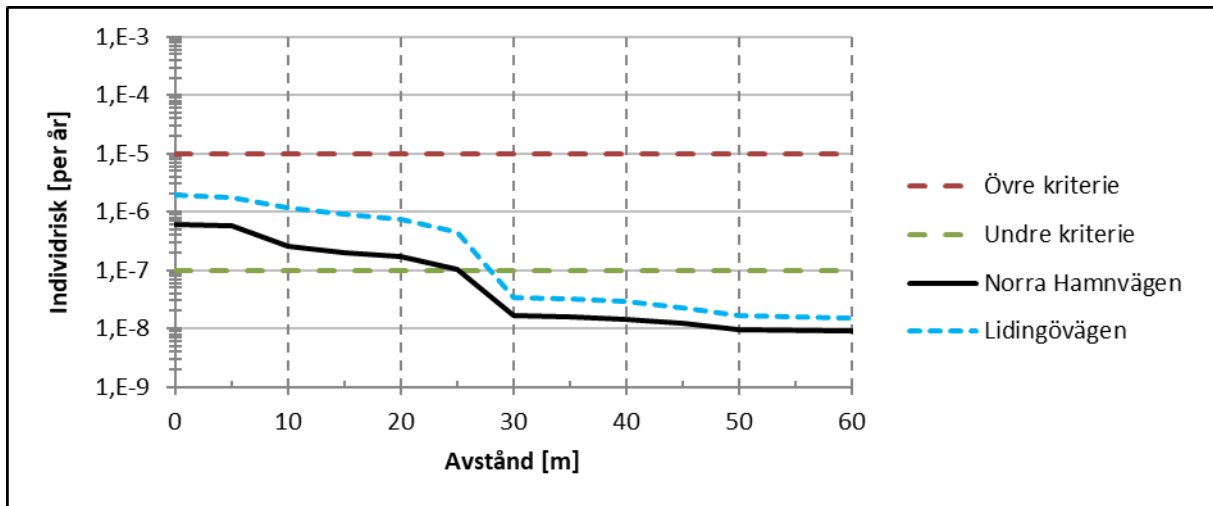
Tabell 27. Exempel på justeringar med avseende på olyckssceneriernas utbredning.

Olycksscenario	Andel av cirkel	Kommentar
Pölbrand	1	Pölbranden antas ge cirkulär utbredning av värmestrålning
BLEVE	1	BLEVE antas ge cirkulär utbredning av värmestrålning
Jetflamma	0,2	Jetflamman antas riktas mot en specifik plats på en sida av olyckan i 20 % (1/5) av fallen (den första av fem följande riktningar på flamman antas drabba en specifik plats: rakt mot platsen, rakt från platsen, uppåt samt vinkelrätt från platsen åt två håll).
Gasmolnsexplosion	0,0972	Gasmolnsexplosion beräknas i programvaran Spridning luft ge en utbredning av omkring 35 grader i vindriktningen ($35/360=0,09726$)

Efter detta multipliceras reduceringsfaktorn med respektive andel av cirkel och den ursprungliga frekvensen (för pölbrand beräknades den tidigare till $2 \cdot 10^{-5}$) för att ge en individrisknivå på olika avstånd. De resulterande värdena används slutligen för att plotta individrisken som en kurva.

Resultat

Nedan presenteras resultatet av beräknad individrisk från transporter av farligt gods längs med Lidingövägen förbi Energihamnen och Norra Hamnvägen.



Figur 43. Resultat individriskberäkning Lidingövägen och Norra Hamnvägen

Referenslista Bilagor

¹ Stadsbyggnadskontoret Göteborg (1997) *Översiktsplan för Göteborg, fördjupad för sektorn TRANSPORTER AV FARLIGT GODS*. Göteborg: Stadsbyggnadskontoret.

² FOA (1997) *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor – Metoder för bedömning av risker*. Tumba: Försvarets forskningsanstalt, avdelningen för vapen och skydd.

³ Länsstyrelsen i Skåne län (2007). *Riktlinjer för riskhänsyn i samhällsplaneringen – bebyggelseplanering intill väg och järnväg med transport av farligt gods (RIKTSAM)*. Rapport ”Skåne i utveckling”, 2007:6.

⁴ Stockholms Hamnar, Driftföreskrifter – version 1.6.4 – Bilaga 9. 2014-05-01.

⁵ Stockholm stad, Exploateringskontoret (2018), PM Riskutredning och brandskyddsdokumentation Värtapiren & Hamnpåfarten, Structor Riskbyrå

⁶ *Uppskattnings Trafikrörelser 2018_2030_Energihamnen_Verksamhetsutövarna_V7*

⁷ MSB (2012), Handbok Förvaring av explosiva varor, MSB juni 2012.

⁸ Försvarmakten (2012) *Säkerhetsinstruktion för vapen och ammunition med mera (Säkl)* M7739 -351110 Säkl Tp farligt gods 2013.

⁹ Räddningsverket (1996). *Farligt gods – riskbedömning vid transport*. Karlstad, Statens räddningsverk.

¹⁰ UIC CODE 777-2 (2002). *Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone*. International Union of Railways, Version 2, September 2002.

¹¹ Trafikförvaltningen SLL- Strategisk utveckling Norra Djurgårdsstadens trafikförsörjning (2018), *Riskbedömning ny spårväg*, Bengt Dahlgren Brand & Risk AB

¹² Structor (2018) *Riskbedömning Energihamnen- Riskbedömning Spårväg*

¹³ Information om AGA:s LNG-bunkerfartyg Seagas. www.aga.se 19-06-10

¹⁴ SFPE, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 1990

¹⁵ DNV (2013) Dominoeffekt- och riskeskaleringsstudie för Energihamnen i Göteborg, Report No: 18A8RNV-2/SWE, Revision 1.

¹⁶ Zhang, Q & Liang, D (2013). School of Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou, China. Thermal Radiation and Impact Assessment of the LNG BLEVE Fireball

¹⁷ Santamaria, J. M. & Braña, P. A. (1994) Madrid Analysis y reduction de riesgos en la industria quimica

¹⁸ SRV, Räddningsverket (2005) Dynamisk lastpåverkan - Referensbok

¹⁹ Energimyndigheten (2016) *Sjöfartens energianvändning - Hinder och möjligheter för omställning till fossilfrihet*. KOUCKY & PARTNERS AB

²⁰ Svensk Standard (2011) *SS 155410 Eldningsoljor – Krav*. Utgåva 4, oktober 2011

²¹ Umeå Universitet, Biooljeprojekt för Umeå Ebergi, 2012

²² Stockholm Exergi (2022) *Säkerhetsrapport Värtaverket*, Stockholm Exergi. 2022-12-14, ver 8

²³ Uppsala universitet (2010). Riktlinjer för hantering av brandfarliga varor. Dnr UFV 2010/1666, 2010-09-28.

²⁴ SP (2016). Risker med nya energibärare i vägtunnlar och underjordiska garage. Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. SP Rapport 2016:84.

²⁵ WSP (2008). Riskbedömning enligt Sevesolagstiftningen och lag om skydd mot olyckor – Bromma reningsverk, Stockholm. WSP, 2008-12-09.

²⁶ Energigas Sverige (2010). TSA 10 Tankstationsanvisningar. Energigas Sverige.

²⁷ MSB (2016). Gasdrivna fordon – händelser och standarder. MSB, september 2016.

²⁸ Länsstyrelsen Stockholm (2000). Riskhänsyn vid ny bebyggelse, Rapport 2000:01, Länsstyrelsen i Stockholms län.

²⁹ SPI (2009). Bensinstationer, Utgåva 2. Fastställda 2009-12-08, Svenska petroleum institutet.

³⁰ SP (2016). Risker med nya energibärare i vägtunnlar och underjordiska garage. Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. SP Rapport 2016:84.

³¹ Structor (2019). Riskbedömning, Detaljplan för del av Tegelbruket 1, Fittja i Botkyrka kommun.

³² Karlsson, B & Quintiere, J.G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*, 2000.

³³ Tewarson, A. (2002). Generation of Heat and Chemical Compounds in Fire – Chapter 3.4 SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 3rd Edition, Quincy, 2002.

³⁴ Miljöförvaltningen i Stockholm kommun (2006). Säkerhetsaspekter med E85 som drivmedel, Stockholm, 2006.

³⁵ Structor (2023) *Riskbedömning Bio-CCS Vätaverket* 2023-03-30

³⁶ Rian K.E, Grimsö B, Lakså B, Vembe B.E, Lilleheie N.I, Brox E, Evanger T, (2014). *Advanced CO2 dispersion simulation technology improved CCS safety*.

³⁷ Rise (2025) *Rapport – Påseglingsanalys Lidingöbron, Cementdepå Energihamnen*. Nr: RE20242029-04-00-A.

³⁸ Rise (2023) *PM - Maritim riskbedömning Påsegling av kaj 503, Värtahamnen*. Rev. A. 2023-02-02.

³⁹ SIS (2010). *Svensk Standard SS-ISO 31000:2009. Riskhantering – Principer och riktlinjer*. Utgåva 1, ICS: 03.100.01;04.050. Stockholm: Swedish Standards Institute (SIS).

⁴⁰ Stockholms stad (2017). *Startpromemoria för planläggning av fastigheten Shanghai 1 m.fl., Energihamnen, del av Norra Djurgårdsstaden i Stadsdelen Ladugårdsgärdet*. Stadsbyggnadskontoret: Stockholms stad

⁴¹ Länsstyrelsen i Stockholms län (2019) LstAB Länskarta Stockholms län. (<https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se>)

42 01FS 2001:138. Länsstyrelsen i Stockholms län föreskrifter om sjötrafiken m.m., utom vissa ankringsförbud, inom Stockholms län. Länsstyrelsen: Stockholm.

⁴³ TSFS_2013:38. Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om lotsning, TSFS 2013:38. Transportstyrelsen.

⁴⁴ SSPA (2017). Påseglingsrisker – Södra Värtan. Rapport: RE20167967-01-00-B, 2017-03-16. SSPA: Stockholm.

⁴⁵ Stockholms stad (2018) *Planbeskrivning Detaljplan för fastigheten Shanghai 1 m.fl, Energihamnen, del av Norra Djurgårdsstaden i stadsdelen Ladugårdsgärdet, S-Dp 2016-10198*. 2018-09-12.

⁴⁶ Stockholms Hamnar (2018). *Energihamnen*. <https://www.stockholmshamnar.se/stockholm/hamndelar--kajer/energihamnen/> [Hämtad 2019-07-31]

⁴⁷ Transportstyrelsen (2017). Transportstyrelsens säkerhetsöversikt – Luftfart och Sjöfart 2016. Transportstyrelsen Sjö- och Luftfartsavdelningen.

⁴⁸ Kristiansen, S. (2005). *Maritime Transportation – Safety Management and Risk Analysis*. Routledge: London.

⁴⁹ SSPA (2018). *Maritim riskanalys Lövholmen*. Rapport Nr: RE20188878-01-00-B Påseglingsrisker projekt Lövholmen

⁵⁰ Germanischer Lloyd (2003). Offshore-Windpark Kriegers Flak, Technische Riskikoanalyse. Bericht Nr. ERI 2003.54.

⁵¹ Räddningsverket (1997). *Värdering av risk*. FoU RAPPORT, DNV. ISBN 91-88890-82-1. Karlstad: Statens räddningsverk.

⁵² Räddningsverket (1996). *Farligt gods – riskbedömning vid transport*. Karlstad, Statens räddningsverk.

⁵³ Stockholm Exergi (2022) *Översiktlig bedömning av förändringar i Stockholm Exergis trafikrörelser till/från Energihamnen som följd av en BioCCS-anläggning*, 2022-11-20

⁵⁴ Stockholm stad (2018), *PM-Riskutredning och brandskyddsdokumentation Värtapiren & Hamnpåfarten*-Structor Riskbyrå AB,

⁵⁵ HMSO (1991). *Major hazard aspects of the transport of dangerous substances*. Appendix 9. London: Advisory Comitee on Dangerous Substances Health & Safety Comission.

⁵⁶ SIKA (2001). *Vägrafikskador* Statens institut för kommunikationsanalys, 2001

⁵⁷ Purdy, G. (1993) *Risk analysis of the transportation of dangerous goods by road and rail*. Journal of Hazardous Materials, 33, 229-259. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

⁵⁸ Wuz (2010). *Helsingborgs stad – Strategi för bebyggelseplanering intill rekommenderade färdvägar för transport av farligt gods*. Kävlinge, Wuz risk consultancy AB

⁵⁹ Marlair, G och Kordek, M-A.(2005) *Safety and security issues relating to low capacity storage of AN-based fertilizers*. Journal of Hazardous Materials, ss. A123. pp 13-28.

⁶⁰ Trafikverket (2011). *E4 Förbifart Stockholm – Riskbedömning för driftskedet på farligt gods transporter på ytvägnätet*. OS147311. Trafikverket 2010-06-30 (Rev B 2011-05-01).

⁶¹ SMHI (2006). Vindstatistik för Sverige 1961-2004. 25 maj 2006, Hans Alexandersson.

⁶² Lunds Universitet et al. (2012). Brandskyddshandboken.

⁶³ CDC (2018). The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Propane. <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/74986.html> , hämtat: 2018-03-21.

⁶⁴ SPBI (2018). Statistik. <http://spbi.se/statistik/> , 2018-06-12. Svenska Petroleum & Biodrivmedel Institutet, 2018.

⁶⁵ Räddningsverket (2000). Räddningskemi - Farliga ämnen. Räddningsverket, Halmemies, Sakari, 2000.

⁶⁶ BBR. Boverkets byggregler, BFS 2006:12. u.o., Karlskrona : Boverket, 2006