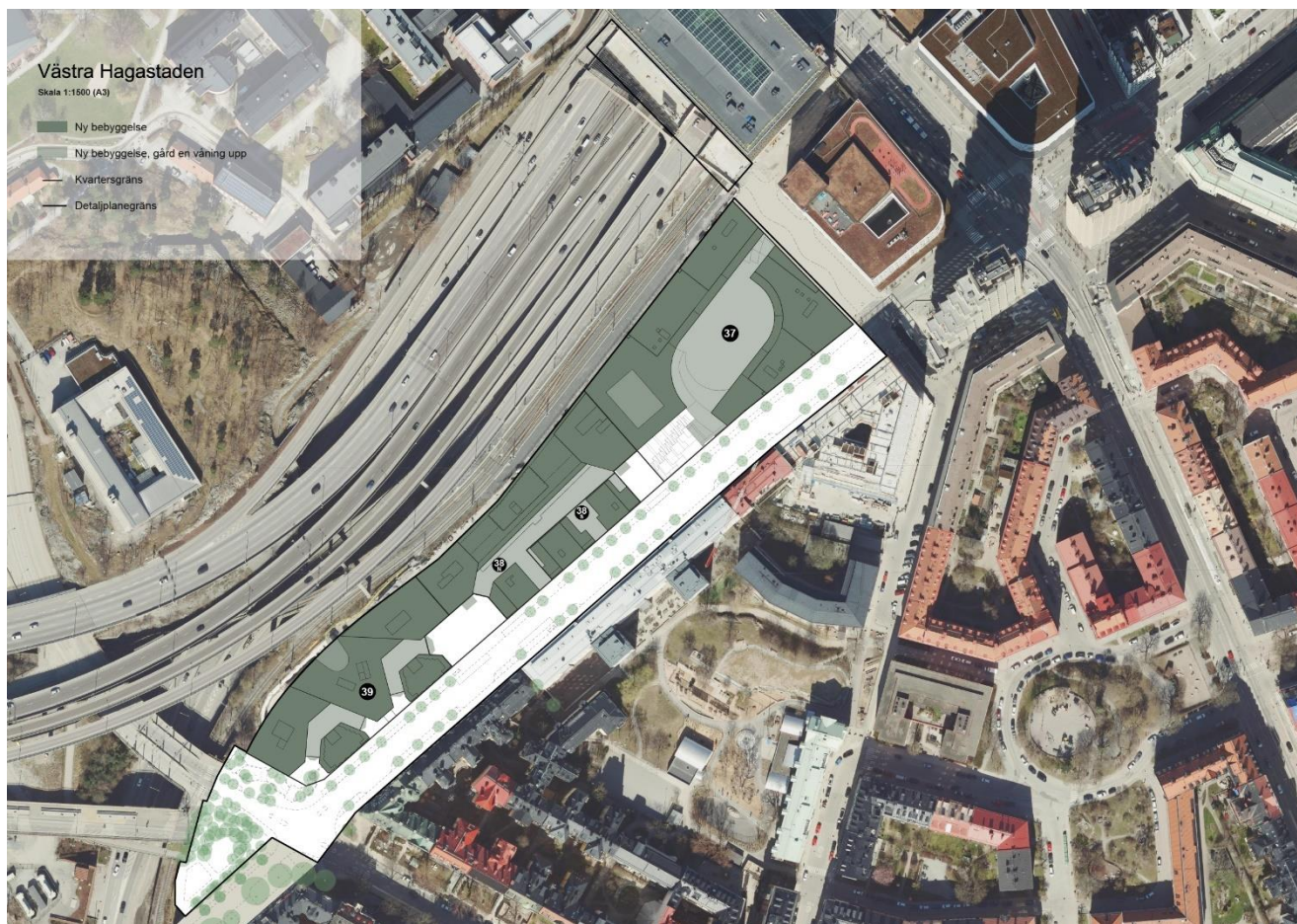


Riskutredning avseende människors hälsa och säkerhet

Detaljplan Västra Hagastaden



Handläggare: Mathias Lööf, brand- och riskingenjör Projektstaben i Sverige AB

Datum	Version	Egenkontroll	Internkontroll	Revidering avser
2024-08-29	1.0	MLF	MWN	-

Sammanfattning

Västra Hagastaden är en del av stadsutvecklingsområdet Hagastaden och utgörs av en remsa mark söder om Torsplan i anslutning till Norra Stationsgatan. Marken är uppdelade i tre kvarter som benämns kvarter 37, 38 och 39. Marken är i dagsläget oexploaterad. Detaljplanen syftar till att planlägga den västra delen av stadsutvecklingsområdet Hagastaden med idrott, kontor och verksamheter kopplat till livsvetenskapssektorn samt nya bostäder. Planförslaget möjliggör totalt ca 185 lägenheter, ca 77 500 kvm ljus BTA lokaler (kontor och centrumändamål), ca 13 000 kvm idrotts- och kulturlokaler samt nya offentliga platser i form av gator och ca 1200 kvm ny park.

Föreliggande riskutredning innebär en utredning av risker som kan medföra negativ påverkan på människor som befinner sig inom och i närhet till detaljplaneområdet Västra Hagastaden. Rapportens övergripande syfte är att uppfylla de krav på riskhantering som ställs i Plan- och bygglagen. Riskbedömningen ska därmed ses som en rekommendation utifrån rådande lagstiftning och riktlinjer och verka som ett beslutsunderlag inför beslutsfattande om markanvändningen.

Planområdet Västra Hagastaden är lokaliserat till en ur risksynpunkt utsatt plats med hänsyn till sin nära anslutning till E4/E20, vilka är klassade som primära transportleder för farligt gods förknippade med en högre riskexponering. Riskexponeringen utmed järnvägen Värtabanan som löper på nära avstånd till planområdet är mer begränsad.

För att bedöma riskbilden som transporter av farligt gods på dessa leder ger upphov till så har kvantitativa riskberäkningar genomförts.

I ett led att säkerställa att planerad markanvändning inom Västra Hagastaden sker med erforderlig riskhänsyn har inom ramen för riskutredningen ett antal skyddsprinciper arbetats fram. Med beaktande till föreslagna skyddsprinciper påvisar utredningen att godtagbara risknivåer kan säkerställas inom planområdet.

Slutsatsen från riskutredningen är att tänkt exploatering av Västra Hagastaden är genomförbar under förutsättning att nedanstående skyddsåtgärder beaktas:

- Området utomhus mellan byggnader och E4/E20/Värtabanan ska utformas så att det inte uppmuntrar till stadigvarande vistelse.
- Byggnaders bärande huvudsystem ska skyddas från fortskridande ras och kollaps vid ett urspåret tågset på Värtabanan. Lokala brott kan accepteras men fortskridande ras/kollaps av byggnader ska förhindras. De för stommen eventuellt kritiska byggnadsdelar, som ligger på ett avstånd om cirka 10 meter från Värtabanans centrumlinje, ska därför dimensioneras för att klara följande laster:
 - Kraft $F_{dx} = 2000$ (kN), i spåret riktning
 - Kraft $F_{dy} = 750$ (kN), vinkelrätt mot spårets riktning

Vid dimensionering och verifiering ska:

- *påkörningshöjd från spårets överkant ansättas till $H = 1,8$ m.*
- *Påkörningskrafterna F_{dx} och F_{dy} bör vid dimensionering betraktas separat.*

- Fasader som vetter mot E4/E20/Värtabanan ska utföras i obrännbart material (yttre ytskikt av klass A enligt BBR).
- Byggnader vars fasader vetter mot E4/E20/Värtabanan ska utformas med "tät" fasad och med bärande stommar för att motstå karakteristiska tryck och impulstätheter som finns tydliggjorda i Figur 15. Vid verifiering ska explosionscentrum antas utmed E20:s närmsta körbana.
- Glaspartier i fasad som vetter mot Värtabanan ska upp till 20 meters höjd från Värtabanans marknivå utformas i brandteknisk klass EW 30. Övriga glaspartier i fasad som vetter mot Värtabanan ska utformas för att tåla 300 °C i 30 minuter.
- Byggnader ska utformas med friskluftsintag på trygg sida, d.v.s. på sida bort från E4/E20/Värtabanan samt med en alternativ utrymningsväg bort dessa leder.
- Balkonger/uteplatser ska inte uppföras direkt mot E4/E20/Värtabanan. Takterrasser får uppföras men ska vara indragna minst 2 meter från fasad mot infrastrukturlederna.

I ett led att säkerställa en "tät" fasad innebär detta att glaspartier (inklusive dess infästning) i fasad mot Essingeleden behöver utformas explosionsresistenta, exempelvis i klass ER1 enligt EN 13541 eller motsvarande som säkerställer likvärdigt skydd sett till redogjorda karakteristiska tryck och impulstätheter. I ett led att säkerställa att glaspartier klarar en temperatur om 300 °C under minst 30 minuters tid rekommenderas en yttre glastruta i härdat glas om minst 6 mm tjocklek med verifierande egenskaper. Fönster i fasad tillåts vara öppningsbara utifrån ett riskperspektiv.

Med obrännbar fasad avses fasad som utförs med ett yttre ytskikt som uppfyller brandtekniskt klass A enligt Boverkets byggregler, BBR. Mindre brännbara detaljer accepteras i fasader som ska utföras i obrännbart material så länge avsett skydd mot brandspridning inte påverkas.

Planområdet omfattar den uppförda skyddszon som återfinns ovanför tunnelmynning framför kvarter 36 (Molekylen). Ytan ska ombildas från allmänplats till kvartersmark. Utifrån ett riskhanteringsperspektiv är det av vikt att markanvändningen inom skyddszonen inte förändras. Mot denna bakgrund föreslås en skyddsbestämmelse som reglerar att ytan inte får utformas för stadigvarande vistelse.

Höjdskillnader och brokonstruktioner där människor kan vistas nära trafikanläggningar på en högre höjd innebär generellt en förhöjd risk för suicid. Inom planområdet är primärt suicidrisk att beakta vid utformning av Karlbergs Plats som innebär att ytor angränsade Värtabanan på högre höjd utformas för att uppmuntra till stadigvarande vistelse. Det är givetvis svårt och oskäligt att helt försöka bygga bort risken för suicid, men med en anpassad gestaltning kan riskerna effektivt minimeras. För suicidprevention rekommenderas att följande åtgärder beaktas och analyseras vidare inom ramen för den fortsatta projekteringen vid utformning av Karlbergs Plats:

- Fysiska barriärer såsom fallskydd mot spårområde utförs svårklätterbara
- Allmänplats intill Värtabanan utformas med god belysning för ökad trygghetskänsla

Ovanstående rekommendationer tar utgångspunkt i det fördjupade arbete som bedrevs tillsammans med Socialstyrelsens specialister vad gäller suicidprevention inom ramen för framtagande av detaljplan för Östra Hagastaden som input för utformning av allmänplats intill Värtabanan.

Ovanstående åtgärdsförslag kan behöva omformuleras så att de följer de regler som gäller för utformning av planbestämmelser enligt Plan- och Bygglagen (2010:900). Observera att ovanstående åtgärder endast utgör förslag och att det är upp till kommunen/projektet att ta beslut om åtgärderna ska implementeras.

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Bakgrund och syfte	5
1.2	Omfattning och avgränsningar	6
1.3	Definition riskbedömning	6
1.4	Riskhänsyn vid bebyggelse intill farligt godsled och farlig verksamhet	7
1.5	Värdering av risk	8
2	Förutsättningar	12
2.1	Områdesbeskrivning	12
2.2	Farligt godstransporter samt prognos av trafikflöden	14
3	Risikanalys	18
3.1	Riskinventering	18
3.2	Riskkalkyl – Skattning av risker	22
3.3	Åtgärdsförslag och skydd mot olyckshändelser	24
3.4	Kvantifiering genom individ- och samhällsrisk	25
4	Riskvärdering – Samlad bedömning	33
4.1	Minimering personbelastning i utsatta lägen	33
4.2	Placering friskluftsintag	33
4.3	Utformande av skydd mot urspårning	34
4.4	Utformande av skydd mot brandspridning till och in i byggnader vid händelse av pölbrand	34
4.5	Utformande av skydd mot explosionsförlopp	35
4.6	Samlad värdering	37
5	Känslighetsanalys	38
5.1	Känslighetsanalys av utförda beräkningar	38
5.2	Känslighetsanalys av förutsättningar för riskberäkningar	38
6	Slutsatser	39
	Referenser	41
	Bilaga A – Allmänt om farligt gods	43
	Bilaga B – Restriktioner farligt godshantering inom Stockholms hamnar	45
	Bilaga C – Fördjupad analys av riskexponering från Värtabanan	47
	Bilaga D – Frekvensberäkningar farligt godsolycka E20/E4	52
	Bilaga E – Konsekvensberäkningar farligt godsolycka E20/E4	62
	Bilaga F – Fördjupad konsekvensbedömning av explosionsförlopp	76

1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

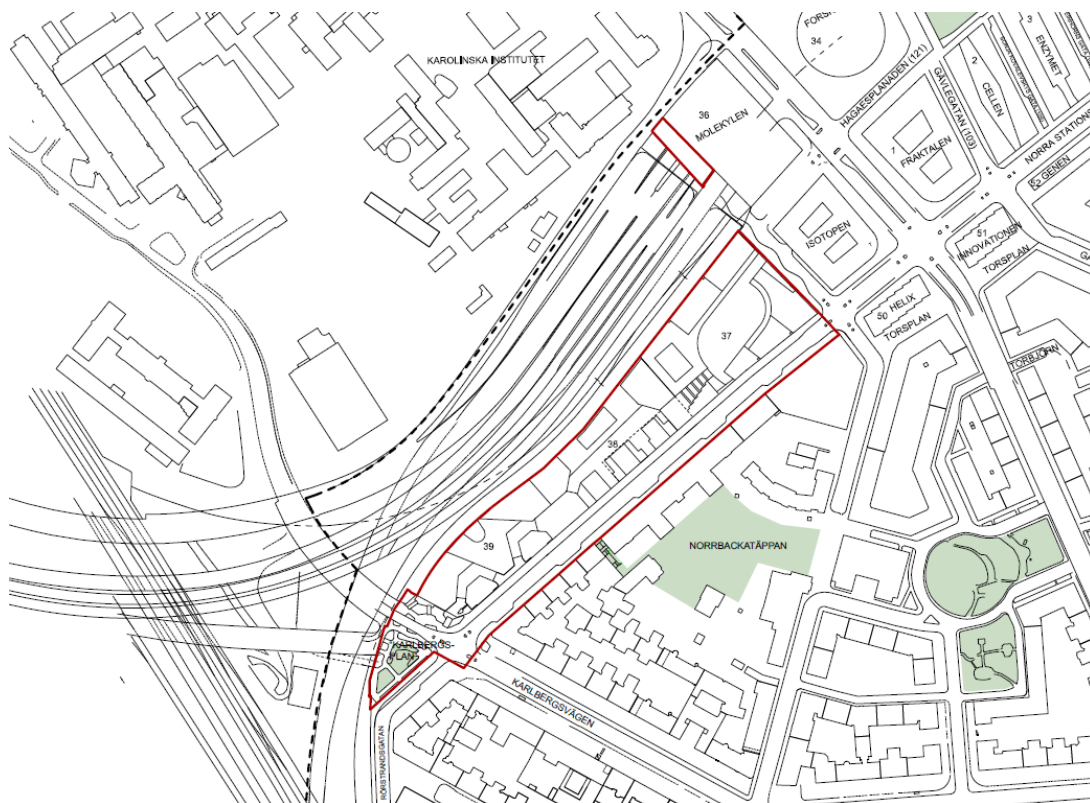
Västra Hagastaden är en del av stadsutvecklingsområdet Hagastaden och utgörs av en remsa mark söder om Torsplan i anslutning till Norra Stationsgatan. Marken är uppdelade i tre kvarter som benämns kvarter 37, 38 och 39. Marken är i dagsläget oexploaterad. Detaljplanen syftar till att planlägga den västra delen av stadsutvecklingsområdet Hagastaden med idrott, kontor och verksamheter kopplat till livsvetenskapssektorn samt nya bostäder.

Hagastaden som helhet bildar en ny årsring till Stockholms innerstad där ambitionen är att skapa en modern stenstad med innerstadens stadsqualiteter. Detaljplanens mål är att fortsätta utveckla högkvalitativa stadsmiljöer med blandade funktioner i Hagastaden som beaktar och förhåller sig till den befintliga stadsmiljön av riksintresse i Vasastaden. Bebyggelsen är som högst i öster, mot de centrala delarna av Hagastaden, för att sedan trappas ned mot väster och möta den klassiska stenstadens skala.

Vidare syftar detaljplanen till att utveckla Norra stationsgatan som stadsgata samt skapa en skyddande bebyggelse mot infrastrukturlandskapet som ger en ny stadsfront norrut. Längs med Norra stationsgatan planeras en sekvens av mindre kvarterstorg och i väster, i mötet med Karlbergsvägen och Rörstrandsgatan, tillskapas en ny mindre park genom omvandling av befintliga trafikyor.

Planförslaget möjliggör totalt ca 185 lägenheter, ca 77 500 kvm ljus BTA lokaler (kontor och centrumändamål), ca 13 000 kvm idrotts- och kulturlokaler samt nya offentliga platser i form av gator och ca 1200 kvm ny park.

En översiktbild av detaljplanen presenteras i Figur 1.



Figur 1. Översikt av aktuell detaljplan (rödmarkering utgör plangräns).

Föreliggande rapport innebär en platsspecifik riskbedömning för hela området Västra Hagastaden. Rapportens övergripande syfte är att uppfylla de krav på riskhantering som ställs i Plan- och bygglagen. Riskbedömningen ska därmed ses som en rekommendation utifrån rådande lagstiftning och riktlinjer och verka som ett beslutsunderlag inför beslutsfattande om markanvändningen är lämplig avseende människors hälsa och påverkan på tredje man.

1.2 Omfattning och avgränsningar

Riskutredningen omfattar endast plötsliga och oväntade händelser med akuta konsekvenser för liv och hälsa för människor. Analysen beaktar inte långvariga effekter av hälsofarliga ämnen, buller eller miljöfarliga utsläpp från exempelvis förorenad mark.

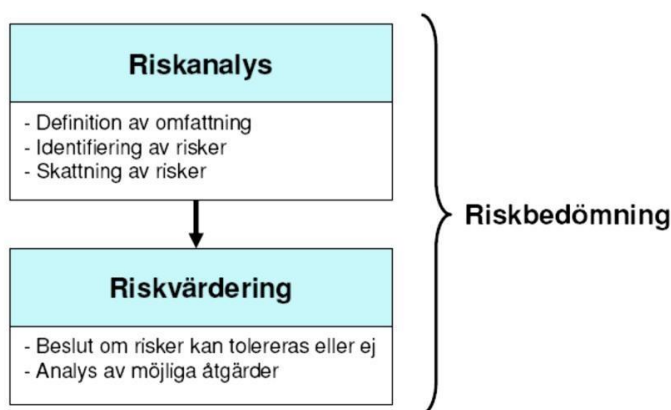
Planområdet omfattar den uppförda skyddszon som återfinns ovanför tunnelmynning framför kvarter 36 (Molekylen). Ytan ska ombildas från allmänplats till kvartersmark. Utifrån ett riskhanteringsperspektiv är det av vikt att markanvändningen inom skyddszonen inte förändras. Mot denna bakgrund föreslås en skyddsbestämmelse som reglerar att ytan inte får utformas för stadigvarande vistelse.

Utifrån elsäkerhetsregelverken (ELSÄK-FS 2022:1) förtydligas att särskilda säkerhetsåtgärder ibland kan behövas vid uppförande av högre byggnader inom 10 meter från kontaktledning. Diskussioner med Trafikverket har genomförts inom ramen för planarbetet. Vägledning kring detaljerad kravställning saknas. Sett till hur planerade byggnader kommer uppföras utifrån föreskrivna skyddsbestämmelser och med hänsyn till tillämpbara krav i Boverkets Byggregler och de Europeiska Konstruktionsstandarderna är bedömningen att inga särskilda brandsäkerhetsåtgärder krävs i syfte att säkerställa en godtagbar risksituation med hänsyn till rasrisk vid händelse av brand inom planerade byggnader och att byggnadsdelar faller ned på järnvägsanläggningen. Risk för uppkomst av brand inom närliggande bebyggelse och negativ påverkan på järnvägsanläggningen belyses därför inte närmare inom denna utredning.

1.3 Definition riskbedömning

I denna riskbedömning används begreppet risk som produkten av sannolikhet att en negativ händelse ska inträffa och händelsens negativa konsekvenser.

Ett vedertaget sätt att beakta riskbedömning är att utgå från den standard som International Electrotechnical Commission (IEC) tagit fram. Utifrån IEC:s synsätt omfattar riskbedömning två delmoment; riskanalys och riskvärdering i enlighet med Figur 2:



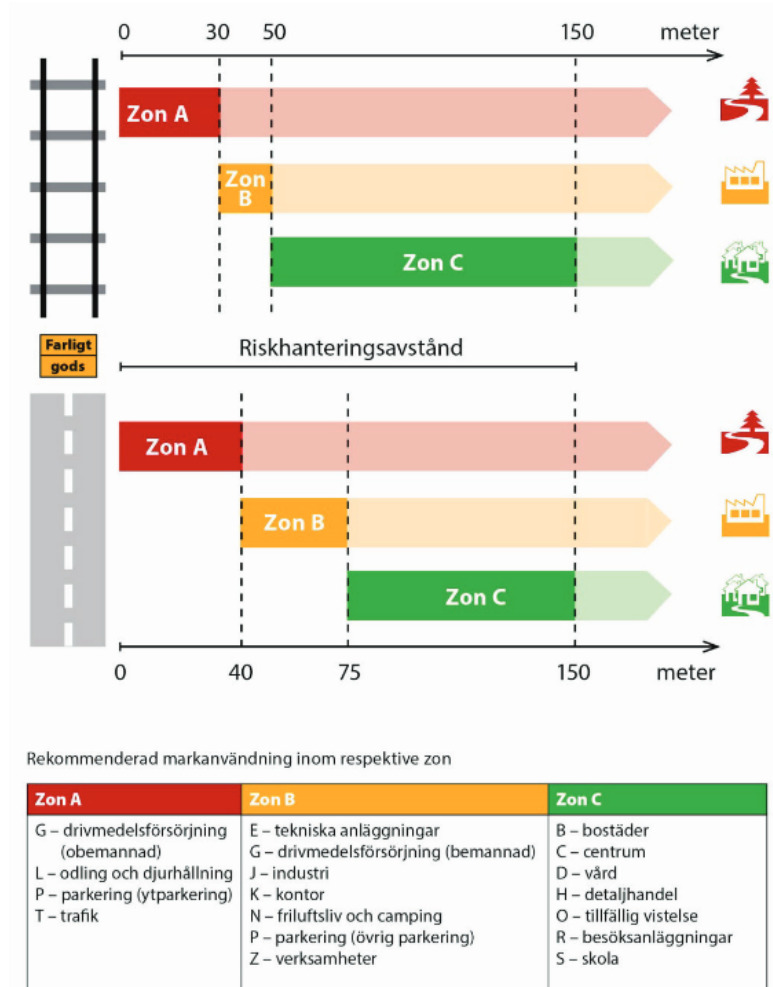
Figur 2. Definition av riskbedömning enligt IEC.

Risikanalys syftar till att identifiera risker/skadehändelser utifrån tillgänglig information. För att kunna göra en skattning av riskerna krävs bedömning av riskernas sannolikhet och konsekvens.

Risikvärderingen baseras på resultatet av risikanalysen och beräknar storleken på respektive risk samt om sammanvägningen av samtliga risker är acceptabel/tolerabel eller ej. Värderingen utgör underlag för hur de analyserade riskerna kan hanteras.

1.4 Riskhänsyn vid bebyggelse intill farligt godsled och farlig verksamhet

Sammanhållen bebyggelse ska utformas med hänsyn till behovet av skydd mot uppkomst av olika olyckor. Länsstyrelserna i Skåne-, Västra Götalands- och Stockholms län har arbetat fram en policy [1] för riskhantering i detaljplaneprocessen med riktlinjer för markanvändning intill transportleder för farligt gods. Riskpolicyn innebär att riskhanteringsprocessen beaktas i framtagandet av detaljplaner inom 150 meters avstånd från en farligt godsled. Vidare har Länsstyrelsen i Stockholms län tagit fram ett faktablad [2] som innehåller riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods. I faktabladet tydliggör Länsstyrelsen rekommenderade skyddsavstånd mellan transportled för farligt gods och olika verksamheter enligt Figur 3.



Figur 3. Länsstyrelsens rekommendationer avseende skyddsavstånd till led för farligt gods från respektive kvartersmark [1].

Primära farligt godsleder: För primära farligt godsleder anser Länsstyrelsen att det ska finnas ett bebyggelsefritt avstånd om minst 25 meter och särskilda skyddsåtgärder oavsett vad riskutredningen kommer fram till. Länsstyrelsen bedömer att de skyddsavstånd och skyddsåtgärder som förtydligas utgör ett minimum för att uppfylla kraven i PBL.

Sekundära farligt godsleder: För sekundära leder tydliggör Länsstyrelsen att det är svårt att göra en allmängiltig vägledning eftersom riskbilden kan variera väldigt mycket mellan olika leder. Länsstyrelsen anser dock att det, för de flesta sekundära leder, behöver finnas ett bebyggelsefritt skyddsavstånd om minst 25 meter och att det inte är sannolikt att ett skyddsavstånd på mindre än 15-20 meter kan anses tillräckligt för att uppfylla kraven i PBL.

Förutom ovanstående riktlinjer förekommer ytterligare ett antal föreskrifter avseende risk och säkerhet som kan vara relevanta i planärenden. Dessa berör i första hand hantering och rutiner för olika typer av riskkällor som kan vara värda att beakta. Exempelvis så ger Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) ut föreskrifter för hantering av olika brandfarliga och explosiva ämnen.

1.5 Värdering av risk

Det saknas nationella kriterier för riskvärdering för tredje man. Generellt vid bedömning av huruvida en risk kan accepteras eller ej bör hänsyn tas till vissa faktorer. Exempelvis bör riskkällans nytta vägas in, likaså vilken som är den exponerade gruppen samt huruvida risk för katastrofer föreligger. De principer som vanligen anges är enligt [3]:

- Principen om undvikande av katastrofer. Katastrofer ska undvikas.
- Fördelningsprincipen. Riskerna bör vara skäligt fördelade inom samhället i relation till de fördelar som verksamheten medför.
- Rimlighetsprincipen. En verksamhet bör inte innebära risker som med rimliga medel kan undvikas.
- Proportionalitetsprincipen. De totala risker som en verksamhet medför bör inte vara oproportionerligt stora jämfört med de fördelar (intäkter, produkter och tjänster, etc.) som verksamheten medför.

Dessa principer indikerar att hänsyn bör tas till kostnader för säkerhetshöjande åtgärder, att en riskkällans nytta ska vägas in samt att olika värderingar kan göras beroende på om den exponerade gruppen har en personlig nytta av riskkällan eller ej. Vidare ska risker ej accepteras om de på ett enkelt tekniskt och icke kostsamt sätt kan undvikas.

Vidare har DNV på uppdrag av Räddningsverket (nu MSB) tagit fram förslag på kvantitativa riskmåttgällande individ- och samhällsrisk [4]. Dessa kriterier används generellt vid planläggning intill primära transportleder för farligt gods och andra typer av farliga anläggningar där riskkällan kan vara ett permanent hot för tredje man.

1.5.1 Individ och samhällsrisk

Individrisk: Individrisken uttrycks som sannolikheten att en person, som står på en given plats, ska omkomma under ett år. Individrisken tar ingen hänsyn till hur många personer som kan påverkas av en skadehändelse.

Samhällsrisk: Vid beräkning av samhällsrisk beaktas även hur stora konsekvenserna kan bli för en skadehändelse, detta med avseende på antalet personer som kan påverkas vid olycka. Vid bedömning av samhällsrisk tas hänsyn till hur persontätheten varierar under dygnet och hur stor andel personer som förväntas befinna sig inomhus respektive utomhus. Exempelvis kan persontätheten kring en skola förväntas vara hög under dagen och nästintill obefintlig under natten.

Samhällsrisk redovisas ofta med en så kallad FN- kurva, vilken visar sambandet mellan den ackumulerade frekvensen, F, för samtliga olyckor och antal omkomna, N, på grund av dessa olyckor. Kurvan åskådliggör den förväntade frekvensen för ett visst antal döda av olycka involverande farligt gods.

Acceptanskriterier

Risken kan värderas som acceptabel, tolerabel eller oacceptabel:

- Om risken är oacceptabel måste åtgärder vidtas
- Om risken är tolerabel (det s.k. ALARP-området (As Low As Reasonably Practicable) ska åtgärder värderas och vidtas om kostnaden är rimlig. Högre kostnader kan accepteras för risker nära det oacceptabla området, än för risker nära det acceptabla.
- Om risken är acceptabel behöver inte åtgärder vidtas men det bör ändå undersökas. Åtgärder som medför små kostnader bör ändå vidtas.

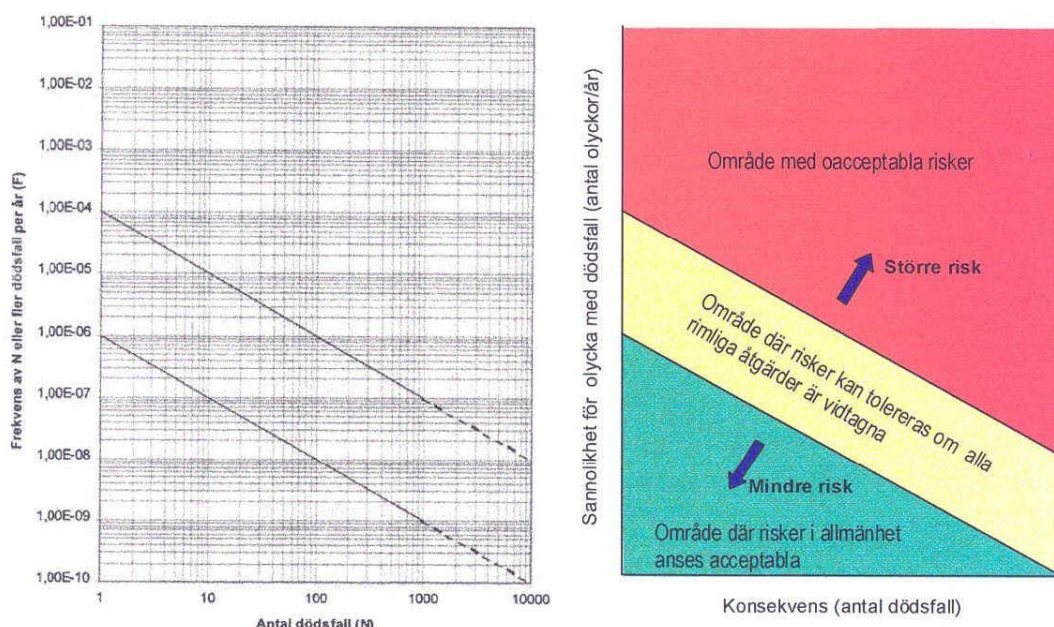
För individrisk föreslår Räddningsverket [4] följande kriterier:

- Övre gräns för ALARP-området: 10^{-5} per år
- Undre gräns ALARP-området: 10^{-7} per år

För samhällsrisk föreslår Räddningsverket [4] följande kriterier:

- Övre gräns för ALARP-området: 10^{-4} per år för $N=1$, med lutning på FN-kurva: -1
- Undre gräns för ALARP-området: 10^{-6} per år för $N=1$, med lutning på FN-kurva: -1

I Figur 4 förtydligas appliceringen av DNVs förslag på kriterier för samhällsrisk.



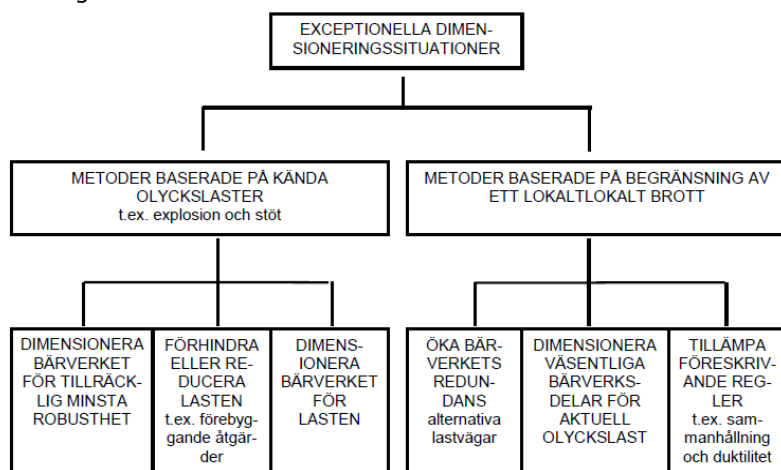
Figur 4. Räddningsverket via DNV – Förslag på kriterier för samhällsrisk.

Ovanstående kriterier grundar sig i att en sträcka om motsvarande 1 km studeras.

I samband med samhällsplanering är det vidare viktigt att beakta kopplingen mellan risktagande och den samhällsnyttan som erhålls av risktagandet [3][4].

1.5.2 Detaljplanens möjliggörande av uppfyllnad av tekniska egenskapskrav enligt PBL och PBF.

Den mest tydliga och juridiskt bindande vägledningen för hantering av olycksrisker ges i Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk (SS-EN 1990) samt Eurokod 1 – Laster på bärverk – del 1-7: Allmänna laster – Olyckslast (SS-EN 1991-1-7) där planläggning intill en farligt godsled innebär att farligt godsolyckor och andra olyckshändelser såsom avåkning, som kan innebära konsekvenser på byggnadens bärighet är att betrakta som kända olyckslaster, i enlighet med Figur 5.



Figur 5. Metod för hantering av exceptionella dimensioneringssituationer enligt vägledning i SS-EN 1990-1-7 vilken är införlivad i de svenska byggnormerna genom EKS 11.

Förenklat kan sägas att vägledning enligt Eurokoderna anger minimikraven för vilka medlemsländerna har förbundit sig att efterleva, vilka finns införlivade i aktuell version av EKS (BFS 2019:1). Nedan återges de grundläggande dimensioneringsreglerna.

SS-EN 1990

I SS-EN 1990 anges brottsannolikheter för bärande konstruktionsdelar utifrån konsekvenserna av risken för kollaps. För bostäder som inryms i klass CC2 anges att den årliga brottsannolikhet av bärverk som risker att ge upphov till ett fortskridande ras ska visas vara mindre än 10^{-6} . För klass CC3 där ännu mer känsliga byggnadstyper (t.ex. större sjukhus) hamnar ska den årliga brottsannolikheten vara mindre än 10^{-7} , se förklarande tabeller åskådliggjorda i Figur 6 nedan. Det bör noteras att brottsannolikheterna avser en helhetsbedömning av samtliga möjliga händelser som kan föranleda brott på bärverksdelar, olycksrisker förknippade med farligt godsolyckor utgör således en bidragande faktor. Som grundläggande krav tydliggörs att ett bärverk ska dimensioneras och utföras på ett sådant sätt att det inte skadas av händelser såsom:

- Explosion,
- påkörning och
- konsekvenser av mänskliga misstag

i en omfattning som står i rimlig proportion till den ursprungliga orsaken.

Tabell B.2 – Rekommenderade minimivärden för säkerhetsindexet β (brottgränstillstånd)

Säkerhetsklass	Minimivärden för β	
	referensperiod 1 år	referensperiod 50 år
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

Tabell C.1 – Samband mellan β och P_f

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

Figur 6. Förklarande tabeller hämtade från SS-EN 1990.

Mer detaljerad vägledning avseende beaktande och hantering av olyckslaster ges i SS-EN 1991-1-7.

SS-EN 1991-1-7

Vilka olyckslaster som bör beaktas beror av:

- Vilka åtgärder som vidtagits för att förhindra eller reducera allvarligheten av en olyckslast
- Sannolikheten för att en känd olyckslast ska uppträda
- Konsekvenserna av ett brott på grund av den kända olyckslasten
- Allmänhetens uppfattning
- Acceptabel risknivå

För bedömning av acceptabel risk ges vägledning avseende tillämpbara riskacceptanskriterier, dessa ska normalt utgå från:

- den individuellt acceptabla risknivån: individuella risker uttrycks ofta som andelen olyckor med dödlig utgång. De kan uttryckas som en årlig sannolikhet för dödsfall eller som sannolikheten per tidsenhet för ett enskilt dödsfall under utövande av en viss aktivitet.
- den socialt acceptabla risknivån: den socialt acceptabla risken för dödsfall, som kan variera över tiden, redovisas ofta som en F-N-kurva som indikerar en maximal årlig sannolikhet F för en olycka med fler än N skadefall.

Vidare har ett nationellt val avseende acceptabel risknivå för extrema olyckslaster har gjort i EKS 11 enligt följande:

Stycke 3.2(1) Anm. 3

2 § Risknivån får inte vara högre än vad som svarar mot säkerhetsindex $\beta = 3,1$ för olyckslaster och $\beta = 2,3$ för fortskridande ras för referenstiden 1 år.

Kommentarer:

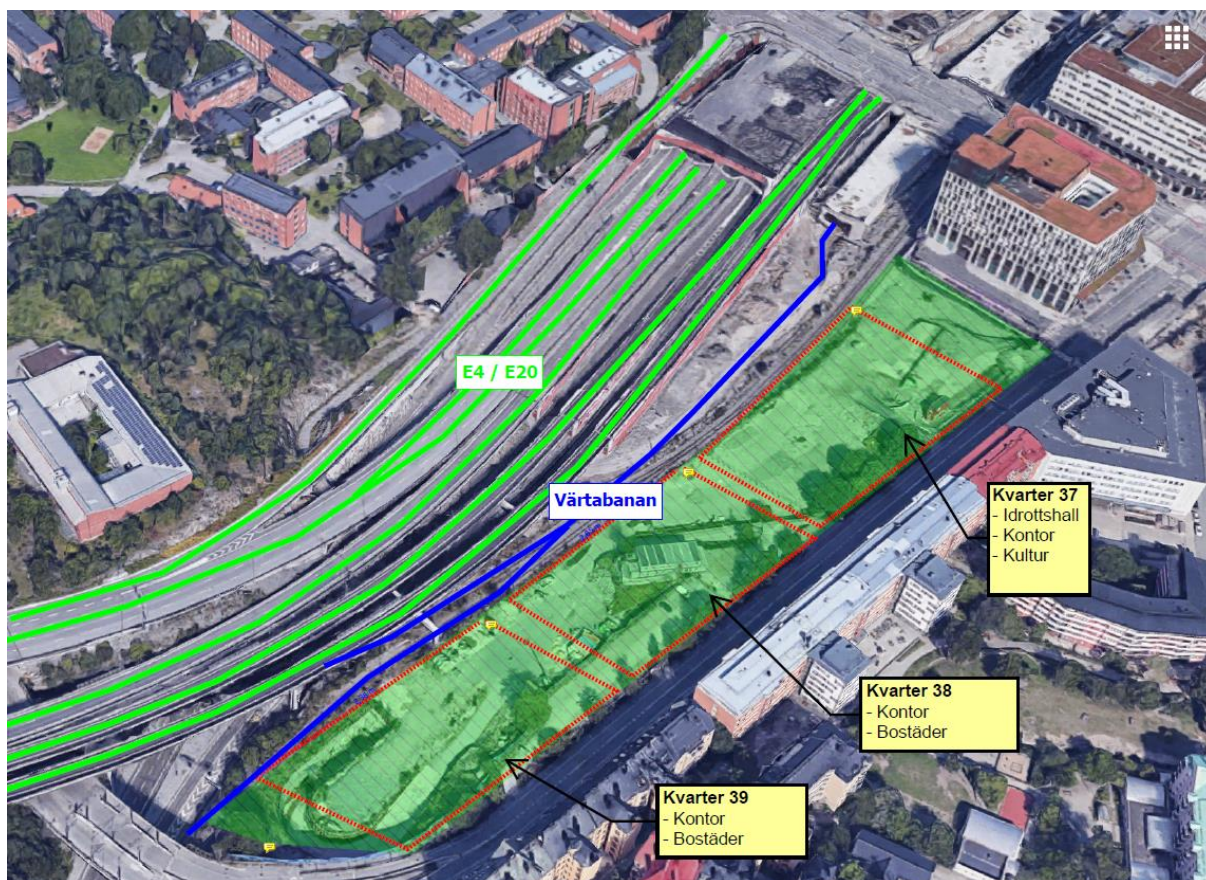
Konsekvenserna explosionsförlopp som kan uppstå till följd av en farligt godsolycka på närliggande transportled innebär ett hot mot närliggande byggnaders integritet och kan i värsta fall innebära ett fortskridande ras och kollaps av byggnad, med ett stort antal förväntade omkomna inom byggnaden. Det samma gäller vid risk för urspärning av tåg och mekanisk verkan. Vid planläggning där sådana risker är förekommande kan således grundkravet tolkas som att detaljplanen ska skapa förutsättningar/säkerställa att planerade byggnader kan uppföras i enlighet med Eurokoderna och EKS, där angivna krav bör betraktas som minimumnivån för uppfyllnad av PBL i avseendet att hantera extrema olyckslaster.

2 Förutsättningar

2.1 Områdesbeskrivning

Området Västra Hagastaden är idag oexploaterad mark som använts som yta för bl.a. parkering och byggetablering för närliggande entreprenader. Nordväster om planområdet passerar Värtabanan på banvall och bortom Värtabanan går E20/E4-ans körfält som binds samman i Norra länkens tunnelmynning. Stambanan/Ostkustbanan löper väst om planområdet men på ett avstånd av mer än 150 m.

En översikt av planområdet i förhållande till omgivningen presenteras i Figur 7.



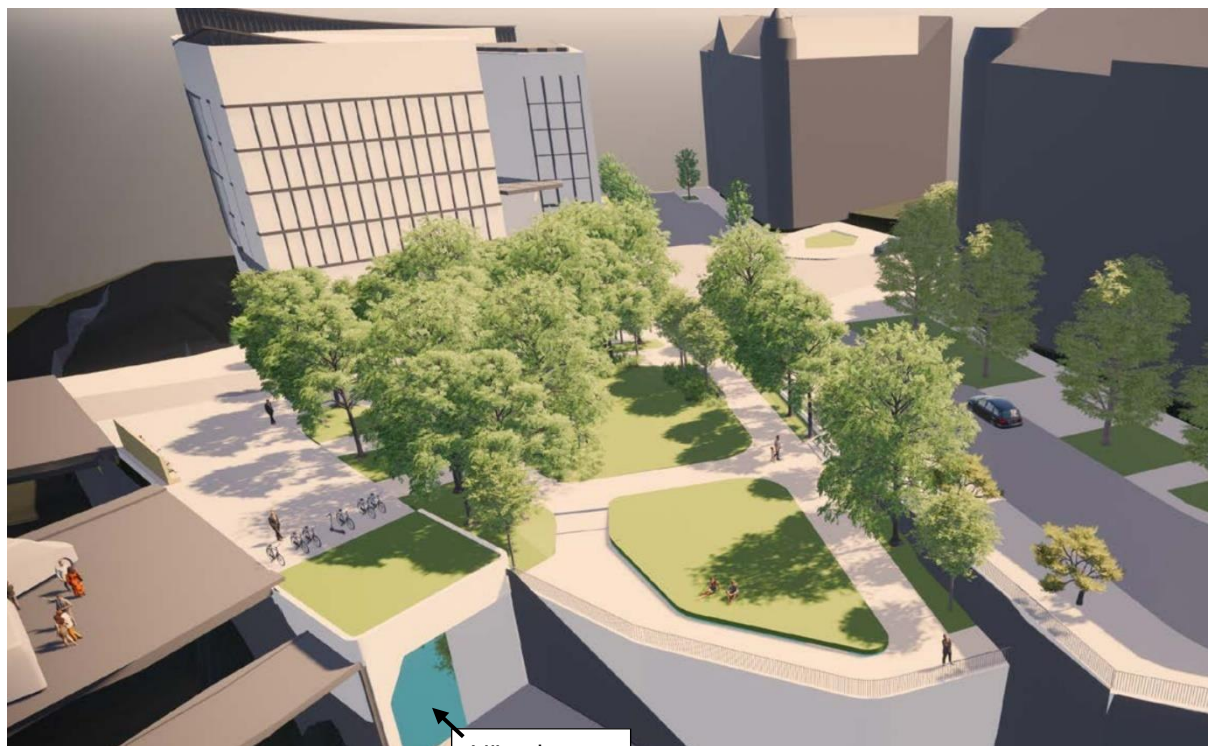
Figur 7. Översikt av planområdet i förhållande till näromgivningen. Observera att markeringarna endast är indikativa och inte utgör exakt dragning av linjer för detaljplanen Västra Hagastaden eller de tre ingående kvarteren 37, 38 och 39. Källa: Google Maps.

Planförslaget möjliggör totalt ca 185 lägenheter, ca 77 500 kvm ljus BTA lokaler (kontor och centrumändamål), ca 13 000 kvm idrotts- och kulturlokaler samt nya offentliga platser i form av gator och ca 1200 kvm ny park. Mer ingående information om respektive kvarter presenteras nedan.



Västra Hagastaden							
TOTAL area kvartersmark		ca 19 3000 kvm		Totalt antal bostäder		186 st	
Kvarter	Byggsaktör	Kvarter/fastighetsyta	Innehåll	BTA samrådsförslag (ca)	Totalt ljus BTA (ca)		Totalt BTA (ca)
37	Vectura och KFUM Central	ca 8300 kvm	Idrott och kultur Kontor Gård inkl trappa	13 000 kvm 27 000 kvm 3 000 kvm	30 000 kvm		52 000 kvm
38N	Humlegården AB	ca 4100 kvm	Kontor Bostad 40 Gård	19 000 kvm 2 100 kvm bostäder 870 kvm	21 000 kvm		28 000 kvm
38S	Seniorgården AB	ca 1100 kvm	Bostad 62 Gård	5 800 kvm bostäder 300 kvm	6500 kvm		8000 kvm
39	Vectura Fastigheter AB	ca 4700 kvm	Kontor Bostad 84 Pocket_entreplats	13 400 kvm 2 800 kvm bostäder 300 kvm	20 000 kvm		30000 kvm
Kvarterstorg							
	Lilla torg	ca 300 kvm					
	Stora torg	ca 700 kvm					

Marken mellan planerade byggnader och infrastrukturanläggningar kommer inte vara tillgänglig för tredje man. Intill Värtabanan, på korta avstånd, planeras parkmark som uppmuntrar till stadigvarande vistelse. Den nya offentliga platsen, kallad Karlsberg Plats åskådliggörs i bild nedan. Mellan Värtabanan, där den går i det fria, och Karlsberg Plats finns en positiv höjdskillnad om cirka 7 meter.



Värtabanan

2.2 Farligt godstransporter samt prognos av trafikflöden

2.2.1 Leder för transport av farligt gods

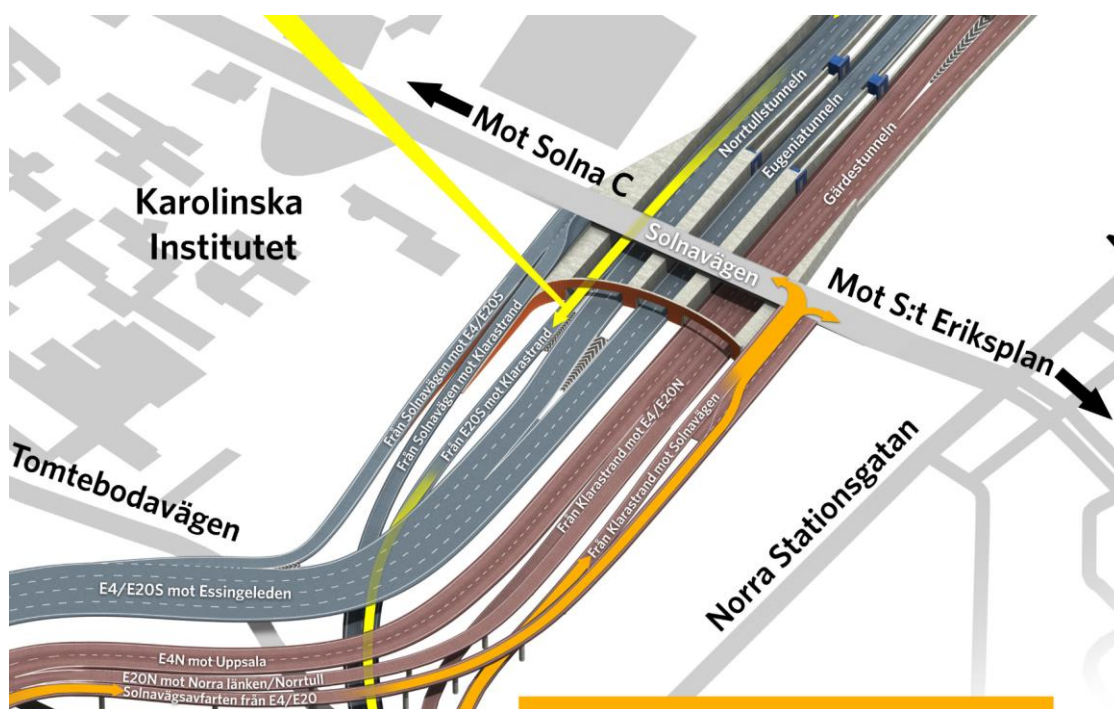
2.2.1.1 Värtabanan

Värtabanan som löper längs med området Västra Hagastaden är namnet på den enkelspåriga järnvägssträcka som går mellan Tomtebodavägen och Värtahamnen samt Frihamnen och Loudden. I och med intunnlingen av vägarna under Hagastaden har Värtabanan, likt vägtunnlarna, däckats över mellan Solnavägen och Norrtull. Den del som ligger närmast Västra Hagastaden ligger däremot i det fria och på samma markhöjd som planområdet. Hastighetsbegränsningen på banan är generellt 70 km/h och banan är försedd med hastighetsreglerande säkerhetssystem (ATC) med syfte att förbygga kollisioner mellan tåg. Järnvägssträckan förbi planområdet utgörs av rakspår. I höjd med planområdet finns även en växel med skyltad hastighet 40 km/h samt en plankorsning för servicefordon/blåljus för access till tunneln via avfart från Klarastrandsleden (ej tredje man). Sträckan som går längs planområdet uppgår till ca 385 meter. Avståndet från Värtabanas centrumlinje till närliggande byggnader uppgår till cirka 10 meter. Värtabanan utgör ett riksintresse och det finns inga restriktioner avseende farligt godstransporter.

2.2.1.2 E20/E4:an

E4 och E20 är primär led för transport av farligt gods och utgör den primära transportsträckan för all trafik som ska åka förbi Stockholm. Dessa förutsättningar kommer att gälla tills det att förbifart Stockholm är färdigställt och väg E4 istället leds förbi Stockholm genom ett tunnelsystem.

E4/E20 utgör en av de mest trafikerade vägarna i Sverige. Västra Hagastaden ligger precis intill tunnelmynningen till Gärdestunneln (norrgående körfält) samt Eugeniätunneln och Norrtullstunneln (Södergående körfält). Vid Norrtull delar sig vägarna, E4 går norrut, medan E20 fortsätter vidare österut mot Värtahamnen. E20/E4:ans körbanorna intill Västra Hagastaden ligger på en upphöjd nivå ovanför marknivå som uppskattas till ca. 5-10 meter ovanför marknivån av detaljplanen Västra Hagastaden.



Figur 8. Illustrativ bild som visar vägnätet och tunnlar nära Västra Hagastaden (Hämtad 2020-09-24 från: <https://trafiken.nu/contentassets/fa8b8f1986cd4fe8b3ac79fd04e46bf7/norra-lanken-tomteboda-norrtull-april2017.jpg>).

E4/E20 utgör primär transportled för farligt gods. På- och avfartsramper tillhörande en primär transportled för farligt gods är generellt klassade på samma sätt som transportleden även om de ansluter till vägar som inte är klassade som farligt godsleder. Detta innebär att avfartsramp mellan E4/E20 och Solnavägen också utgör primär transportled för farligt gods.

Länsstyrelsen har beslutat om att ge Norra länken, delen under Hagastaden, tunnelkategori B med ett undantag om transporter av ADR-S klass 2 klassificeringskoderna F, TF och TFC. Detta innebär att transporter av explosivt ämne över 1 ton är förbjudna att transporteras genom tunneln. I ett led innebär detta att dessa typer av transporter ej förväntas köras på aktuell sträcka av E4/E20 förbi planområdet Västra Hagastaden.

Vidare finns även restriktioner vad gäller farligt gods hantering inom Stockholms Hamnar. Dessa restriktioner är av betydande för det förväntade farligt godsflödet genom Norra Länken samt det potentiella farligt godsflödet på Värtabanan och presenteras i Bilaga B.

2.2.2 Avstånd mellan planområdet Västra Hagastaden och leder för farligt gods

Avstånd mellan de olika kvarteren inom Västra Hagastaden och Värtabanan samt E20/E4:ans körbanor som klassas som farligt godsled är enligt tabellen nedan:

Tabell 1. Horisontellt avstånd från farligt godsleder till bebyggelse inom Västra Hagastaden med hänsyn till skyddsavstånd på 10 m till Värtabanans centrumlinje. Avstånden är uppmätta på karttjänster och är därför ungefärliga. Uppmätta avstånd är mätta konservativt från den punkt på kvarteren som ligger närmst körbanan och avrundade nedåt.

Led	Avstånd till Kv. 37	Avstånd till Kv. 38	Avstånd till Kv. 39
Värtabanan	10 meter	10 meter	10 meter
Avfartsramp E20	33 meter	18 meter	15 meter
Körfält E20	47 meter	30 meter	25 meter
Körfält E4	65 meter	55 meter	40 meter

2.2.3 Antal farligt godstransporter på E20/E4

Staden har tillsammans med Trafikverket under maj och oktober 2015 utfört mätningar av farligt gods transporter analyserat flödet av farligt gods inom på omkring 15 platser i Stockholmsregionen [7]. I genomsnitt registrerades det 665 passager per dag på en vardag och 225 passager per dag under en lördag eller söndag. Generellt gjordes det ungefär tre gånger så många passager på vardagar. Från mätningarna tydliggörs att majoriteten av farligt godstransporten utgörs av brandfarliga vätskor samt styckegods.

I Tabell 2 återges en sammanställning av uppskattad mängd farligt godstransporter per år, vilken baseras på ett uppräknat medelvärde av resultaten från utförda trafikmätningar samt den kartläggning (statistik inhämtad från polisen och transportbolagen) av transporter av explosiva ämnen som togs fram inom ramen för Norra Stationsprojektet.

Tabell 2. Sammanställning av förväntat antal farligt godstransporter per år.

ADR-S klass	Typ av farligt gods	Antal transporter per år
1.1 – 1.6	<u>Explosiva ämnen</u> (majoritet är 1.1)	
	• 60 kg eller lägre (50 %)	843
	• 60 – 500 kg (35 %)	590
	• 500 – 1000 kg (10 %)	169
	• > 1000 kg (5 %) – förbjudna	-
2.1	<u>Brandfarliga gaser</u> (främst metan)	
2.2	• Bulktransport	2449
2.3	• växelflak	2758
	<u>Ikke brandfarliga, icke giftiga gaser</u>	2250

	<u>Giftiga gaser</u> (främst sprayfärg mm)	46
3	<u>Brandfarliga vätskor</u> (främst bensin, diesel)	31 643
4	<u>Brandfarliga fasta ämnen, etc.</u>	237
5	<u>Oxiderande ämnen och organiska peroxider</u>	267
6	<u>Giftiga ämnen</u>	148
7	<u>Radioaktiva ämnen</u>	0
8	<u>Frätande ämnen</u>	1453
9	<u>Magnetiska material och övriga farliga ämnen</u>	3707
Styckegods	-	14 782
Totalt antal		59 312

Det är stor osäkerhet när det gäller den framtida trafikutveckling för E4/E20, detta då de framtida trafikflöden styrs av byggnation och öppnandet av Förbifarten samt den eventuella byggnationen av Östlig Förbindelse. Enligt uppgifter från Trafikverket har förutsättningen vid framtagandet av Förbifarts Stockholms säkerhetskoncept varit att denna ska upplåtas för all typ av farligt godstrafik (A-klass). Den förväntade avlastning av tung genomfartstrafik som Förbifart Stockholm kan förväntas medföra kommer med stor sannolikhet leda till en betydande minskning av farligt godstransporter vid Norrtull. Riskexponeringen från E4/E20 kan således i framtiden förväntas minska sett till dagens situation.

2.2.3.1 Avfartsramp till Solnavägen

Solnavägen är sedan 2016 inte längre utpekad som en rekommenderad sekundär farligt godsled, dock förväntas transporter av brandfarlig vätska, samt en mindre del gaser (enbart växelflak) på Solnavägen med lokala bensinstationer och Karolinska Sjukhuset och Karolinska Institutet som mål. Det finns inga indikationer på att någon/några tillkommande verksamheter som genererar ytterligare farligt godstransporter på Solnavägen kommer tillkomma i framtiden.

Enligt Länsstyrelsens föreskrifter [8] gäller ett förbud mot genomfartstransporter av farligt gods samt ett förbud mot alla tanktransporter med vissa särskilt giftiga respektive brännbara gaser och brandfarliga vätskor innanför tullarna i Stockholms stad. Med hänsyn till detta bör det vara ett mycket begränsat antal farligt godstransporter som trafikerar på- och avfartsramperna mellan E4/E20 och Solnavägen.

I denna riskutredning görs uppskattningen att ca. 1 % av de transporter med brandfarliga gaser och brandfarliga vätskor som går på E4/20 kommer att gå på avfartsramp på Solnavägen. Detta betyder att 30 transporter med brandfarlig gas på växelflak samt 300 transporter med brandfarlig vätska förväntas gå på avfartsrampen.

2.2.3.2 Omledningsvägnät

Trafikverket, Stockholm stad samt Solna stad har upprättat ett avtal gällande omledning för den aktuella sträckan av E4/E20 [9]. Syftet med avtalet är att säkerställa framkomligheten vid planerade drift- och underhållsåtgärder i Hagastadens tunnlar samt att underlätta framkomligheten vid akuta störningar och hinder. I avtalet redovisas olika omledningsnät för persontrafik, tung trafik respektive farligt godstransporter. Omledningsvägnätet för farligt gods utgörs av väg 275 (Drottningholmsvägen), väg 279 (Ulvsundavägen) och E18 (Kymplingelänken). Därmed planeras ingen omledning av farligt godstransporter via ytvägnätet i direkt anslutning till det studerade området Västra Hagastaden.

2.2.4 Transporter på Värtabanan

På Värtabanan går ingen persontrafik utan banan används enbart för transport av gods. Typ av gods på Värtabanan styrs målpunkternas verksamhet, detsamma gäller därmed typ och mängd av farligt gods på Värtabanan. Med stöd från detta anses det inte vara lämpligt att utgå från generell statistik baserat på kartläggningar över de stora transportstråken vid riskbedömning. Prognoser för Värtabanan tillhandahållna av Trafikverket för år 2040 påvisar ett transportflöde om 5-6 tågset per dygn.

Målverksamheten för Värtabanan kommer även förändras i samband med utvecklingen av Norra Djurgårdsstaden. Detta då efter avvecklingen av Loudden och Containerterminalen i Frihamnen så kommer Värtabanas anslutningar mot Frihamnen respektive Loudden att avvecklas.

Järnvägstransporter på Värtabanan kommer därmed framgent enbart att ske till Värtahamnen respektive Energihamnen, varav majoriteten kan förutsättas vara transporter av fast biobränsle (restprodukter från skogs- och sågverksindustrin, t.ex. flis, grenar och spån) till Värtaverket och i mindre utsträckning brandfarlig vätska till Cementa och Stockholms Hamnar. Miljötillstånd för BECCS lyfter flytande transporter av koldioxid via järnvägen som alternativ tilltransport på vattnet vilket är det primära alternativet. Koldioxid är ej brandfarlig och ej giftig dock förknippad med viss kvävningsrisk vid större utsläpp.

Som det ser ut idag är det enbart reguljär färjetrafik (passagerarfartyg) i Värtahamnen som samlastas med viss mängd gods (så kallade ROPAX). Det järnvägsgods som Stockholm Hamnars verksamhet primärt ger upphov till i dagsläget utgörs av transporter av nytillverkade bilar som lastas om på järnvägsvagn i Värtahamnen. Inga fartyg som transporterar spårbunden farligt gods anlöper Värtahamnen. Det finns även vissa restriktioner för vilka farligt godsklasser och mängders som får hanteras inom Stockholms Hamnar (se Bilaga B). Givetvis kan inte uteslutas att nya rederier, med kapacitet att hantera spårbundet gods, börjar angöra Värtahamnen i framtiden. I enlighet med Stadens strategi att flytta den tyngre godshanteringen till Norvik anses dock en utveckling som innebär en betydande ökning av farligt godstransporter på Värtabanan som osannolik.

Med stöd utifrån inventeringen avseende målpunkternas farligt godshantering kan konstateras att mängden farligt godstransport som är att förvänta på Värtabanan i framtiden är mycket begränsad och i denna riskutredning förutsätts denna vara uteslutande av typen brandfarlig vätska (Klass 3) och att 1% av de totala antal godsvagnar som går på Värtabanan utgör farligt gods av denna klass.

2.2.5 Sammanställning av farligt godsflöden vid planområdet

Utifrån sammanställningen av farligt godsflöden kan följande slutsatser dras:

- Majoriteten av farligt gods transporterna på det närliggande vägnätet förväntas gå på E4:ans körbanor. Samtliga typer av farligt gods förväntas kunna transporteras på denna led men rådande tunnelklassificering för Norra Länken medför dock ett förbud av genomfartstrafik av större transporter med explosivämnen (> 1000 kg explosiva ämnen).
- Stockholms hamnars restriktioner begränsa typen av farligt gods som kan förväntas gå på E20 till brandfarlig gas och brandfarlig vätska.
- Enbart mindre mängder av brandfarlig vätska och brandfarlig gas (växelflak) är att förvänta på avfartsramp mot Solnavägen.
- På Värtabanan förväntas primärt biobränsle transporteras.

I Figur 9 presenteras en översiktlig sammanställning av transportflöden av farligt gods i förhållande till Västra Hagastaden:



Figur 9. Översiktlig sammanställning av transportflöden av farligt gods i förhållande till planområdet

3 Riskanalys

Riskanalysen utförs som det första steget i riskbedömningen, enligt beskriven metodik i avsnitt 1.3 och som visas i Figur 2. Inledningsvis görs en inventering av riskkällor (avsnitt 3.1) i anslutning till det studerade området. Riskinventeringen omfattar de riskkällor som kan innebära plötsliga och oväntade olyckshändelser med konsekvens för det aktuella området.

Identifierade risker analyseras vidare och skattas genom en riskkalkyl (avsnitt 3.2) via kvalitativa och kvantitativa bedömningar som ligger till grund för att jämföra den förväntade risknivån med föreslagna acceptanskriterier i avsnitt 1.5.

3.1 Riskinventering

Riskanalysen omfattar endast plötsliga och oväntade olyckshändelser med konsekvens för människor inom det aktuella planområdet. Inom planområdet har följande riskkällor identifierats som relevanta att analysera via riskanalys:

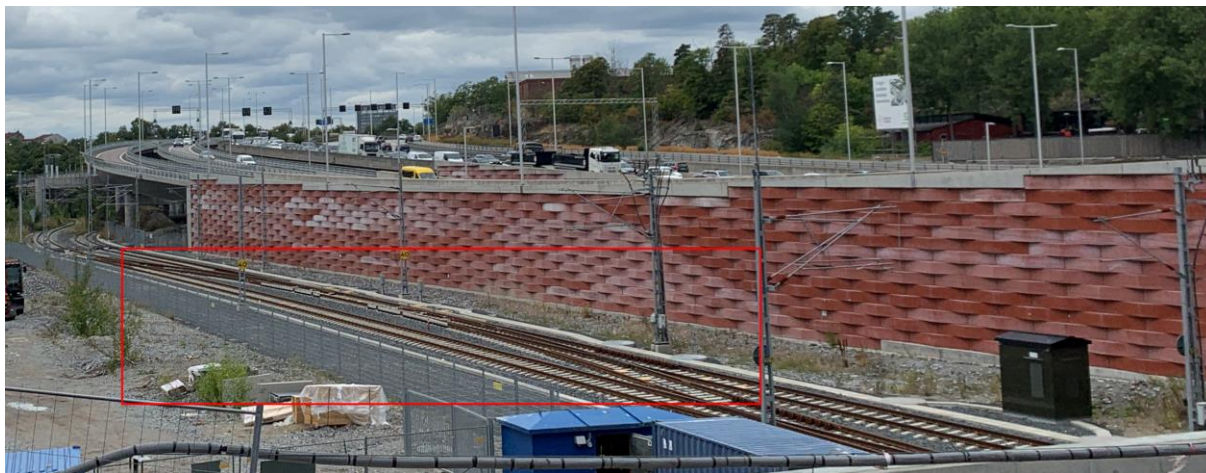
- Järnvägen Värtabanan
 - Urspårning
 - Tågbrand och farligt godsolycka
- Farligt godsolycka på E4/E20
- Övriga risker
 - Suicidrisk
 - Helikopterhaveri

3.1.1 Järnvägen Värtabanan

I närheten av planområdet löper järnvägen Värtabanan på banvall på ett avstånd om cirka 10 meter till planerad bebyggelsen, detta mätt från spårmit. De tänkbara olycksituationer som kan uppstå längs den aktuella järnvägssträckningen som är förknippade med omgivningspåverkan bedöms vara urspårning med risk för mekanisk påverkan på närliggande byggnader alternativt urspårning som leder till brand och/eller utsläpp av farligt gods (eller en kombination av dessa skadehändelser). Brand i tåg kan även uppstå av orsaker som inte är förknippade med urspårning såsom elfel, tjuvbroms eller motorbrand, sådana brandförlopp är emellertid att betrakta som mindre allvarliga varför omfattningen av omgivningspåverkan kan förväntas små. Brand i närliggande tunnel kan även föranleda rökspridning i planområdet. Rökspridningen bedöms dock ej vara direkt livshotande och människor i omgivningen kan förväntas sätta sig själva i säkerhet.

Majoriteten av alla urspårningar innebär mycket begränsad påverkan på kringliggande områden, då urspårningar främst karakteriseras av att ett hjulpar hoppar av spåret medan tåget förblir upprätt.

Urspårningar kan ske av en mängd olika orsaker. De vanligaste orsakerna är hjul-, axel- eller fjäderbrott i tågen, samt fel på spåret i form av rälsbrott och solkurvor. Även större främmande föremål på spåret kan föranleda urspårning. Spårväxlar utgör vidare en försvårande omständighet, dessa kan dels initiera urspårning t.ex. på grund av ett hjulbrott, dels är de i sig själva en svag punkt i spåret med möjliga fel på växeltungor, korsningar etc. Ett urspårat tåg som förblivit upprätt kan vidare välta i samband med passage genom växel. På aktuell sträcka vid Västra Hagastaden finns ett växelpar belägen i position där de två spåren möts, se Figur 10 nedan.



Figur 10. Positionering av Värtabanans spårväxlar i anslutning till planområdet.

Sannolikheten att ett urspårat tåg förflyttar sig från spårområdet givet olycka är beroende av flera faktorer. De mest betydande omgivningsfaktorerna (fordonsspecifika faktorer ej inkluderat) är främst tågets hastighet i samband med att urspårning sker, om växlar finns närvarande samt om det finns kraftiga kurvor och/eller sluttningar. För att en farligt godsolycka ska uppstå givet en urspårning krävs att en eller flera farligt godsvagnar välter och skadas på sådant sätt att det farliga ämnet släpps ut till atmosfären alternativt att en brand uppstår som sprider sig till den farliga lasten. Kopplat till de eventuella transporter av flytande koldioxid som kan bli aktuella via järnvägen som alternativ till transport på vattnet enligt miljötilståndet för BECCS behandlas dessa inte vidare. Bakgrunden till detta är att koldioxid ej är brandfarlig och ej är giftig samt att rådande planeringsförutsättningar innebär att kvävningsrisker inte kan uppstå i ytor där människor förväntas vistas stadigvarande. Olyckspotentialen med dessa eventuella transporter bedöms därför inte påverka riskbilden inom Västra Hagastaden i någon direkt omfattning.

Slutsats: För bedömning av riskerna som föreligger från Värtabanan utreds scenario där tåg spårar ut och kan leda till mekanisk påverkan samt det scenario där tågagn som innehåller farligt gods av ADR-S Klass 3 (brandfarlig vätska) skadas och leder till att en pölbrand uppstår. Scenariot med en pölbrand anses täcka in konsekvenserna från en större tågbrand med t.ex. biobränsle.

3.1.2 Farligt godsolycka på E4/E20/Avfartsramp

Samtliga tre kvarter inom Västra Hagastaden är riskexponerad från E4/E20 där farligt godstransport kan förväntas. Från inventeringen av trafikflöden av farligt gods kan vidare konstateras att flödet farligt gods på dessa trafikleder är relativt högt. Vidare utgör även avfartsrampen mot Solnavägen en riskexponering, dock om än i mindre omfattning sett till det ringa flödet av farligt gods.

Den typ av farligt gods som går på de respektive lederna redogörs för i avsnitt 2.2.3 och de potentiella skadescenarier som kan uppstå redogörs för i Bilaga A. Avstånden mellan kvarteren inom Västra Hagastaden och körbanorna är relativt korta; det minsta avståndet som uppmäts till kvarter 39 är 25 m från E20s körbana, 40 meter från E4:ans körbanor och 15 m till avfartsrampen mot Solnavägen. Givet rådande avstånd förväntas farligt godsolyckor kunna generera större påverkan inom planområdet.

Slutsats: För bedömning av riskerna som föreligger från farligt godsolycka på E20/E4s utreds de scenarion som presenteras i Bilaga A. Scenarion som innefattar att en explosion uppstår på någon av E20/E4:ans körbanor samt utsläpp av giftig gas anses utgöra det största hotet. Då Västra Hagastaden ligger inom ett redan tätbebyggt område kommer även bidraget till samhällrisken vara viktigt att utreda.

3.1.3 Övriga risker

3.1.3.1 Suicidrisk

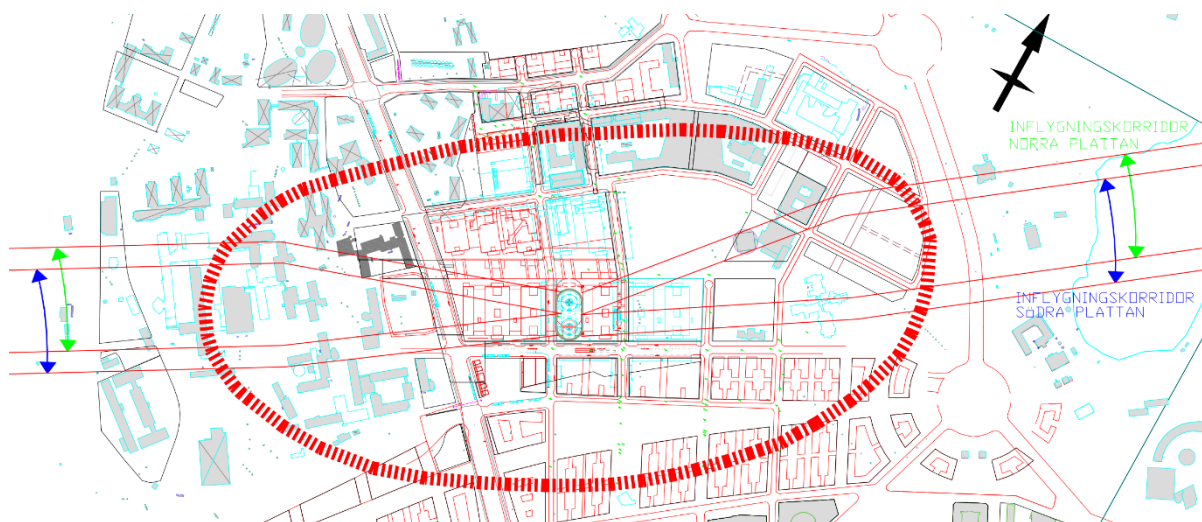
Höjdskillnader och brokonstruktioner där människor kan vistas nära trafikanläggningar på en högre höjd innebär generellt en förhöjd risk för suicid. Inom planområdet är primärt suicidrisk att beakta vid utformning av Karlbergs Plats som innebär att ytor angränsade Värtabanan på högre höjd utformas för att uppmuntra till stadigvarande vistelse. Det är givetvis svårt och oskäligt att helt försöka bygga bort risken för suicid, men med en anpassad gestaltning kan riskerna effektivt minimeras. För suicidprevention rekommenderas att följande åtgärder beaktas och analyseras vidare inom ramen för den fortsatta projekteringen vid utformning av Karlbergs Plats:

- Fysiska barriärer såsom fallskydd mot spårområde utförs svårklätterbara
- Allmänplats intill Värtabanan utformas med god belysning för ökad trygghetskänsla

Ovanstående rekommendationer tar utgångspunkt i det fördjupade arbete som bedrevs tillsammans med Socialstyrelsens specialister vad gäller suicidprevention inom ramen för framtagande av detaljplan för Östra Hagastaden som input för utformning av allmänplats intill Värtabanan.

3.1.3.2 Helikopterverksamheten inom NKS

Riskexponeringen förknippad med helikopterverksamheten har utretts tidigare inom ramen för ny detaljplan NKS och inför inrättande av ny helikopterflygplats [10]. Helikoptertrafiken förväntas uppgå till ca 3 000 flygrörelser per år. Risken för haveri är primärt förknippad med in- och utflygningar och är i enlighet med tidigare bedömningar att betrakta som låg. Riskexponeringen mot tredje man har sedan tidigare bedömts som godtagbar inom övriga delar av Hagastaden. Västra Hagastaden ligger vidare på ett relativt stort avstånd från helikopterplattan där risken för olyckor är som störst samt ligger utanför flygkorridoren, se Figur 11. Givet förutsättningarna bedöms riskbidraget från helikopterverksamheten vara mycket litet och analyseras därför inte vidare.



Figur 11. Översikt av flygkorridor för helikopterverksamheten inom NKS. Notis: Underlagskartan är gammal och visar ett icke gällande förslag på struktur kring Norrtull.

3.2 Riskkalkyl – Skattning av risker

Skattning av risker görs genom kvantifiering av frekvens och konsekvens av identifierade olycksscenario som redogörs för i Tabell 3 nedan.

Tabell 3. Sammanställning av olycksscenario

Järnvägen Värtabanan
<ul style="list-style-type: none"> • Urspåring <ul style="list-style-type: none"> ○ Mekanisk åverkan på bebyggelse • Tågbrand och olycka med brandfarlig vätska (ADR-S Klass 3) <ul style="list-style-type: none"> ○ Pölbrand
Farligt godsolycka på E4/E20/Avfartsramp mot Solnavägen
<ul style="list-style-type: none"> • Olycka med explosiva ämnen (ADR-S Klass 1) <ul style="list-style-type: none"> ○ Explosion innefattande 60 kg eller mindre ○ Explosion innefattande 60-500 kg ○ Explosion innefattande 500-1000 kg • Olycka med brandfarlig gas (ADR-S Klass 2.1) <ul style="list-style-type: none"> ○ Olycka med bulktransport <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pölbrand ▪ Gasmolnsbrand ▪ Gasmolnsexplosion ▪ BLEVE ○ Olycka med växelflak <ul style="list-style-type: none"> ▪ Jetflamma ▪ Gasmolnsbrand ▪ Gasmolnsexplosion ▪ Kärlsprängning • Olycka med giftig gas (ADR-S Klass 2.3) <ul style="list-style-type: none"> ○ Medelstorts utsläpp av giftig gas ○ Stort utsläpp av giftig gas • Olycka med brandfarlig vätska (ADR-S Klass 3) <ul style="list-style-type: none"> ○ Pölbrand • Olycka med organiska peroxider och oxiderande ämnen (ADR-S Klass 5) <ul style="list-style-type: none"> ○ Explosionsartat förlopp

I avsnitt 3.2.1 och avsnitt 3.2.2 presenteras resultatet från utförda beräkningar av frekvens och konsekvens.

3.2.1 Järnvägen Värtabanan

För att klargöra riskexponeringen längs med Värtabanan har en fördjupad riskanalys genomförts i *Bilaga C – Fördjupad analys av riskexponering från Värtabanan*.

Resultaten av analysen i Bilaga C indikerar att det finns risk för mekanisk åverkan från ett urspårat tåg inom ett avstånd av 10 meter från banans centrumlinje. En händelse av denna karaktär bedöms kunna ha stor påverkan på bebyggelsen och människor inom en påverkad byggnad. Det bör noteras att beräkningar tar utgångspunkt i en hastighet om 70 km/h vilket är konservativt sett till den skyltade hastigheten om 40 km/h genom växeln som utgör det primära riskobjektet utmed banan när det kommer till initiering av en urspåring.

Resultaten visar vidare att det inte går att utesluta att en mer allvarlig tågbrand/pölbrand som riskerar att föranleder brandspridning in till närliggande byggelse som planeras på avstånd mindre än 15 meter. Resultaten indikerar även att människor i det fria som befinner sig på ett större avstånd än 10 m kan förväntas klara sig från exponering av dödliga strålningsdoser. Dock kan människor i närheten förväntas erhålla 2-gradens brännskador. Baserat att inga människor ska vistas mellan bebyggelse och Värtabanan samt att ytor för parkmark längst västerut i planområde

mellan Tomtebodavägen / Rörstrandsgatan är förlagda ovanför en hög stödmur bedöms inga människor utomhus allvarligt påverkas i samband med brand på Värtabanan.

3.2.2 Farligt godsolycka på E4/E20/Avfartsramp mot Solnavägen

För att klargöra riskexponeringen från de identifierade olycksscenarierna på E4/E20/Avfartsramp mot Solnavägen har fördjupad riskanalyser genomförts genom följande bilagor:

- Bilaga D – Frekvensberäkningar farligt godsolycka E20/E4
- Bilaga E – Konsekvensberäkningar farligt godsolycka E20/E4
- Bilaga F – Fördjupad konsekvensbedömning av explosionsförlopp

Resultatet av analysen påvisar att olycksförlopp med följande typer av farligt gods har möjlighet att leda till att personer inom Västra Hagastaden omkommer:

- Explosiva ämnen, 60 - 500 kg
- Explosiva ämnen, 500 - 1000 kg
- Brandfarlig gas, olycka med bulktransport som leder till BLEVE
- Brandfarlig gas, olycka med växelflak som leder till kärlsprängning
- Brand farlig vätska, olycka som leder till pölbrand
- Giftigt gasutsläpp
- Oxiderande ämnen och organiska peroxider som leder till ett explosionsförlopp

Ab belysta Det ska noteras att resultatet vidare visar att frekvensen av dessa olycksförlopp är förhållandevis ovanligt och att övriga olycksscenarioer anses inte föranleda att personer omkommer.

3.2.3 Sammanvägd bedömning, olycka som föranleder pölbrand.

En fördjupad analys karakteristiska pölbränder på E20 med tillhörande avfartsramp har genomförts, denna återfinns i Bilaga E. Slutsatsen från den fördjupade analysen är att brandspridning in i närliggande inte förväntas uppkomma givet en pölbrand på angränsade körbanor.

3.2.4 Sammanvägd bedömning, olycka som föranleder explosion

Analys av explosionsförlopp inom tätbebyggda områden är ytterst komplex och är förknippat med stora osäkerheter. För att minimera osäkerheterna i föreliggande riskutredning som utgör beslutsunderlag inför beslutsfattande om planerad markanvändningen är lämplig avseende människors hälsa har en fördjupade konsekvensanalys tagits fram. Den fördjupade utredningen återfinns i Bilaga F.

Utifrån skadeanalys av tänkbara lastfall för olika karakteristiska gasmolnexplosioner i det fria, BLEVE och explosion involverande massexplosivt ämne konstateras att mer omfattande konsekvenser på människor inom planerad bebyggelse kan uppstå. Den fördjupade utredningen visar att konsekvenserna i omgivningen kan hanteras via byggnadstekniska skyddsåtgärder som. konsekvenspotentialen om inga byggnadstekniska skyddsåtgärder skyddsåtgärder behöver implementeras för att skydda människor inom planområdet samt byggnadskonstruktionerna.

3.3 Åtgärdsförslag och skydd mot olyckshändelser

Det är utifrån riskkalkylen i avsnitt 3.2 med tillhörande bilagor möjligt att dra slutsatsen att oacceptabla risknivåer enligt acceptanskriterierna i 1.5 kommer föreligga om inga skyddsåtgärder inarbetas i Västra Hagastadens planförslag. Detta baserat på förekommande korta avstånd mellan planområdet och leder för farligt gods samt slutsatser från tidigare utförd riskhantering i närheten av Värtabanan och E4:ans körbanor [11][12]. Det är även i linje med Länsstyrelsen riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods att skyddsåtgärder implementeras, eftersom planområdet Västra Hagastaden ligger inom de rekommenderade skyddsavstånden från led med transport av farligt gods [2].

Med detta som bakgrund har en lista på föreslagna skyddsprinciper legat till grund för vidare kvantifiering och bedömning av risker genom individ och samhällsrisk (se avsnitt 3.4). Skyddsprinciper i denna lista är sedan tidigare applicerade för att minimera risker i närheten E4/E20/Värtabanan och har bl.a. utretts i flertalet tidigare riskutredningar [11][12] med liknande förutsättningar. Utöver detta har inom stadsutvecklingsprojektet Hagastaden flertalet samordningsmöten med berörda intressenter och myndigheter genomförts för att diskutera och förankra förutsättningarna inom utifrån ett riskperspektiv, där även möjliga skyddsprinciper diskuteras.

3.3.1 Sammanställning av föreslagna skyddsprinciper och förväntade skyddseffekter

I tabellen nedan ges en sammanställning av föreslagna skyddsprinciper och förväntade skyddseffekten:

Tabell 4. Sammanställning av föreslagna skyddsprinciper och förväntade skyddseffekter

Skyddsprinciper	Förväntade skyddseffekter
En tät sammanhållande bebyggelse uppförs mot riskkällorna. Området utomhus mellan byggnader och Värtabanan/E4/E20 utformas så att det inte uppmuntrar till stadigvarande vistelse. Takterrasser utförs indragna.	Den nya täta sammanhållande bebyggelsen främjar till att skapa en barriär och öka skyddet mot äldre sämre utformad bebyggelse. Sannolikheten för att människor utomhus ådrar sig allvarliga skador vid en farligt godsolycka minimeras. Människor uppmuntras ej vistas i de mer riskutsatta området där individrisknivån kan förväntas vara hög.
Byggnader närmast Värtabanan ska skyddas mot allvarlig skada från ett urspårat tågset, lokala skador accepteras med fortskridande ras ska undvikas.	Bidrar med ett skydd mot mekanisk åverkan från urspårning på Värtabanan.
Byggnaders stommar och fasader som vetter mot E4/E20/Värtabanan utförs som "tät" fasad ¹ för att motstå karakteristiska tryck och impulstätheter som finns tydliggjorda i Figur 15. Glaspartier i dessa fasader utformas med hänsyn till explosionsförlopp.	Bidrar till att människor inomhus är erforderligt skyddade mot de riskstyrande explosionsförloppen som kan uppstå till följd av en farligt godsolycka på E4/E20.

¹ Med "tät" fasad syftas här på en fasad som är utformad på ett sådant sätt att den förhindrar stötvågslasten från att tränga in i byggnaden. Detta innebär att såväl fasadelement som eventuell fönsterrutor klarar av att motstå de laster som en explosion innebär utan att gå sönder.

Fasader som vetter mot E4/E20/Värtabanan utförs i obrännbart material. Glaspartier i fasad som vetter mot Värtabanan ska upp till 20 meters höjd från marknivån utformas i brandteknisk klass EW 30. Övriga glaspartier i fasad som vetter mot E4/E20/Värtabanan ska utformas för att tåla 300°C i 30 minuter.	Bidrar till att förhindra brandspridning in i närliggande bebyggelse samt säkerställer möjligheten till en trygg utrymning bort från riskkälla.
Utrymning ska vara möjligt mot trygg sida, d.v.s. en utrymningsväg ska mynna bort ifrån E20/E4.	Säkerställer att människor kan ta sig till det fria på sida bort från olycksplatsen.
Friskluftsintag placeras på trygg sida, d.v.s. på sida bort från E4/E20.	Säkerställer ett tillfredställande skydd mot att brandgaser och andra giftiga gaser tar sig in i byggnader vid olycka.

3.4 Kvantifiering genom individ- och samhällsrisk

En bedömning av individ och samhällsrisk görs i avsnitt 3.4.1 och 3.4.2 med hänsyn till föreslagna skyddsprinciper.

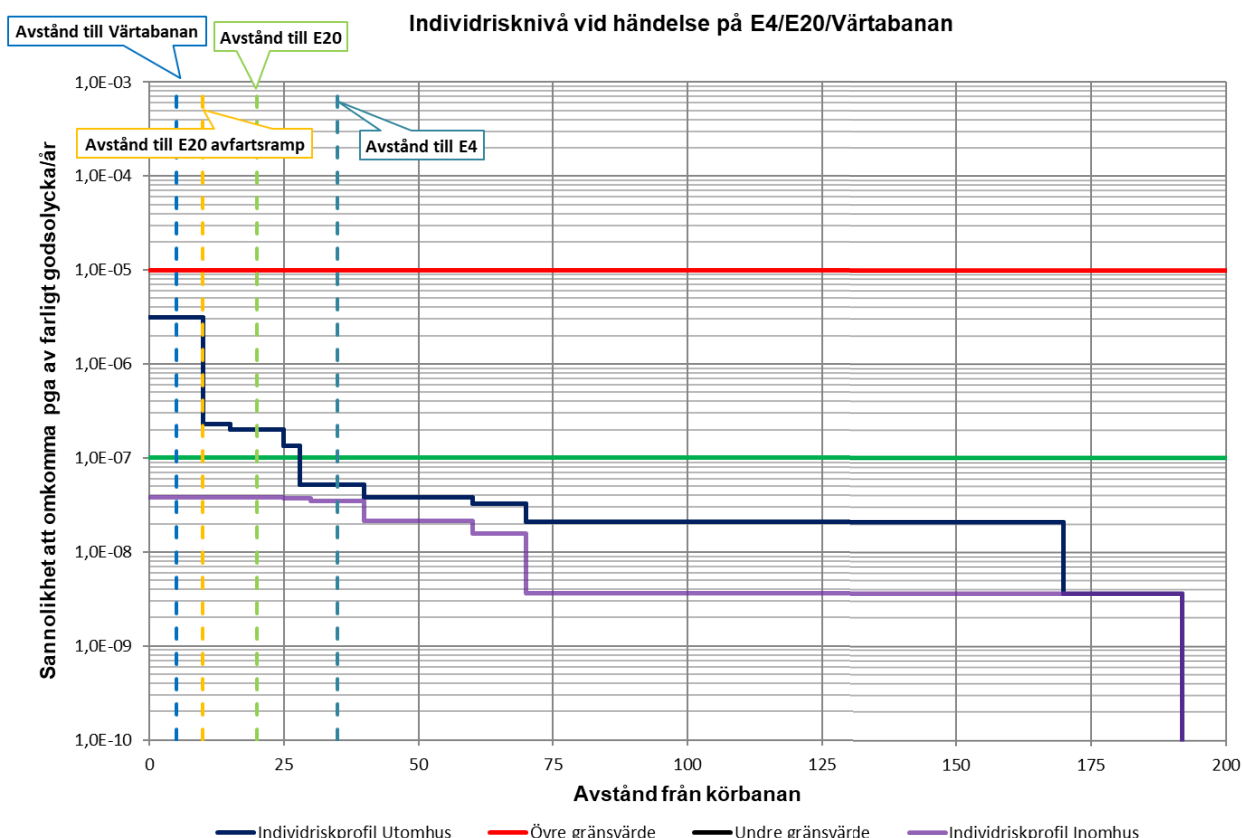
3.4.1 Individrisk

Beräkning av den platsspecifika individrisknivån redovisas i form av en individriskprofil som anger den avståndsoberoende frekvensen att en person ska omkomma till följd av analyserade olyckshändelser.

Individrisken beräknas som den kumulativa frekvensen för att omkomma på ett specifikt avstånd från riskkällan. Detta innebär att på en punkt t.ex. 100 meter från riskkällan så är individrisken densamma som frekvensen för alla skadescenarier med ett skadeområde < 100 meter.

Vid redovisning av individrisken behöver det även tas hänsyn till att beräknade frekvenser för en olycka gäller för en vägsträcka på 1 km och därmed att frekvensen behöver anpassas med hänsyn till det skadeområde som den specifika olyckan ger upphov till. För att ta hänsyn till detta reduceras frekvensen beroende på skadeområdets utbredning. Konservativt antas att ett scenario kunna ske 2 gånger skadeområde på den studerade sträckan. Exempelvis innebär detta för ett olycksscenario med beräknat skadeområde om ca. 100 meter att frekvensen för händelsen på 1 km lång vägsträcka multipliceras med 0,2.

Genomförda riskberäkningar resulterar i individrisknivåerna som återges i Figur 12.



Figur 12. Beräknad individrisknivå för personer som befinner sig utomhus samt inomhus med avseende på föreslagna skyddsprinciper. Då avståndet från de olika lederna med farligt gods och Västra Hagastaden varierar så visas avståndet till respektive led. Exempelvis kommer individrisk-nivån inom planområdet för olyckor som kan ske på E20 ligga i nivå med grön-streckad linje och till höger om denna.

I förhållande till acceptanskriterierna som presenterats i avsnitt 1.5. så påvisar resultaten godtagbara individrisknivåer inom planområdet för personer som befinner utomhus samt acceptabla individrisknivåer för personer som befinner sig inomhus (med avseende på föreslagna skyddsprinciper).

3.4.2 Samhällsrisk

Planområdet gränsar till E4/E20/Värtabanan utmed en sträcka om ca 385 meter. Beräkning av olycksfrekvenserna utgår emellertid från att en sträcka om 1000 meter analyseras och därmed görs ingen justering av frekvensen. Frekvensen av en olycka är vidare beräknad för alla transporter på vägen, dvs. ingen åtskillnad görs av transporter i norrgående respektive södergående körriktning.

Ingen justering av frekvenser beroende av typ av uppkommen skada på tank (stort eller litet hål) eller hänsyn till mer eller mindre gynnsamma spridningsvinklar görs. Detta innebär konservativa resultat mot bakgrund av att utgångspunkten är att bedömningen utgår från de förutsättningar som kan förväntas föranleda störst skada.

Vid beräkning av samhällsrisk beaktas såväl ny bebyggelse inom planområdet som befintlig bebyggelse i närområdet. Samhällsrisknivån presenteras som en F/N-kurva, vilket anger frekvensen för N, eller fler än N, antal omkomna inom det aktuella området till följd av olycka på berörda transportleder.

3.4.2.1 Förutsättningar för bedömning av antalet omkomna

Olycksplacering för respektive händelse är vald mot bakgrund av att flest antal personer inom Västra Hagastaden generellt kan förväntas påverkas i samband med den specifika olyckan. Detta betyder att det kortaste avståndet mellan planområdet och E4/E20 och Värtabanan oftast blir avgörande för bedömning av potentiell skada av ett olycksförlopp. I figur 13 åskådliggörs vald olycksplacering centrerad i planområdet. Sett till de ringa mängderna av farligt gods på avfartsrampen mot Solnabron dess riskbidrag antas dessa lite förenklat inträffa på E20 närmaste körbana. Det ska noteras att bedömningarna ej tar hänsyn till skador inom trafikområdet.



Figur 13. Exempel på olycksplacering på E4/E20/Värtabanan

Tabell 5. Horisontellt avstånd från farligt godsleder till bebyggelse inom Västra Hagastaden med hänsyn till skyddsavstånd på 10 m till Värtabanans centrumlinje implementeras. Avstånden är uppmätta på karttjänster och är därför ungefärliga.

Olycka på	Avstånd till Kv. 37	Avstånd till Kv. 38	Avstånd till Kv. 39
Värtabanan	10 meter	10 meter	10 meter
Avfartsramp E20	33 meter	18 meter	15 meter
Körfält E20	47 meter	30 meter	25 meter
Körfält E4	65 meter	55 meter	40 meter

Avstånd mellan farligt godsleder och kvarter som redogörs för i Tabell 5 samt följande generella antaganden om personantalet i omgivningen ligger till grund för bedömning av antalet påverkade i samband med olycka:

Personantal inomhus

- Personantalet inom samtliga byggnader inom Kv. 37-39 i Västra Hagastaden antas under dagtid uppgå till 1 person per 20 m² (BTA).
- Personantalet inom samtliga byggnader inom Kv. 37-39 i Västra Hagastaden antas under nattetid uppgå till 1 person per 40 m² (BTA), dvs. hälften av personantalet under dagen.
- Personantalet inom kontorsbyggnader närområdet antas vara 1 person per 20 m² (BTA) och nattetid antas vara i närhet till 0.

Antagandet 1 person / 20 m² är baserat på förväntat antal personer i kontorsbyggnader/publika lokaler i de mer exponerande byggnadsdelarna. Antaget bedöms konservativt då en stor del av bebyggelsen inom Kv. 38-39 antagligen kommer vara bostadshus, som kan förväntas ha en mindre persontäthet dagtid. Vidare utgörs en del exponerade ytor av tekniktor, garage etc. Antagandet 1 person per 40 m² nattetid är vidare baserat på förväntat antal personer i bostadshus och därmed också konservativt då en större del av bebyggelsen kommer vara kontor.

Personantal utomhus

- Personantalet utomhus på ytor mellan planerade byggnader och E20/E4/Värtabanan som ej utformas för att uppmuntra till stadigvarande vistelse antas vara i närhet till 0.
- Personantalet utomhus bakom första radens bebyggelse antas till 1 person per 100 m². Nattetid antas personantalet vara 1 per 400 m².

Kopplat till det högre förväntade personantal inom planerade ytor för idrottsverksamhet kommer idrottshallens placering, centrerat inom kv. 37 och skyddad från angränsande byggnadsdelar inte påverka konsekvenspotentialen. Mot denna bakgrund ansätts personantalet genomgående till 1 person / 20 m² inom kv. 37 vid konsekvensbedömning för de mer riskutsatta kontorslokalerna.

Som underlag till beräkningar av samhällsrisk antas att 90 % av alla olyckor inträffar dagtid och 10 % inträffar nattetid. Detta mot bakgrund av resultaten från trafikmätningar som påvisar att majoriteten av farligt godstransporterna körs på dagtid. Ingen skillnad har gjorts på vardag och helg; såväl olycksfrekvens samt beläggningen antas vara densamma hela veckan.

Tabell 6 presenteras bedömningar avseende antalet omkomna för respektive olycksförlopp. Utgångspunkt för bedömning av antalet omkomna utgår från olycksförlopp som utretts i *Bilaga C – Fördjupad analys av riskexponering från Värtabanan*, *Bilaga E – Konsekvensberäkningar farligt godsolycka E20/E4* och *Bilaga F – Fördjupad konsekvensbedömning av explosionsförlopp* med beaktande till redogjorda skyddsprinciper.

Tabell 6. Sammanställning av bedömningar av antalet omkomna för respektive olycksförlopp.

Olycksförlopp	Kommentarer avseende antalet omkomna i omgivningen
E4	
Explosion, klass 1.1 60 kg eller lägre	Föreslagna skyddsprinciper säkerställer att explosionslaster inte tillåts tränga in i närliggande byggnader. Inga människor utomhus inom planområdet förväntas påverkas.
Explosion, klass 1.1 60-500 kg	Föreslagna skyddsprinciper minimerar effekterna av konsekvenser inomhus. För explosioner i den övre spannet förväntas emellertid att krossade glaspartier kan komma att skada människor innanför fasad. Ca 2 % av människorna inom kvarter närmast explosionscentrum förväntas omkomma samt ca 0,5 % i angränsande kvarter där personer inom lokalerna direkt innanför fasad närmast explosionscentrum kan påverkas. Det ger ett uppskattat antal döda om 32 människor $[(20\ 000/20 \times 0,02) + ((30\ 000 + 20\ 000)/20 \times 0,005)]$. Nattetid förväntas antalet omkomna vara 16 personer. Inga människor inom övrig bebyggelse i närområdet bedöms omkomma. Detta görs mot den bakgrund av att denna bebyggelse ligger på ett minsta avstånd om 100 m från E4s

	<p>körbanor och eventuella glaspartier som går sönder i dessa byggnader inte bedöms kastas in med dödlig kraft.</p> <p>För människor utomhus förväntas konsekvenserna vara begränsade mot bakgrund av att ytor mellan de närmsta byggnaderna och E4/E20 utformas för att ej uppmuntra till stadigvarande vistelse.</p>
Explosion, klass 1.1 500-1000 kg	<p>Byggnader förväntas inte kollapsa. Fasaden kommer emellertid inte att hållas intakt varför tryckvågen kan förväntas sprida sig in i byggnaden, vilket ovillkorligen kan förväntas föranleda ett större antal drabbade inomhus pga. av glassplitter samt att lättare väggare raseras. Ca 5 av människorna inom kvarter närmast explosionscentrum förväntas omkomma samt 1 % av de människor inom angränsande kvarter. Det ger ett uppskattad antal döda om 75 människor $[(20\ 000/20 \times 0,05) + ((30\ 000 + 20\ 000)/20 \times 0,01)]$. Nattetid förväntas antalet omkomna vara 38 personer.</p> <p>För befintliga byggnader som ligger i närheten är den övergripande bedömningen att de förhållandevis väl skulle klara en kraftfull explosion med rådande avstånd från explosionscentrum. Bedömningen är att dessa inte kollapsar, men människor direkt innanför fasad kan drabbas av inkastade glaspartier. Bedömningen är att antalet omkomna inom dessa byggnader understiger 5 personer nattetid förväntas enstaka omkomma.</p> <p>För människor utomhus förväntas konsekvenserna vara begränsade mot bakgrund av att närliggande ytor är utformade för att ej uppmuntra till stadigvarande vistelse. Antalet omkomna utomhus på dagtid förväntas understiga 5 personer, nattetid förväntas enstaka omkomma.</p>
Mycket stort utsläpp av giftigt gas	<p>Sett till föreslagna skyddsprinciperna som innebär att friskluftsintag placeras på trygg sida, d.v.s. bort från E4/E20 bedöms människor inomhus inom Västra Hagastadens planerade bebyggelse inte förolyckas.</p> <p>Sett till redogjorda skadezoner finns risk att människor utomhus på långa avstånd från olycksplatsen kan komma att påverkas. Bedömning av antalet omkomna utgår från att 50 % av människor inom åskådliggjord röd zon (164 x 192 m) antas omkomma medan ca 5 % av människorna inom orange zon (280m x 1400 m) antas omkomma medan övriga hinner försätta sig i säkerhet. Totalt bedöms 300 personer omkomma utomhus dagtid, medan 38 personer förväntas förolyckas nattetid. Det bör noteras att ingen hänsyn är tagen till den förväntade utspädningseffekt som den täta bebyggelsen kan förväntas ge upphov till. Bedömningen att 300 personer skulle omkomma utomhus är således väldigt grov och med största sannolikhet överskattat.</p> <p>Utan närmare inblick i hur ventilationssystemen för befintlig närliggande bebyggelse är utformad är bedömningen att luftomsättningen med stor sannolikhet skapar förutsättningar för att människor inomhus ska kunna försätta sig i säkerhet. Bedömningen är att ett mindre antal omkomna kan uppstå inom dessa byggnader. 5 personer antas förolyckas inomhus dagtid medan 10 personer antas förolyckas nattetid.</p>
Medelstort utsläpp av giftigt gasutsläpp	<p>Bedömningarna utgår på motsvarande sätt som för ett mycket stort utsläpp av giftig gas. Inga personer inomhus antas förolyckas.</p> <p>Bedömning av antalet omkomna utomhus utgår från att 50 % av människor inom åskådliggjord röd zon (40 x 70 m) antas omkomma medan ca 5 % av människorna inom orange zon (90 x 540) antas omkomma medan övriga hinner försätta sig i säkerhet.</p> <p>Totalt bedöms 30 personer omkomma utomhus dagtid, medan 8 personer förväntas förolyckas nattetid.</p>
Explosion klass 5 (1-4 ton trotyl)	Bedömningarna utgår på motsvarande sätt som redogjorda konsekvenser för en stor explosion involverande klass 1.1 (500-1000 kg trotyl).
E20/E4/avfartsramp	
Gasutsläpp (bulk) – pölbrand	<p>Skyddsprinciperna samt säkerhetsavstånd bedöms säkerställa ett tillfredställande skydd mot brandspridning in i närliggande byggnader samtidigt som en förutsättningar för en trygg utrymning skapas. Inga människor inomhus förväntas omkomma.</p> <p>Sett till att mark omkring E4/E20s körbanor ej uppmuntra till stadigvarande vistelse görs bedömningen att inga människor i det fria förväntas omkomma.</p>
Gasutsläpp (bulk) – gasmolnsbrand/ Gasmolnsexplosion	Skyddsprinciperna innebär att ett tillfredställande skydd skapas för dessa olycksförlopp, inga människor inomhus bedöms omkomma inom planerad bebyggelse. Bedömningen görs mot bakgrund av den "täta" fasaden som ger upphov till ett skydd mot tänkbara explosionslasterna samt att värmestrålningen från en flash-fire (eldklot) inte tar sig in i byggnaden. Inga omkomma inomhus förväntas inom planerad bebyggelse.



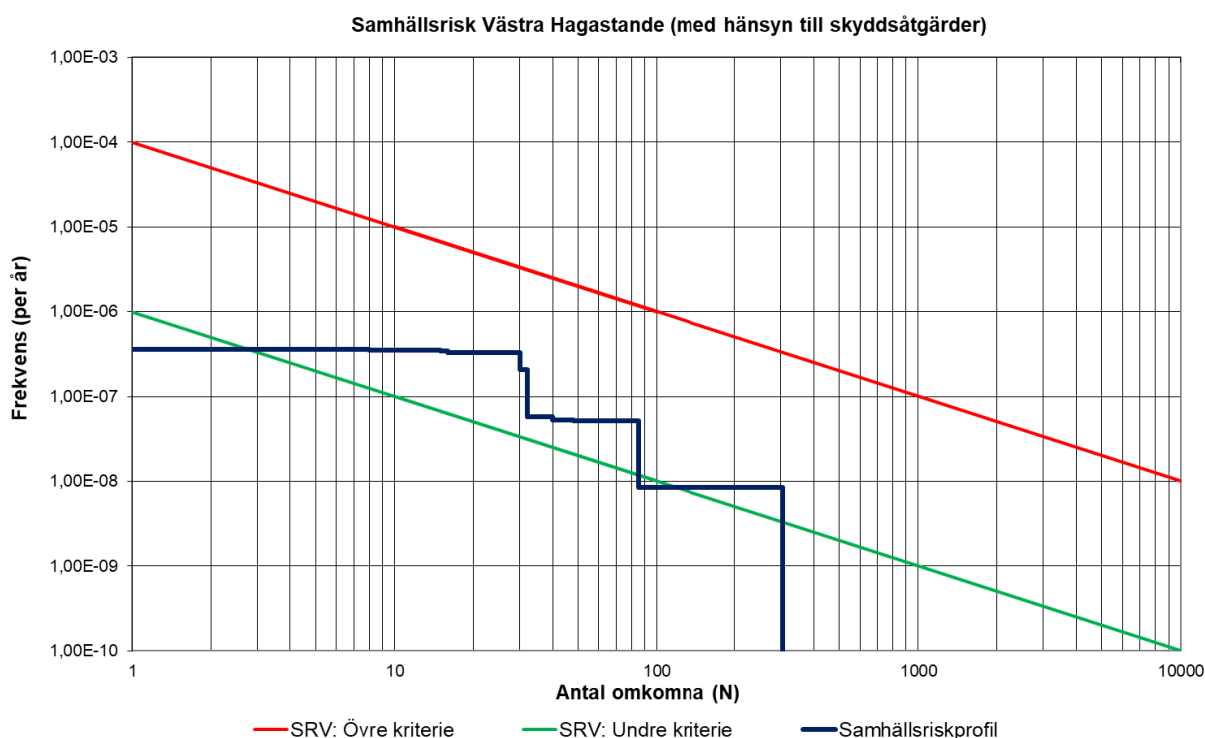
	Föreslagna skyddsprinciper säkerställer därmed att explosionslaster inte tillåts tränga in i närliggande byggnader (nya och befintliga). Inga människor utomhus utanför trafikområdet förväntas påverkas.
Gasutsläpp (bulk) – BLEVE	<p>Mot bakgrund av att en BLEVE inte uppstår först efter en längre tid efter att upphettning har påbörjats kan förväntas att majoriteten av människorna i omgivningen som befinner sig utomhus hinner försätta sig i säkerhet.</p> <p>Totalt bedöms antalet omkomna utomhus vid en BLEVE understiga 20 personer dagtid och nattetid bedöms antalet understiga 10 personer</p> <p>Människor inomhus kan förväntas vara relativt väl skyddade mot en BLEVE så länge fasaden hålls intakt, d.v.s. eldklotet inte tar sig in i byggnaden. Mot bakgrund av den "täta" fasaden som ger upphov till ett skydd mot tänkbara explosionslasterna samt att värmestrålningen från efterföljande eldklot inte tar sig in i byggnaden bedöms antalet omkomna inom planerad bebyggelse vara låg. Undantaget är att utslungade fragment kan komma att penetrera fasad med ett mindre antal dödsfall inomhus.</p> <p>Totalt bedöms antalet omkomna inomhus vid en BLEVE understiga 10 personer dagtid och nattetid bedöms antalet understiga 5 personer.</p>
Gasutsläpp (flak) - gasmolnsbrand	Sett till den relativt korta skadezonen och med hänsyn till ytor utomhus mellan E4/E20 utformas för att inte uppmuntra till stadigvarande vistelse bedöms inga människor i omgivningen omkomma (inomhus eller utomhus).
Gasutsläpp (flak) - jetflamma	Sett till den relativt korta skadezonen och med hänsyn till ytor utomhus mellan E4/E20 utformas för att inte uppmuntra till stadigvarande vistelse bedöms inga människor i omgivningen omkomma (inomhus eller utomhus)..
Gasutsläpp (flak) - kärlsprängning	<p>Bedömningarna utgår på motsvarande sätt som för ett olycksförlopp för en BLEVE. Inga personer utomhus antas förolyckas.</p> <p>Mot bakgrund av den "täta" fasaden som ger upphov till ett skydd mot tänkbara explosionslasterna samt att värmestrålningen från efterföljande eldklot inte tar sig in i byggnaden bedöms antalet omkomna inom planerad bebyggelse vara låg. Undantaget är det relativt stora mängderna utslungade fragment kan komma att penetrera fasad och föranleda omkomna inomhus.</p> <p>Totalt bedöms antalet omkomna inomhus vid kärlsprängning understiga 20 personer dagtid och nattetid bedöms antalet understiga 5 personer.</p>
Brandfarlig vätska - pölbrand	<p>Skyddsprinciperna och säkerhetsavstånd bedöms säkerställa ett tillfredställande skydd mot brandspridning in i närliggande byggnader samtidigt som en förutsättningar för en trygg utrymning skapas. Inga människor inomhus förväntas omkomma.</p> <p>Människor i det fria bedöms vidare ha goda möjligheter att fly undan branden utan att förolyckas. Inga människor utomhus bedöms omkomma.</p>
Värtabanan	
Mekanisk åverkan	<p>Skyddsprinciperna och skyddsavstånd bedöms säkerställa att tillfredställande skydd mot att urspåret tåg från Värtabanan gör åverkan på byggnad inom Västra Hagastaden och därmed bedöms inte heller några människor inomhus omkomma.</p> <p>Sett till att mark mellan bebyggelse och Värtabanan ej uppmuntra till stadigvarande vistelse görs bedömningen att inga människor i det fria förväntas omkomma.</p>
Brandfarlig vätska – pölbrand (tågbrand)	<p>Skyddsprinciperna och säkerhetsavstånd bedöms säkerställa ett tillfredställande skydd mot brandspridning in i närliggande byggnader samtidigt som en förutsättningar för en trygg utrymning skapas. Inga människor inomhus förväntas omkomma.</p> <p>Mellan planområdet och bebyggelse förväntas inga människor vistas. Mellan Värtabanan och Karlbergs Plats återfinns en större höjdskillnad som tillskapar ett naturligt skydd. Människor i det fria bedöms ha goda möjligheter att fly undan branden utan att förolyckas. Inga människor utomhus bedöms omkomma.</p>

I Tabell 7 presenteras en sammanställning av utförda frekvens och konsekvensbedömningarna som ligger till grund för beräkning av samhällsrisknivå, med hänsyn till redogjorda skyddsprinciper.

Tabell 7. Sammanställning av frekvens och konsekvensbedömningar som ligger till grund för åskådliggjord samhällsrisknivå med hänsyn till redogjorda skyddsprinciper.

Olycksförlopp	Olycka dag	Olycka natt	Totalt antal omkomna (dag)	Totalt antal omkomna (natt)
E4/E20/Avfartsramp				
Explosion 60 kg eller lägre	2,1E-07	2,4E-08	0	0
Explosion 60-500 kg	1,5E-07	1,7E-08	32	16
Explosion 500-1000 kg	4,3E-08	4,7E-09	85	40
Gasutsläpp (bulk) - pölbrand	8,6E-07	9,5E-08	0	0
Gasutsläpp (bulk) - gasmolnsbrand	1,4E-06	1,5E-07	0	0
Gasutsläpp (bulk) - gasmolnsexplosion	9,0E-07	1,0E-07	0	0
Gasutsläpp (bulk) - BLEVE	4,5E-08	5,0E-09	30	15
Gasutsläpp (flak) - gasmolnsbrand	1,7E-08	1,8E-09	0	0
Gasutsläpp (flak) - gasmolnsexplosion	1,1E-08	1,2E-09	0	0
Gasutsläpp (flak) - jetflamma	1,1E-08	1,2E-09	0	0
Gasutsläpp (flak) - kärlsprängning	5,5E-10	6,2E-11	20	5
Giftigt gasutsläpp, medelstort	7,6E-08	8,5E-09	30	8
Giftigt gasutsläpp, stort	8,5E-09	9,4E-10	305	48
Brandfarlig vätska - pölbrand	1,3E-04	1,5E-05	0	0
Explosion klass 5 (ca 4 ton trotyl)	1,6E-10	1,8E-11	85	40
Värtabanan				
Urspårning	5,0E-5	5,6E-6	0	0
Brandfarlig vätska - pölbrand	2,6E-08	2,9E-9	0	0

I figur 14 presenteras beräknad samhällsrisknivå med hänsyn till redogjorda skyddsprinciper.



Figur 14. Beräknad samhällsrisknivå med hänsyn till skyddsåtgärder.

Beräkningarna påvisar att planerad markanvändning i enlighet med planförslaget och med hänsyn till redogjorda skyddsprinciper inte förväntar föranleda en oacceptabel samhällsrisknivå. Resultaten påvisar att samhällsrisknivån tills viss del kan förväntas hamna i det så kallade ALARP-området.

4 Riskvärdering – Samlad bedömning

Utifrån redogjorda riskberäkningar konstateras att acceptabla individrisknivåer kan säkerställas samt godtagbara samhällsrisknivåer (inom lägre delen av ALARP). Utförda riskberäkningar bygger på att föreslagna skyddsprinciper implementeras.

Det bör noteras samhällsrisknivåer inom ALARP-området inte är något ovanligt inom ramen för fysisk planering. Det bör vidare noteras att beräkningarna genomgående har utgått från konservativa antaganden där respektive olyckshändelse förväntats ske på den del av trafikleden som ligger på kortast möjliga avstånd från planområdet och bebyggelsen. I praktiken kan 50 % av trafiken förväntas på körbanor i motsatt riktning och längre ifrån planområdet. Ett högt personantal inomhus nattetid antagits sett till att de riskutsatta kontorslokalerna till stort förväntas stå tomma nattetid. Personantalet utomhus är vidare högt antaget sett till avsaknaden av större offentliga samlingspunkter i närområdet. Frekvensberäkningarna baseras genomgående på ogynnsamma spridningsriktningarna direkt mot planområdet utan någon reduktion. Vid konsekvensbedömning beaktas inte räddningstjänstens möjligheter att begränsa konsekvenserna i omgivningen. Vid bedömning av antalet omkomna tas ingen hänsyn till att många olycksförlopp är förknippade med relativt utdragna händelseförlopp och att människor i närområdet kring olycksplatsen troligtvis hinner försätta sig själva i säkerhet eller evakueras av räddningstjänsten. Exempel på mer utdragna händelseförlopp är till exempel större explosionsförlopp. Från inträffade olyckor med klass 1 varor har ett olycksförlopp om 30-40 minuter konstaterats, d.v.s. från att en uppkommen brand till följd av en mer allvarlig trafikolycka initierar en detonation av lasten.

Givet de genomgående konservativa antaganden vid riskberäkning är presenterad samhällsrisknivå är därmed att betrakta som något överskattat vilket ska beaktas i samband med riskvärdering.

I följande avsnitt redogörs vidare för utformning och motivation till de respektive rekommenderade skyddsprinciperna.

4.1 Minimering personbelastning i utsatta lägen

För många olyckshändelser är oskyddade människor utomhus de mest riskexponerade. En grundläggande skyddsprincip som har utarbetats i samband med strukturplanen är att skapa en tät och sammanhållande robust utformad bebyggelse som i sig själv tillskapar en skyddsbarriär mot ytor utomhus där personer mer stadigvarande kan förväntas vistas. Genom att planera huvudentréer och ytor utomhus som uppmuntrar till stadigvarande vistelse bakom den skyddade erhålls en inbyggd robusthet i planstrukturen till följd av att en låg personbelastning utomhus mot riskkällorna säkerställs. Indragna takterrasser bidrar till att säkerställa att fasaden i sig medför ett inbyggt skydd från direktexponering och därmed förmildrande konsekvenser.

4.2 Placering friskluftsintag

Genom att placera friskluftsintag högt och mot trygg sida från riskkällorna minimeras risken att giftiga gaser till följd av gasutsläpp eller brand sugas in i närliggande bebyggelse. Människor inomhus bedöms därmed vara väl skyddade från mer allvarlig påverkan.

4.3 Utformande av skydd mot urspårning

För att säkerställa acceptabla risknivåer med hänsyn till urspårningsrisk på Värtabanan gäller som riktlinjer för den fortsatta planeringen att ett skyddsavstånd om ca 10 meter från Värtabanas centrumlinje och närliggande byggnader ska upprätthållas samt att en positiv tvärlutning mellan spår och fasad upprättas.

För att säkerställa acceptabla risknivåer med hänsyn till urspårningsrisk på Värtabanan gäller som riktlinjer för den fortsatta planeringen att ett skyddsavstånd om ca 10 meter från Värtabanas centrumlinje och närliggande byggnader ska upprätthållas samt att en positiv tvärlutning mellan spår och fasad upprättas. Byggnaders bärande huvudsystem dimensioneras för att tåla uppkommen rörelseenergi från ett urspårat tågset. Lokala brott kan accepteras men fortskridande ras/kollaps av byggnader ska förhindras. För stommen eventuellt kritiska byggnadsdelar bör därför inom 10 meter från centrumlinje dimensioneras för att klara följande last om inte tillfredställande skydd mot fortskridande ras/kollaps påvisas på annat sätt:

- Kraft $F_{dx} = 2000$ (kN), i spåret riktning
- Kraft $F_{dy} = 750$ (kN), vinkelrätt mot spårets riktning

Vid dimensionering och verifiering ska:

- påkörningshöjd från spårets överkant ansättas till $H = 1,8$ m.
- Påkörningskrafterna F_{dx} och F_{dy} bör vid dimensionering betraktas separat.

Ovan angivna krafter är hämtade med stöd från Trafikverkets "Krav Brobyggande avsnitt B.5" vari ett tillägg till SS-EN 1991-1-1 beträffande exceptionella dimensioneringssituationer kopplat till risken för påkörning av tåg görs. Enligt tillägget ska konstruktioner placerade mellan 5 och 10 meter från spårmitt dimensioneras för hälften av de angivna påkörningskrafterna som anges i SS-EN-1991-1-7, tabell 4.4 för konstruktioner belägna mellan 3 och 5 meter från spårmitt.

Införlivandet av ovan rekommendera skyddsåtgärder längs med banan innebär att en robust riskbild från Värtabanan säkerställs över tid.

4.4 Utformande av skydd mot brandspridning till och in i byggnader vid händelse av pölbrand

För att hindra brandspridning till och in i byggnad vid olyckshändelser föreslås att de fasader som vetter mot E4/E20/Värtabanan utförs med obrännbar fasad och brandklassade fönster.

4.4.1 Obrännbar fasad

Med obrännbar fasad avses fasad som utförs med ett yttre ytskikt som uppfyller brandtekniskt klass A enligt Boverkets byggregler, BBR. Mindre brännbara detaljer accepteras i fasader som ska utföras i obrännbart material så länge avsett skydd mot brandspridning inte påverkas.

4.4.2 Brandklassade fönster

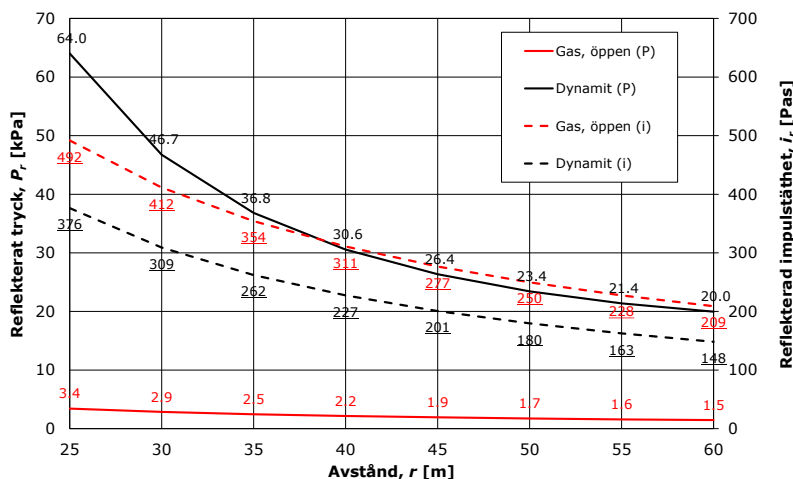
Sett till förväntade strålningsnivåer vid farligt godsolycka på Värtabanan som föranleder pölbrand samt att det är möjligt att flammor slår mot fasad på ett avstånd på 10 meter dras slutsatsen att brandklassade glas med strålningsreducerande egenskaper (EW klass) är nödvändiga på de fasad som vetter mot Värtabanan. Med avseende på den flamhöjd som är att förvänta så motiveras att det att glas upp till 20 meters höjd från marknivå är brandklassade och har den strålningsreducerande egenskapen. Sett till de rådande förhållande görs bedömningen att härdat glas av typ 300/30-klass är erforderlig för att säkerställa att övriga glaspartier som vetter mot E4/E20/Värtabanan bibehålls intakta och vidare att glaspartiernas skydd mot värmestrålning på människor inomhus kan tillgodoses

Med hänsyn till det rekommenderade utförandet ovan med brandklassade glas och härdade glas förväntas strålningsdoserna mot människor direkt innanför fasad understiga 10 kW/m^2 . Belysta strålningsnivåer indikerar att människor direkt inför fasad kan förväntas utrymma på ett betryggande sätt. Bedömningen görs mot bakgrund av acceptanskriterier i BBRAD, som tydliggör att utrymmande personer får utsättas för max $2,5 \text{ kW/m}^2$ eller en kortvarig strålning på max 10 kW/m^2 i kombination med max 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2 . För att säkerställa möjligheterna till en trygg utrymning krävs vidare att byggnaden utförs med en alternativ utrymningsväg som mynnar åt sida bort från E20/E4, detta för att säkerställa att utrymmande kan ta sig till det fria på ett betryggande avstånd från en pölbrand på transportleden.

4.5 Utformande av skydd mot explosionsförlopp

Utifrån skadeanalys av tänkbara lastfall för olika karakteristiska gasmolnexplosioner i det fria, BLEVE, explosion involverande massexplodivt ämne samt organiska ämnen och peroxider rekommenderas att byggnader som vetter mot E4/E20/Värtabanan ska utformas med en "tät" fasad för dimensionerande laster åskådliggjorda i Figur 15. Åskådliggjorda dimensionerande lastfall täcker in samtliga potentiella explosionsförlopp involverande brandfarlig gas samt explosion med dynamit om ca 100 kg. Lastfallen täcker även in eventuella explosionsförlopp involverande brandfarlig vätska.

Med "tät" fasad syftas här på en fasad som är utformad på ett sådant sätt att den förhindrar stötvågslasten från att tränga in i byggnaden. Detta innebär att såväl fasadelement som eventuell fönsterrutor ska klara av att motstå de dimensionerande lastfallen utan att gå sönder. Mot bakgrund av åskådliggjorda lastfall innebär detta att fönsterrutor i fasad ska utformas som explosionsresistenta i klass ER1 enligt EN 13541 eller motsvarande som medför avsett skydd.



Figur 15. Resultande tryck (P) och impulstäthet (i), vid reflekterad stötvåg, för olika lastkällor samt varierande avstånd. Aktuella lastvärden anges i figuren.

4.5.1 Effekter av utformande av en 'tät'-fasad

De vanligast förekommande personskadorna orsakade av en explosion är i regel skador från splitterfragment. Av dessa skador utgörs i sin tur en betydande majoritet av skador från glassplinter från krossade fönster som kastas in i byggnaden. Vid explosion finns det således risk för dödliga utfall för personer som befinner sig nära glasfönster vid fasad som vetter mot E4/E20.

Om fönsterrutor inte utformas med explosionsresistent glas så är bedömningen att en stor andel fönster som vetter mot E4/E20 kommer att krossas och kastas in i byggnaden. Ett sådant regn av glassplinter kommer ovillkorligen resultera i omfattande skärskador på människor i fönstrens närhet. Med tanke på att glassplittrets inkastningshastighet uppskattas kunna uppgå till omkring

15 m/s för de dimensionerande lasterna så bedöms det vara rimligt att en inte oväsentlig andel personer i byggnaden kommer att ådra sig allvarliga, även dödliga, skador. Vidare kan det uppstå andra typer av personskador inne i byggnaden som härrör från omkullkastning av människor och/eller ras av lättare invändiga byggnadsdelar. Det är dock mycket svårt att bedöma vilken dödlighetsgrad dessa händelser skulle ha. Genom att säkerställa att fasaden blir "tät" mot explosionslast kan denna osäkerhet dock helt undvikas. En "tät" fasad medför således en säkrare bedömning av antalet omkomna vid händelse av en allvarlig explosionsolycka.

Förutom ökat skydd mot explosionslast så medför en "tät" fasad även ett ökat skydd gentemot brand och förekomsten av efterföljande eldklot vid händelse av gasmolnexplosion eller BLEVE. Vid händelse att en explosion inträffar på E20/E4 så är det också rimligt att anta att en brand kan uppstå i samband med detta. De åtgärder som tagits för att säkerställa en brandtålig fasad hos byggnad placerad nära E20/E4 kommer dock få en kraftfullt nedsatt skyddsverkan om betydande delar av fasaden (dvs. fönsterrutor) fallerat på grund av en tidigare inträffad explosion. Av denna anledning fås även ett ökat brandskydd för byggnaden vid händelseförlopp såsom exempelvis BLEVE eller gasmolnexplosion om fasaden utförs som "tät".

En byggnad som utformas med en "tät" fasad får flera fördelar:

- Stötvågslasten kommer enbart belasta byggnadens fasad, vilket innebär att potentiella skador på bärande konstruktionsdelar inne i byggnaden effektivt förhindras.
- Glasrutor kastas inte in på människor i byggnaden, ingen risk för invändig omkullvältning eller ras av lättare byggnadsdelar.
- Med intakta glasrutor förbättras skyddet mot värmestrålning, från en efterföljande brand eller eldklot, betänkligt.

4.5.2 Bakomliggande resonemang att rekommendera 'tät'-fasad

Att utforma fasad "tät" mot explosioner är inte en vedertagen skyddsprincip i samband med fysisk planering intill farligt godsleder inom Stockholm. Vanligtvis omfattar skyddsåtgärder mot explosion endast krav på byggnadens bärande stomme, d.v.s. säkerställandet att byggnaden inte får kollapsa.

Vid sådan dimensionering är det vanligtvis, ur byggnadens lastkapacitetsperspektiv, mer fördelaktigt att utforma byggnaden med en fasad som är så klen som möjligt. Detta för att avlasta lastspridning från fasad till byggnadens globala bärsystem. Denna typ av dimensionering kommer mer stor sannolikhet medföra att byggnadens fasad utformas för att kastas in i byggnaden vid en explosion, något som kan förväntas medföra en omfattande påverkan på de människor som vistas i lokaler innanför denna. De faktiska, positiva skyddseffekterna av att endast säkerställa att byggnadsstommen tål en explosionslast är således svåra att tillgodose i och med att människor innanför fasad fortfarande kan förväntas påverkas i en omfattande utsträckning. I litteratur finns exempelvis angivelser om att ca 30 % av människorna innanför en raseras fasad kan förväntas omkomma [16]. Att endast krävställa ett skydd mot fortskridande ras där dimensionering utgår från större explosionslaster kan således föranleda en byggnadsutformning som innebär ett sämre "total" skydd mot olyckshändelser förknippade med explosionsförlopp. Vidare är det ogörligt att dimensionera såväl fasad och byggnadens bärande stomsystem för att kunna motstå mer extrema lastfall, då detta i praktiken innebär en betonglåda utan glaspartier. Mot bakgrund av att majoriteten av antalet explosionsrelaterade transporter på E4/E20 är kopplade till transporter av brandfarlig gas har vid framtagandet av föreslaget skyddskonceptet utgångspunkten varit att skapa ett tillfredställande skydd mot dessa riskstyrande olycksförlopp.

Sammanfattningsvis kan konstateras att föreslagen skyddsutformning som innebär att byggnaderna som vetter mot E4/E20 utformas med "tät" fasad har en alltigenom gynnsam inverkan för att säkerställa ett lägre antal omkomna vid händelse av en explosion.

Utförd analys av påverkan från en explosion vid ett avstånd om minst 40 meter från E4/E20 (se Bilaga F) påvisar att farliga explosionslaster kan förväntas även vid detta skyddsavstånd. För att säkerställa ett tillfredställande skydd mot de dimensionerande explosionsförloppen krävs oavsett ett skyddsavstånd om 25 eller 40 meter att byggnadstekniska åtgärder vidtas för att säkerställa en "tät" fasad. Känslighetsanalysen påvisar att skyddsavstånd som enskild säkerhetshöjande åtgärd har en ringa inverkan i att säkerställa ett tillfredställande skydd mot explosionsförlopp. Med redogjord skyddsutformning, som innebär att byggnaderna närmast E4/E20 utformas med "tät" fasad mot de riskstyrande explosionsförloppen som kan uppstå till följd av en farligt godsolycka på E4/E20, kan konkluderas att ett ökat skyddsavstånd endast marginellt bidrar till att öka säkerheten för människor inomhus².

4.6 Samlad värdering

Baserat på att riskbilden är inom den lägre delen av ALARP-området, och att riskbilden troligen är överskattat till följd av genomgående konservativa antaganden i samband med riskberäkning, bedöms föreslagna skyddsåtgärder tillskapa en robust riskbild. Riskbilden är vidare tämligen okänslig mot förändringar, t.ex. ett större antal transporter av brandfarliga gaser som inte är helt osannolikt givet samhällsutvecklingen mot ett mer hållbart klimat. Den samlade bedömningen är att föreslagna skyddsåtgärder väl beaktar rådande risksituation och kompenserar för de inskränkningar som görs av länsstyrelsen rekommenderade skyddsavstånd.

² Givetvis innebär ett ökat skyddsavstånd att förväntade tryck och impulstätheter från större explosioner såsom t.ex. 1 ton trotyl minskar, men bedömningen är att skadorna oavsett ett ökat skyddsavstånd kommer vara omfattande.

5 Käslighetsanalys

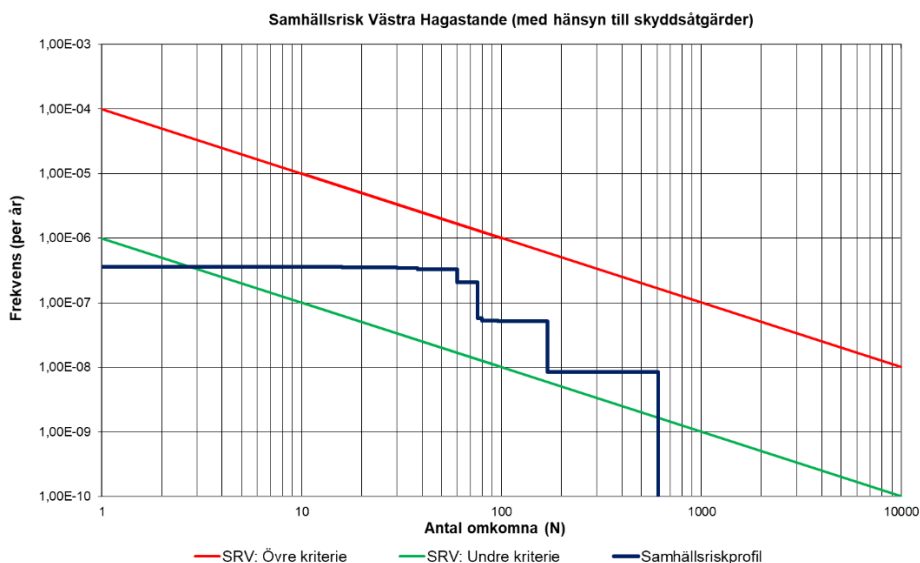
Riskanalyser är alltid förknippade med osäkerheter. Primärt härstammar osäkerheterna från variabler som använts vid beräkningar av frekvens och konsekvens. Vidare kan ändrade förutsättningarna som påverkar riskbilden ligga till grund för osäkerheter. Nedan redogörs för en käslighetsanalys av båda dessa områden.

5.1 Käslighetsanalys av utförda beräkningar

Vid beräkning av olycksfrekvenser har utgångspunkt tagits i den så kallade VTI-metoden. Metoden är vedertagen inom Sverige och används i stor utsträckning vid riskbedömningar längs med farligt godsleder. Metoden är dock några decennier gammal och bygger på olycksstatistik från tidigt 90-tal. Vidare återfinns stora osäkerheter i bedömning av delsannolikheter för hur en trafikolycka kan utvecklas till en farligt godsolycka. Ofråkomligen innebär denna typ av händelseträdsanalys att mer eller mindre grova antaganden behöver göras vilket medför osäkerheter. För att motverka effekten av dessa osäkerheter har, som i tidigare avsnitt utvecklats, konservativa antaganden genomgående legat till grund för de utförda beräkningarna. Med hänsyn till detta bedöms resultaten från beräkningarna återge en konservativ risksituation.

5.1.1 Käslighetsanalys av samhällsrisk

För att illustrera robustheten i den beräknade samhällsrisken har även en käslighetsanalys utförts genom att fördubbla antalet omkomna för respektive olycksscenario. Resultatet visas nedan i Figur 16 och påvisar att godtagbara samhällsrisknivåer föreligger även med denna fördubbling. Därmed går det att dra slutsatsen att antalet omkomna från respektive olycka inte är dikterande för rådande risknivåer inom Västra Hagastaden.



Figur 16. Beräknad samhällsrisksnivå med en fördubbling av antalet omkomna för respektive olycksscenario.

5.2 Käslighetsanalys av förutsättningar för riskberäkningar

Mängd och antal transporter av farligt gods utgår från statistik från 2015. Antalet farligt godstransporter kommer med största sannolikhet generellt minska på berörda körbanor efter det att Förbifart Stockholm är färdigställd. Mängden transporter av brandfarliga gaser förbi planområdet på E20 kan dock troligtvis komma att öka sett till Stockholm hamnarnas framtida behov och samhällsutvecklingen i stort. Sett till föreslagna skyddsprinciper med "täta" fasader mot infrastrukturlederna tillskapas en robust riskbild om är okänslig mot dessa öknings. Baserat på ovanstående är det mer troligt att transportflödena av farligt gods i framtiden kommer innebära lägre risknivåer i omgivningen.

6 Slutsatser

Planområdet Västra Hagastaden är lokaliserat till en ur risksynpunkt utsatt plats med hänsyn till sin nära anslutning till E4/E20, vilka är klassade som primära transportleder för farligt gods förknippade med en högre riskexponering. Riskexponeringen utmed järnvägen Värtabanan som löper på nära avstånd till planområdet är mer begränsad.

För att bedöma riskbilden som transporter av farligt gods på dessa leder ger upphov till så har kvantitativa frekvensberäkningar genomförts.

I ett led att säkerställa att planerad markanvändning inom Västra Hagastaden sker med erforderlig riskhänsyn har inom ramen för riskutredningen ett antal skyddsprinciper arbetats fram. Med beaktande till föreslagna skyddsprinciper påvisar utredningen att godtagbara risknivåer kan säkerställas inom planområdet.

Slutsatsen från riskutredningen är att tänkt exploatering av Västra Hagastaden är genomförbar under förutsättning att nedanstående skyddsåtgärder beaktas:

- Området utomhus mellan byggnader och E4/E20/Värtabanan ska utformas så att det inte uppmuntrar till stadigvarande vistelse.
- Byggnaders bärande huvudsystem ska skyddas från fortskridande ras och kollaps vid ett urspåret tågset på Värtabanan. Lokala brott kan accepteras men fortskridande ras/kollaps av byggnader ska förhindras. De för stommen eventuellt kritiska byggnadsdelar, som ligger på ett avstånd om cirka 10 meter från Värtabanans centrumlinje, ska därför dimensioneras för att klara följande laster:
 - Kraft $F_{dx} = 2000$ (kN), i spåret riktning
 - Kraft $F_{dy} = 750$ (kN), vinkelrätt mot spårets riktning

Vid dimensionering och verifiering ska:

- *påkörningshöjd från spårets överkant ansätts till $H = 1,8$ m.*
- *Påkörningskrafterna F_{dx} och F_{dy} bör vid dimensionering betraktas separat.*
- Fasader som vetter mot E4/E20/Värtabanan ska utföras i obrännbart material (yttre ytskikt av klass A enligt BBR).
- Byggnader vars fasader vetter mot E4/E20/Värtabanan ska utformas med "tät" fasad och med bärande stommar för att motstå karakteristiska tryck och impulstätheter som finns tydliggjorda i Figur 15. Vid verifiering ska explosionscentrum antas utmed E20:s närmsta körbana.
- Glaspartier i fasad som vetter mot Värtabanan ska upp till 20 meters höjd från Värtabanans marknivå utformas i brandteknisk klass EW 30. Övriga glaspartier i fasad som vetter mot Värtabanan ska utformas för att tåla 300 °C i 30 minuter.
- Byggnader ska utformas med friskluftsintag på trygg sida, d.v.s. på sida bort från E4/E20/Värtabanan samt med en alternativ utrymningsväg bort dessa leder.
- Balkonger/uteplatser ska inte uppföras direkt mot E4/E20/Värtabanan. Takterrasser får uppföras men ska vara indragna minst 2 meter från fasad mot infrastrukturlederna.

I ett led att säkerställa en "tät" fasad innebär detta att glaspartier (inklusive dess infästning) i fasad mot Essingeleden behöver utformas explosionsresistenta, exempelvis i klass ER1 enligt EN 13541 eller motsvarande som säkerställer likvärdigt skydd sett till redogjorda karakteristiska tryck och impulstätheter. I ett led att säkerställa att glaspartier klarar en temperatur om 300 °C under minst 30 minuters tid rekommenderas en yttre glasruta i härdat glas om minst 6 mm tjocklek med verifierande egenskaper. Fönster i fasad tillåts vara öppningsbara utifrån ett riskperspektiv.

Med obrännbar fasad avses fasad som utförs med ett yttre ytskikt som uppfyller brandtekniskt klass A enligt Boverkets byggregler, BBR. Mindre brännbara detaljer accepteras i fasader som ska utföras i obrännbart material så länge avsett skydd mot brandspridning inte påverkas.

Planområdet omfattar den uppförda skyddszon som återfinns ovanför tunnelmynning framför kvarter 36 (Molekylen). Ytan ska ombildas från allmänplats till kvartersmark. Utifrån ett riskhanteringsperspektiv är det av vikt att markanvändningen inom skyddszonen inte förändras. Mot denna bakgrund föreslås en skyddsbestämmelse som reglerar att ytan inte får utformas för stadigvarande vistelse.

Höjdskillnader och brokonstruktioner där människor kan vistas nära trafikanläggningar på en högre höjd innebär generellt en förhöjd risk för suicid. Inom planområdet är primärt suicidrisk att beakta vid utformning av Karlbergs Plats som innebär att ytor angränsade Värtabanan på högre höjd utformas för att uppmuntra till stadigvarande vistelse. Det är givetvis svårt och oskäligt att helt försöka bygga bort risken för suicid, men med en anpassad gestaltning kan riskerna effektivt minimeras. För suicidprevention rekommenderas att följande åtgärder beaktas och analyseras vidare inom ramen för den fortsatta projekteringen vid utformning av Karlbergs Plats:

- Fysiska barriärer såsom fallskydd mot spårområde utförs svårklätterbara
- Allmänplats intill Värtabanan utformas med god belysning för ökad trygghetskänsla

Ovanstående åtgärdsförslag kan behöva omformuleras så att de följer de regler som gäller för utformning av planbestämmelser enligt Plan- och Bygglagen (2010:900). Observera att ovanstående åtgärder endast utgör förslag och att det är upp till kommunen/projektet att ta beslut om åtgärderna ska implementeras.

Referenser

- [1] Länsstyrelserna Skåne län, Stockholms län och Västra Götalands län, Riskhantering i detaljplaneprocessen – Riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods, 2006.
- [2] Riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods, Länsstyrelsen i Stockholms län, Fakta 2016:4.
- [3] Handbok för riskanalys, Räddningsverket, 2003.
- [4] Räddningsverket (bl.a. i samarbete med DNV), Värdering av risk, ISBN 91-88890-82-1, 1997.
- [5] <https://vaxer.stockholm/nyheter/2019/12/forslag-om-markanvisning-vastra-hagastaden/>
- [6] Räddningsverket, Boverket, Vägverket, Farligt Gods på vägnätet - Underlag för samhällsplanering, Räddningsverket, Karlstad, 1998.
- [7] Analyser av transporter med farligt gods – Mätningar utförda i Stockholm under maj och oktober 2015, WSP, 2016.
- [8] 01FS 2014:65 – Länsstyrelsens i Stockholms läns kungörelse om sammanställning av rekommenderade vägar och lokala trafikföreskrifter för transport av farligt gods i Stockholms län; (dnr 451 - 41970 - 2014), december 2014.
- [9] Avtal gällande omledningsvägnät för Norra Länken delen Norrtull och Tomtebodavägen, Trafikverket Region Stockholm, Stockholm stad Trafikkontoret & Solna stad, daterat 2015-02-11.
- [10] Detaljplan för nytt universitetssjukhus mm, Solna stad – Miljökonsekvensbeskrivning Nya Karolinska Solna, antagandehandling 2009.
- [11] *Riskutredning avseende människors hälsa. Detaljplan Hornsbergskvarteren*, Projektstaben AB, 2019.
- [12] *Riskutredning Östra Hagastaden*. Exploateringskontoret, Avdelning för stora projekt, Hagastaden, 2019.
- [13] *Utvärdering av brandglas i fasad*, N. Johansson & E. Steen, Rapport 5564, Lund 2017, Examensarbete på brandingenjörsutbildningen
- [14] Brandteknik (2005). *Brandskyddshandboken*. Rapport 3134, Lund Tekniska Högskola, Lund.
- [15] Olsson, P. & Skårman, J. *Brandspridning mellan fönster - En analys av lämpligt avstånd*, Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola Lunds universitet, Rapport 5410, Lund 2012

- [16] Fischer S., Forsén R., Hertzberg O., Jacobsson A., Koch B., Runn P., Thaning L., Winter S. (1998) *Våda utsläpp av Brandfarliga och Giftiga Gaser och Vätskor*, Metoder för bedömning av risker, Andra reviderade och utökade upplagan. Avdelningen för NBC-skydd och Avdelningen för Vapen och Skydd, Försvarets Forskningsanstalt, FOA-R--97-00490-990—SE, Sverige.



Bilaga A – Allmänt om farligt gods

I vilken grad människor, som befinner sig i närheten av en farligt godsolycka, påverkas beror bl.a. på vilket ämne som frigörs, olyckseffekt och exponeringsgrad. Många farliga ämnen påverkar endast det direkta närområdet till olycksplatsen och kräver att människor kommer i direktkontakt med ämnet för att skadas. En del farligt godsklasser kan dock ge upphov till konsekvenser på längre avstånd och på så sätt komma att påverka omgivningen negativt.

Farligt gods delas in i klasser utefter de egenskaper ämnet har enligt ADR-S för vägtransporter. De farligt godsklasser som kan leda till allvarliga konsekvenser med omkomna människor är främst explosiva ämnen och föremål (klass 1.1), brandfarliga gaser (klass 2.1), giftiga gaser (klass 2.3), brandfarliga vätskor (klass 3) och oxiderande ämnen och organiska peroxider (klass 5). Övriga farligt godsklasser än de som redovisas ovan förknippas med konsekvenser som begränsas till närområdet kring olycksplatsen [1]. Till denna grupp härleds icke brännbara, icke giftiga gaser (klass 2.2), brandfarliga fasta ämnen (klass 4), giftiga ämnen (klass 6), radioaktiva ämnen och föremål (klass 7), frätande ämnen (klass 8) samt magnetiska föremål och övriga farliga ämnen (klass 9). I Tabell 8 följer en kort sammanställning av de olika farligt godsklasserna som vid olycka bedöms kunna ge upphov till livshotande skador på människor inom studerat område samt de potentiella skadescenarier som kan uppstå.

Tabell 8. Sammanställning av de för analysen relevanta farligt godsklasser samt de potentiella skadescenarier som kan uppstå vid olycka.

Farligt godsklass	Olyckseffekt
Klass 1 Explosiva ämnen och föremål <i>Sprängämnen, ammunition, fyrverkerier etc.</i>	<p>Farligt gods klass 1.1. <i>Massexplosiva ämnen</i> kan skada människor på ett stort avstånd från olycksplatsen. Vid detonation av massexplosiva ämnen uppkommer stora tryckvågor i omgivningen. Byggnader och människor inom dessa kan komma att ta skada på stora avstånd. Uppkommen tryckvågen kan föranleda skada på trumhinnor och lungor samt kan omkullkastning leda till att människor utomhus förolyckas.</p> <p>En explosion nära byggnader kan leda till att väggar och liknande raseras och att människor skadas/omkommer på grund av detta. Fönster som krossas leder till glassplitter. Riskgrupp 1.2-1.6 innebär ingen risk för massexlosion utan begränsar sig till risk för splitter och kaststycken vid olycka. Konsekvenserna är normalt begränsade till närområdet och bedöms inte påverka byggnaders integritet.</p>
Klass 2.1 Brandfarliga gaser <i>Kväve, gasol, vätgas etc.</i>	<p>En olycka med farligt gods i klass 2.1 kan få olika skadeverkan.</p> <p><i>Pölbrand</i> – En pölbrand kan uppstå då brandfarliga gaser bildar en pöl och antänds direkt vid utsläpp. En pölbrand kan genom värmestrålning orsaka brännskador på människor samt sprida brand till närliggande byggnader.</p> <p><i>Jetflamma</i> – En jetflamma bildas om utströmmande gas under tryck antänds direkt. Störst blir olyckseffekten (flammas längd) om utsläppet sker i vätskenivå. Människor kan förolyckas genom hög värmestrålning.</p> <p><i>Gasmolnsbrand/-explosion</i> – Ett gasmoln bildas om den utströmmande gasen inte antänds direkt. Molnet kan då driva iväg och antändas i ett senare skede. Antändning av gasmoln i det fria karakteriseras vanligtvis av en gasmolnsbrand, men kan under ogynnsamma förutsättningar även resultera i ett förlopp med övertryckeffekter. Människor kan således komma att påverkas av såväl höga värmedoser som övertryckeffekter.</p>



	<i>BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) / Kärlsprängning</i> – En BLEVE kan uppstå då en tank kraftigt upphettas exempelvis av en brand. Olyckseffekten blir värmestrålning och splitter och människor kan skadas på stora avstånd. Då BLEVE uppstår en tid efter upphettning har påbörjats får människor i området chans att sätta sig själva i säkerhet.
Klass 2.3 Giftiga gaser <i>Klor, ammoniak etc.</i>	Olyckseffekten av ett utsläpp av giftig gas beror mycket på omgivande faktorer såsom väderförhållanden och topografi. Människor kan förolyckas av förgiftning och/eller drabbas av frätskador på stora avstånd från olycksplatsen.
Klass 3 Brandfarliga vätskor <i>Bensin, diesel, aceton etc.</i>	Ett utsläpp av farligt gods klass 3 är primärt förknippat med uppkomst av en pölbrand vars värmestrålning kan orsaka brännskador på människor samt sprida brand till närliggande byggnader. Människor som befinner sig utomhus förväntas inte omkomma från avgiven strålning från en pölbrand, då det är troligt att dessa människor flyr undan värmen innan de förolyckas.
Klass 5 Oxiderande ämnen och organiska peroxider <i>Ammoniumnitrat, väteperoxid, pumpemulsion för sprängning etc.</i>	Ett utsläpp av farligt gods klass 5 innebär i sig ingen risk för omgivningen. Om ett utsläpp av klass 5 kommer i kontakt och blandas med t.ex. brännbara vätskor (bensin m.m.) kan dock konsekvensen bli en mycket kraftig explosion.

Referenser Bilaga A

- [1] Stadsbyggnadskontoret i Göteborg (i samarbete med FOA risk & VBB Samhällsbyggnad), Översiktsplan för Göteborg, fördjupad för sektorn – Transporter av farligt gods, Bilaga 1-5, Dnr: 758/92, 1999.



Bilaga B – Restriktioner farligt godshantering inom Stockholms hamnar

Av betydande för det förväntade farligt godsflödet genom Norra Länken samt det potentiella farligt godsflödet på Värtabanan är gällande kvantitetsbegränsningar avseende farligt godshantering inom Stockholms hamnarna fastslagna 2014 [1], vilka har utarbetats för att minimera konsekvenserna vid olycka involverande farligt gods. Restriktionerna är framtagna med hänsyn till säkerheten för färjeresenärer samt lokala förhållanden såsom närheten till bebyggelse, anläggningar och andra platser, där människor vanligen uppehåller sig. I Tabell 9 följer de viktigaste restriktionerna avseende människors säkerhet:

Tabell 9. Restriktioner avseende farligt godshantering i [1].

IMDG KLASS	Kommentar
1.1	ämnen och föremål med risk för massexplosion, hanteras ej.
1.2	ämnen och föremål med risk för splitter och kaststycken men inte massexplosion, hanteras ej.
1.3	ämnen och föremål med risk för brand, och mindre risk för tryckvåg splitter och kaststycken, men inte för massexplosion a) vars förbränning ger upphov till avsevärd strålningsvärme, eller b) vilka brinner efter varandra och ger upphov till mindre verkningar genom tryckvåg eller splitter och kaststycken. Maximal kvantitet: 10 000 kg nettovikt explosivämne.
1.4	ämnen och föremål med endast obetydlig explosionsrisk i händelse av antändning eller initiering under transport. Verkningsgraden är i stort sett begränsade till kollit och det kan inte förväntas splitter av betydande storlek eller utbredning. Brand utifrån får inte förorsaka praktiskt taget samtidig explosion av så gott som hela kollits innehåll. Maximal kvantitet: 75 000 kg nettovikt explosivämne.
1.5	Mycket okänsliga ämnen med risk för massexplosion men med mycket liten sannolikhet för initiering eller övergång från brand till detonation under normala transportförhållanden Maximal kvantitet: 10 000 kg nettovikt explosivämne.
1.6	Extremt okänsliga föremål utan risk för massexplosion. Föremålen innehåller endast extremt okänsliga ämnen och där sannolikheten för oavsiktlig antändning eller utbredning är försumbar. Maximal kvantitet: 10 000 kg nettovikt explosivämne.
2.1	Brandfarliga gaser (vilket motsvarar grupper betecknade med den versala bokstaven F). a) Lastade tankcontainrar, hanteras ej. b) Mindre förpackningar(gasflaskor), avgörs i varje enskilt fall. Förhandsförfrågan ska ske i god tid. UN 1950 Aerosoler omfattas inte av begränsningar.
2.2	Ikke brandfarliga, icke giftiga gaser. Maximal kvantitet: 200 000 kg
2.3	Giftiga gaser, hanteras ej.
3	Förpackningsgrupp I Produkter med en kokpunkt under 35°C, hanteras ej. Förpackningsgrupp II Produkter med flampunkt under 23°C, maximal kvantitet: 100 000 kg. Förpackningsgrupp III Produkter med flampunkt mellan 23°C och 60°C, maximal kvantitet: 150 000 kg.

5.1	Förpackningsgrupp I Oxiderande ämnen, maximal kvantitet, 10 000 kg. Förpackningsgrupp II Oxiderande ämnen, maximal kvantitet, 75 000 kg. Förpackningsgrupp III Oxiderande ämnen, maximal kvantitet, 100 000 kg.
5.2	Organiska peroxider, se även förteckning i IMDG-koden över organiska peroxider som är tillåtna för transport. a) typ A-D3, hanteras ej. b) typ E-G, maximal kvantitet, 100 000 kg.

Gällande restriktioner innebär att de farligt godsklasser som är förknippade med större konsekvenser på omgivningen givet olycka t.ex. massexplosiver samt brännbar och giftig gas är förbjudna inom Värtahamnen, därmed förutsätts dessa inte förekomma som transport på Värtabanan eller E20.

Referenser Bilaga B

- [1] http://www.stockholmshamn.se/siteassets/om-oss/tilltrade--sakerhet/bilagor-driftforeskrifter/bilaga9_farligt_gods_kvalitetsbegransningar.pdf

Bilaga C – Fördjupad analys av riskexponering från Värtabanan

De tänkbara olyckssituationer som kan uppstå längs den aktuella järnvägssträckningen som är förknippade med omgivningspåverkan bedöms vara:

- urspårning med risk för mekanisk påverkan
- urspårning som leder till brand och/eller utsläpp av farligt gods eller
- en kombination av dessa skadehändelser.

Brand i tåg kan även uppstå av orsaker som inte är förknippade med urspårning såsom elfel, tjuvbroms eller motorbrand, sådana brandförlopp är emellertid att betrakta som mindre allvarliga varför omfattningen av omgivningspåverkan kan förväntas små.

C.1 Frekvens för urspårning av tåg

Majoriteten av alla urspårningar innebär mycket begränsad påverkan på kringliggande områden, då urspårningar främst karakteriseras av att ett hjulpar hoppar av spåret medan tåget förblir upprätt. Urspårningar kan ske av en mängd olika orsaker. De vanligaste orsakerna är hjul-, axel- eller fjäderbrott i tågen, samt fel på spåret i form av rälsbrott och solkurvor. Även större främmande föremål på spåret kan föranleda urspårning. Spårväxlar utgör vidare en försvårande omständighet, dessa kan dels initiera urspårning t.ex. på grund av ett hjulbrott, dels är de i sig själva en svag punkt i spåret med möjliga fel på växeltungor, korsningar etc. Ett urspårat tåg som förblivit upprätt kan vidare välta i samband med passage genom växel.

I Eurokoderna, SS-EN-1991-1-7 (2006) finns vidare krav/vägledning avseende hantering av olyckslast orsakade av urspårning vid uppförande av byggnadsverk innehållande verksamhet för stadigvarande vistelse i anslutning till järnvägsspår. I tabell 4.4, avsnitt 4.5.1.4 i Eurokoderna, tydliggörs att ingen hänsyn till påkörningskrafter behöver beaktas om bärverk placeras på ett avstånd överstigande 5 meter.

För en mer detaljerad analys av olyckslaster i samband med planläggning ovan/intill järnvägsspår hänvisar Eurokoderna till regler framtagna av den internationella järnvägsunionen, UIC 777-2 [1]. I UIC 777-2 presenteras en metod för att beräkna urspårningsfrekvensen intill byggnadsverk, vilken bygger på insamlad olycksstatistik från Europa. Enligt vägledningen kan urspårningsfrekvensen utanför ett stationsområde med växlar beräknas med hjälp av ekvation nedan:

$$F_1 = e_r \times d \times Z_d \times 365 \times 10^{-3} \text{ där,}$$

$$e_r = \begin{array}{l} \text{urspårningsfrekvens per tågkm. } 2,5 \times 10^{-8} / \text{ tågkm (persontåg) resp.} \\ 25 \times 10^{-8} / \text{ tågkm (godståg) för spår med växlar} \end{array}$$

$$d = \begin{array}{l} \text{den längsta sträcka som den urspårade vagnen kan gå längs med} \\ \text{spåret, vilket beräknas som } V^2/80, \text{ där } V \text{ är tågets hastighet (km/h)} \\ \text{vid urspårningstillfället} \end{array}$$

$$Z_d = \text{antal tåg per dygn}$$

Enligt UIC kan sannolikheten för urspårning inom stationsområden med växlar antas vara 10 gånger större än för rak- eller kurvspår i övrigt.

Statistikinsamling för järnvägen görs kontinuerligt. Trafikanalys gör varje år en sammanställning avseende bantrafikskador samt bantrafik som utgör en del av den officiella statistiken. I hela Sverige har det i närtid (2006–2015) inträffat 91 urspårningar vid tågrörelse på järnväg [2].

Det sammanlagda trafikarbetet under åren 2006–2015 kan utifrån statistiken i [3] uppskattas till totalt ca. 1 400 miljoner tågkilometer, varav persontrafiken står för ca. 100 miljoner tågkilometer per år och godstrafiken står för ca. 40 miljoner tågkilometer per år. Sannolikheten för en tågurspårning i medeltal (oberoende av bankaraktär och tågtyp) blir då ca $6,5 \times 10^{-8}$ per tågkilometer. Denna siffra ligger relativt nära värden presenterade av UIC, och tar vidare ingen hänsyn till specifika korrelationer såsom exempelvis växlars förväntande påverkan på urspårningsfrekvensen. Jämförelsen anses påvisa att metod presenterad av UIC återger verklighetstroga resultat.

Med hjälp av ekvation framtagen av UIC beräknas urspårningsfrekvensen vid sträcka längs Västra Hagastaden till:

$$F_{1 \text{ godståg}} = 25 \times 10^{-8} \times \frac{70^2}{80} \times 10 \times 365 \times 10^{-3} = 5,59 \times 10^{-6}, \text{ vilket motsvarar ca 1 urspårning på 17 892 år}$$

Ovanstående urspårningsfrekvens ska vidare inte förväxlas med sannolikheten för farliga urspårningar, d.v.s. där människors liv och hälsa kan påverkas. Denna risk är av en betydligt mindre storleksordning eftersom tågen i de flesta fall håller sig inom spårområdet och förblir upprätt.

C.2 Risk för urspårning med mekanisk påverkan

Sannolikheten att ett urspårat tåg förflyttar sig från spårområdet givet olycka är beroende av flera faktorer. De mest betydande omgivningsfaktorerna (fordonsspecifika faktorer ej inkluderat) är främst tågets hastighet i samband med att urspårning sker, om växlar finns närvarande samt om det finns kraftiga kurvor och/eller sluttningar. Statistik visar att i 82 % av fallen hamnar vagnarna 0-5 m spåret [4]. Ett förenklat antagande, utifrån [4], är att 94 % av alla vagnar hamnar inom 10 meter från yttre räil och ingen vagn hamnar längre än 25 m från yttre räil. Enligt UIC kan avvikelser i sidled beräknas enligt samband $V^{0,55}$, där V utgör tågets hastighet. En hastighet om 70 km/h skulle enligt vägledning enligt UIC innebära att avvikelser i sidled kan förutsättas begränsas till maximalt ca 10 meter. Med hänsyn till de aktuella omgivningsfaktorerna som föreligger på järnvägssträckan (raksträcka, enbart 1 växel, inga kraftiga sluttningar mot det skyddsvärda) inom planområdet är bedömningen att resultatet enligt UIC:s presenterade samband kan anses tillförlitligt.

Det föreslås därmed att ett säkerhetsavstånd på 10 meter mellan värtabanan och bebyggelse arbetas in i detaljplanen för Västra Hagastaden för att säkerställa att krav enligt Eurokoderna uppfylls.

C.3 Risk för farligt godsolycka till följd av urspårning

För att en farligt godsolycka ska uppstå givet urspårning krävs att en eller flera farligt godsvagnar välter och skadas på sådant sätt att det farliga ämnet släpps ut till atmosfären alternativt att en brand uppstår till följd av t.ex. friktion som sprider sig till den farliga lasten. I brist av aktuell statistik avseende andelen farligt godsvagnar (genomgången ovan indikerar att farligt godsmängden i dagsläget är obefintlig och även i framtiden kan förväntas mycket begränsad), så utgår frekvensberäkningarna från tidigare antagen statistik, att ca 1 % av godsvagnarna utgörs av farligt godsvagnar. Antagandet bedöms utgöra en konservativ framtidsprognos som beaktar förutsättning att nya rederier med kapacitet att hantera spårbundet gods börjar trafikera Värtahamnen igen. Enligt [5] påverkas ca 3,5 vagnar i medeltal vid en urspårning. Sannolikheten att minst en av dessa är en farligt godsvagn beräknas som komplement till att ingen vagn är en farligt godsvagn. Sannolikheten för att en farligt godsvagn är inblandad i olyckan kan således beräknas till: $1 - (1 - 0,01)^{3,5} = 0,035$.

Vidare krävs att tanken skadas i sådan utsträckning att det farliga godset släpps ut till atmosfären. Sannolikheten för skada på tank givet olycka är del beroende av tågets hastighet i samband med olycka, omgivande markförutsättningar (mer troligt att tank skadas om den välter på en hårdgjord yta än exempelvis äng-/gräsmark) och godstankens karaktär. Bortser man från inverkan av platsspecifika markförutsättningar kan antas att utsläpp sker med en sannolikhet om:

- 2 % för tjockväggiga tankvagnar (vanligt vid transporter av tryckkondenserad gas)
 - Sannolikheten för litet läckage är 1 %
 - Sannolikheten för stort läckage är 1 %
- 30 % för tunnväggiga tankvagnar (vanligt vid transporter av drivmedel)
 - Sannolikheten för litet läckage är 25 %
 - Sannolikheten för stort läckage är 5 %

Med utgångspunkt i Stockholm Hamnars stipulerade restriktioner avseende farligt godshantering (se Bilaga B – Restriktioner farligt godshantering inom Stockholms hamnar) kan antas att farligt gods på Värtabanan kommer transporteras i tunnväggiga tankvagnar.

Frekvensen för att en farligt godsolycka ska uppstå kan med ovanstående indata och antaganden beräknas till $5,87 \times 10^{-7}$, vilket motsvarar ca. en olycka på 1,7 miljoner år. För att utsläpp av exempelvis brandfarlig vätska ska utgöra något hot mot omgivningen krävs att antändning sker. Sannolikheten för antändningen givet ett utsläpp kan antas till 10-30 %, variationen styrs av utsläppets karaktär (litet eller stor läckage) samt hur lätt antändlig vätskan är (bensin är exempelvis mer lättantändlig än diesel/eldningsolja). Med utgångspunkt i olycka involverande brandfarlig vätska³ kan frekvensen för en stor pölbrand beräknas till ca $2,94 \times 10^{-8}$, vilket motsvarar en frekvens om ca händelse på 34 miljoner år.

C.4 Konsekvenser av farligt godsolycka till följd av urspårning

Då den typ av farligt gods som förväntas kan komma att transporteras på Värtabanan är brandfarliga vätskor så görs en konsekvensbedömning av en farligt godsolycka som föranleder pölbrand.

C.4.1 Dimensionerade scenario

Med hänsyn till att banvallen har makadam som underlag kan mycket av den brandfarliga vätskan förväntas tränga ner i marken och därmed också att utsläppets utbredning begränsas. Banvallen uppgår till maximalt ca 11 meter och det dimensionerande brandscenariot antas därmed till en cirkulär pöl med diameter på 11 m vilket motsvarar en area på ca 100 m². Detta scenario motsvarar att en farligt godsvagn totalskadas vilket föranleder att allt innehåll läcker ut i samband med olycka.

Som en känslighetsanalys utreds även ett scenario där pölbranden har en dubbelt så stor bas; 200 m².

C.4.2 Beräkningsgång

Beräkningsgång och underliggande resonemang för bedömning av infallande strålning presenteras i Bilaga E, avsnitt E.3.

C.4.3 Resultat

Resultatet från beräkningarna visar infallande strålningsintensitet på olika avstånd till branden enligt tabellerna nedan.

³ Med hänsyn till i Stockholm Hamnars stipulerade restriktioner avseende farligt godshantering samt Fortum Värmes farligt godshantering anses det såväl konservativt som mest relevant att utgå från konsekvenser förknippade med pölbrand.



Pölstorlek om 100 m², $H_f = 16.8$ m och $D = 11.3$ m

Avstånd till brand	Infallande strålning [kW/m ²] givet E = 60 kW/m²
5	41,2
10	21,9
15	12,4
20	7,8
25	5,2
30	4,3
35	3,7
40	2,8

6.1.1.1 C.4.3.1. Känslighetsanalys

Pölstorlek om 200 m², $H_f = 21.1$ m och $D = 15.9$

Avstånd till brand	Infallande strålning [kW/m ²] givet E = 60 kW/m²
5	48,0
10	30,4
15	19,0
20	12,5
25	8,7
30	7,2
35	6,3
40	4,8

C.4.4 Skadeeffekter

För de dimensionerande scenariot (pölstorlek om 100 m²) påvisar beräkningarna att strålningsnivåerna på under 10 meters avstånd kan förväntas uppgå till över 22 kW/m² för en pölbrand på 100 m². Känslighetsanalys utförd med en pölbrand på 200 m² påvisar strålningsnivåer på över 30 kW/m² vid ett avstånd på 10 meter. Utförd känslighetsanalys i Bilaga E – Konsekvensberäkningar farligt godsolycka E20/E4, avsnitt E.3. Utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor (ADR-S Klass 3) . påvisar vidare att resultaten är okänslig mot antagande av pölstorlek samt typ av brandfarlig vätska.

Resultaten indikerar att det är sannolikt att en större pölbrand som uppstår till följd av olycka med transport av farligt gods på Värtabanan föranleder brandspridning in till närliggande byggnad på ett avstånd mindre än 15 meter. Resultaten indikerar även att människor i det fria som befinner sig på ett större avstånd än 10 m kan förväntas klara sig från exponering av dödliga strålningsdoser på 35 kW/m². Dock kan människor i närheten förväntas erhålla 2-gradens brännskador.

Referenser Bilaga C

- [1] UIC Code 777-2: Structures built over railway lines – Construction requirements in the track zone. International Union of Railways (UIC), Paris 2002.
- [2] Bantrafikskador 2015 – Statistik. Trafikanalys, rapport 2016:20 (Sveriges officiella statistik). Innehåller även historiska översikter.
- [3] Bantrafik 2015 – Statistik. Trafikanalys, rapport 2016:18 (Sveriges officiella statistik). Innehåller även historiska översikter.
- [4] Modell för skattning av sannolikheten för järnvägsolyckor som drabbar omgivningen. Rapport 2001:4. Banverkets Miljösektion, Herrebeta Järnvägskonsult (Fredén S) 2001.
- [5] Farligt gods – riskbedömning vid transport, Räddningsverket, Karlstad, 1996.
- [6] Magnusson, K., L. Hammar, et al. (2002) Säkerhetsvärdering Nygårdstunneln (Risk assessment Nygårdstunnel), Göteborg, SSPA Sweden AB.

Bilaga D – Frekvensberäkningar farligt godsolycka E20/E4

I denna bilaga beräknas sannolikheten för att ett skadescenario uppstår givet att en trafikolycka involverande farligt gods inträffar på aktuella vägsträcka som passerar planområdet Västra Hagastaden. Bedömning av frekvensen för en olycka med farligt gods som leder till utsläpp görs enligt metod som beskrivs i Vägverkets rapport *Fördjupning – Riskanalys vald vägsträcka* [1]. Beräkningar för aktuell vägsträcka av E4/E20 utförs för en normerad sträcka av 1 km eftersom det är efter detta som acceptanskriterierna i avsnitt 1.5 är anpassade efter.

Den indata som tillsammans med utförd inventering av farligt godsflödena används i beräkningarna åskådliggörs i Tabell 10.

Tabell 10. Indata för bedömning av sannolikhet för olycka med farligt gods.

Variabel	E20/E4
Hastighet	70 km/h
Q (Olycksfrekvens/miljon fordonskilometer)	0,6 [1]
F (Antal fordon/olycka)	1,8 [1]
L (längd)	1 km

Frekvensen för olycka med farligt gods per år kan beräknas med hjälp av ekvationen nedan:

$$P = N \times Q \times F \times L \times 10^{-6}$$

Vid frekvensberäkning antas det att sannolikheten för trafikolycka är oberoende av vilken last som ryms i lastbilen, d.v.s. sannolikheten för att en farligt godstransport är inblandad är direkt kopplad till hur stor andel av det totala antalet transporter som rymmer farligt gods.

N utgör antalet farligt godstransporter och utgår från resultaten från utförd inventering enligt sammanställningen nedan.

tabell 11. Sammanställning av antal transporter av farligt gods på E4/E20

ADR-S klass	Typ av farligt gods	Antal transporter per år
1.1 – 1.6	<u>Explosiva ämnen</u> (majoritet är 1.1) <ul style="list-style-type: none"> 60 kg eller lägre (50 %) 60 – 500 kg (35 %) 500 – 1000 kg (10 %) > 1000 kg (5 %) – förbjudna 	843 590 169 -
2.1	<u>Brandfarliga gaser</u> (främst metan)	2449
2.2	• Bulktransport	2758
2.3	• växelflak	2250
	<u>Icke brandfarliga, icke giftiga gaser</u>	46
	<u>Giftiga gaser</u> (främst sprayfärg mm)	
3	<u>Brandfarliga vätskor</u> (främst bensin, diesel)	31 643
4	<u>Brandfarliga fasta ämnen, etc.</u>	237
5	<u>Oxiderande ämnen och peroxider</u>	267
6	<u>Giftiga ämnen</u>	148
7	<u>Radioaktiva ämnen</u>	0
8	<u>Frätande ämnen</u>	1453
9	<u>Magnetiska material och övriga farliga ämnen</u>	3707
Styckegods	-	14 782
Totalt antal		59 312

En sammanställning av beräknade olycksfrekvenser för att en farligt godstransport ska vara involverad i en olycka på berörd transportled redogörs i Tabell 12.

Tabell 12. Sammanställning av beräknade olycksfrekvenser för berörd transportled.

ADR-S Klass	Olycksförlopp	Olycksfrekvens per år
1.1 – 1.6	Explosion 60 kg eller lägre	9,1E-04
	Explosion 60-500 kg	6,4E-04
	Explosion 500-1000 kg	1,8E-04
2.1	Gasutsläpp (bulk)	2,6E-03
2.2	Gasutsläpp (flak)	3,0E-03
2.3	Giftigt gasutsläpp	5,0E-05
3	Utsläpp av brandfarlig vätska	3,4E-02
5	Explosion klass 5	2,9E-04

Det bör noteras ovanstående olycksfrekvenser inte innebär att farliga konsekvenser mot omgivningen uppstår givet en trafikolycka. För att detta ska uppstå krävs att den farliga godstransporten skadas på sådant sätt att det uppstår ett farligt olycksscenario såsom exempelvis explosion, brand, etc.

Frekvensen för möjliga potentiella farliga olycksscenarion som kan komma att uppstå givet en trafikolycka med farligt gods beräknas för respektive farligt godsklass i nedanstående avsnitt och utgår från ekvationen:

$$P_0 = N \times Q \times P_u \times F \times L \times 10^{-6}$$

Den indata som används i beräkningar kan åskådliggöras i Tabell 13 nedan.

Tabell 13. Indata för bedömning av sannolikhet för olycka med farligt gods.

Variabel	Värde från [1]
Q (Olycksfrekvens/miljon fordonskilometer)	0,6
F (Antal fordon/olycka)	1,8
P _u (Sannolikhet för läckage vid tjock tankvägg)	0,0019
P _u (Sannolikhet för läckage vid tunn tankvägg)	0,13

Med ovan indata beräknas frekvensen för farliga olycksscenarion som kan komma att uppstå givet en trafikolycka med respektive farligt godsklass i nedanstående avsnitt.

D.1. Olycka involverande massexplosiva ämnen (ADR-S klass 1.1-1.6)

En detonation kan uppstå antingen till följd av att starka påkänningarna på lasten till följd av själva trafikolyckan eller till följd av en brand som sprids till lasten. Ämnen ur riskgrupp 1.1 får enbart transporteras i fordon som uppfyller krav för s.k. EX/II- eller EX/III-fordon, vilket innebär krav på utförandet av elektronik, bromsar, energiabsorberande zoner samt förebyggande åtgärder mot brandrisker. Detta syftar till att reducera sannolikheten för trafikolycka som kan leda till stora påkänningar eller brandspridning till lasten vid t.ex. en motorbrand. Med avseende på detta utgår bedömningen från att det krävs en mer våldsamt kollision som skadar transportfordonet samtidigt som det uppstår en mer allvarlig brand som sprider sig till lasten. Mest troligt är att fordonets drivmedelstank behöver involveras i brandförloppet för att uppkommen brand ska innebära ett hot för lastutrymmet.

Under åren 1994-1999 rapporterades årligen i genomsnitt 64,7 fordonsbränder i Sverige vid polisrapporterade vägtrafikolyckor till Vägverkets informationssystem för trafiksäkerhet (VITS)⁴. Under motsvarande år rapporterades ca 15 700 trafikolyckor med personskada per år⁵. Utifrån detta kan sannolikheten för brand i fordon vid olycka uppskattas till ca 0,4 % (64,7 / 15 700). Statistiken anger inget om allvarlighetsgraden för uppkomna bränder.

Liknande statistik från Norge visade på i snitt 6,3 fordonsbränder per år och 9000 rapporterade olyckor⁶. Detta skulle innebära att endast 0,07 % av antalet fordonsolyckor leder till brand i fordon. Statistiken anger inget om allvarlighetsgraden för uppkomna bränder.

Den statistiska sammanställning utförd av FOI⁷ indikerar att 2 % av antalet bränder med betydelse för lastbilar uppkommer till följd av en kollision. Antal bränder av betydelse för lastbilar med farligt gods kan ansättas till 0,2 per 10 miljoner fordonskilometer baserat på tillgänglig statistik.

Baserat på ovanstående information från litteratur utgår sannolikheten för efterföljande brand i samband trafikolycka som riskerar att hota lastutrymmet till 0,004. Sannolikheten för uppkomst av krockvåld som skadar lastutrymmet i samband med trafikolycka beräknas med utgångspunkt för en tunnväggig tank. Beräkningar utgår vidare från att spridning till lasten och uppkomst av detonation av hela lasten uppstår i 50 % av fallen.

Det finns idag ingen känd forskning kring hur stor kraft som behövs för att initiera detonation av det fraktade godset vid en trafikolycka. Med hänsyn till aktuell vägutformning som innebär en hastighetsbegränsning om 70 km/h samt att det inte finns någon risk för frontalkollisioner är bedömningen att det är väldigt otroligt att starka påkänningar kan föranleda en detonation. Det är bedöms troligt att transportfordonens utformning som innebär att energin vid en kollision ska tas upp av olika energiabsorberande zoner skapar ett tillfredställande skydd mot krafter som kan uppstå vid en upphinnande olycka under aktuella förutsättningar. Mot bakgrund av den ringa information som finns tillgänglig för att motivera detta skydd utgår dock beräkningarna konservativt från att sannolikheten för detonation givet starka påkänningar är lika stor som för att en brand sprider sig till lasten i samband med olycka.

Med ovanstående som input beräknas olycksfrekvenser för detonation på E4/E20 till följande:

Explosion 60 kg eller lägre	2,4 E-07 per år
Explosion 60-500 kg	1,7 E-07 per år
Explosion 500-1000 kg	4,7 E-08 per år

⁴ Vägverkets informationssystem för trafiksäkerhet (VITS), uppgifter erhållna av Arne Land, Statens Väg- och Transportforskningsinstitut 2003-05-27.

⁵ Vägtrafikskador 2004, Statens institut för kommunikationsanalys (SIKA), Rapport 2005:14, 2005.

⁶ Tunnlar i Storstad – säkerhets och miljöaspekter, Nordiska vägtekniska förbundet, 2002.

⁷ FOI (2009) Om explosionsbenägenhet vid olycka i samband med transport av farligt gods klass 5, FOI Memo 2774.

D.2. Olycka involverande brandfarlig gas (ADR-S klass 2.1)

Baserat på att farligt godsinventeringen görs här en uppdelning avseende olycka involverande bulktransport av brandfarlig gas respektive transport av tryckkomprimerad gas i växelflak.

D.2.1 Olycka involverande bulktransport

För att en olycka med klass 2.1 ska leda till konsekvenser för omgivningen krävs att det farliga godset sprids utanför behållaren och sedan antändas. För tjockväggiga tankar reduceras värdet för att tank skadas i samband med olycka med en faktor 30 gentemot sannolikheten för att en tunnväggig tank skadas [1].

Ett läckage av brandfarlig gas kan resultera i följande händelseförlopp:

- Omedelbar antändning som ger upphov till pölbrand.
- Uppvärmning av tank eller tankhaveri som leder till BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion).
- Fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion.

Fördelning av dessa scenarier varierar ganska kraftigt mellan olika källor. I [3] relateras till ett antal källor och följande sannolikheter används för de olika händelseförloppen givet olycka och skada på en bulktransport:

- Ingen antändning: 30 %
- Direkt antändning (pölbrand/jetbrand): 19 %
- BLEVE: 1 %
- Fördröjd antändning (gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion): 50 %

Dessa värden bedöms rimliga och tillämpas vidare i denna analys. Enligt VROM [4] kan vidare fördelningen mellan gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion givet en fördröjd antändning ansättas till 60/40 %.

Med utgångspunkt i att LNG kan förväntas vara riskstyrande inom gruppen brandfarliga gaser utgår vidare utredningen från att pölbrand kommer uppstå givet en direkt antändning av ett utsläpp. Detta mot bakgrund av att LNG i transporteras nedkyld, ca - 162 °C, i flytande form under atmosfärstryck. För att en farlig jetflamma ska uppstå istället krävs således att tanken hettas upp så att en tryckupbyggnad sker och säkerhetsventil öppnas. För att ett sådant förlopp vidare ska kunna utgöra något hot mot omgivningen krävs vidare att tanken har välvt i samband med olycka så att säkerhetsventilerna pekar i horisontell riktning mot planerad bebyggelse, i annat fall kommer avluftning ske rakt uppåt i luften utan allvarliga effekter mot människor i omgivningen.

Följande olycksfrekvenser beräknas för de dimensionerande händelseförloppen:

D.2.1.1. Pölbrand

Sannolikheten för direkt antändning givet utsläpp som föranleder en pölbrand beräknas med följande indata.

P_u (Sannolikhet hål i tjock tankvägg)	0,0019 [1]
Sannolikhet direkt antändning	0,19

Sannolikheten för att pölbrand ska uppstå givet en olycka involverande LNG på beräknas till ca 9,5 E-07 per år.

D.2.1.2. Gasmolnsbrand

Sannolikheten för en fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsbrand beräknas med följande indata.

P_u (Sannolikhet hål i tjock tankvägg)	0,0019 [1]
Sannolikhet fördröjd antändning	0,5
Sannolikhet gasmolnsbrand	0,6

Sannolikheten för att en gasmolnsbrand ska uppstå givet en olycka involverande LNG på E20/E4 beräknas till ca 1,5 E-06 per år.

D.2.1.3. Gasmolnsexplosion

Sannolikheten för en fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsexplosion beräknas med följande indata.

P_u (Sannolikhet hål i tjock tankvägg)	0,0019 [1]
Sannolikhet fördröjd antändning	0,5
Sannolikhet gasmolnsexplosion	0,4

Sannolikheten för att en gasmolnsexplosion ska uppstå givet en olycka involverande LNG på E20/E4 beräknas till ca 1,0 E-06 per år.

D.2.1.4. BLEVE

Sannolikheten för BLEVE beräknas med hjälp av följande indata.

P_u (Sannolikhet hål i tjock tankvägg)	0,0019 [1]
Sannolikhet BLEVE	0,01

Sannolikheten för att BLEVE uppstår givet en olycka involverande LNG på E20/E4 beräknas till ca 5,0 E-08 per år

D.2.2. Olycka involverande växelflak med tryckkomprimerad biogas

Ett läckage av tryckkomprimerad gas kan resultera i följande händelseförlopp:

- Omedelbar antändning som ger upphov till jetflamma/jetbrand.
- Fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsbrand.
- Fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsexplosion
- Uppvärmning av flak som leder till kärlsprängning.

Det finns olika lösningar på utförande av gasflak. En av de vanligare transportörerna på marknaden är AGA. AGA:s modell bygger på lastväxlarflak. Flaken är fylld med 147 flaskor à 50 liter (geometrisk volym), vilket motsvarar 7,35 m³. Vid ett tryck av 200 bar, kan ca 1900 Nm³ gas lagras per flak, vilket motsvarar ca 1500 kg.

Flaken är konstruerade som ett ramverk av stål och fungerar som påkörningsskydd, se Figur 17. Exempel på gasflak.



Figur 17. Exempel på gasflak.

Långsidorna är öppna bortsett från några tvärgående balkar, men för att skydda flaskorna ligger dessa ca 25 cm in från flakets långsidor. Gasflaskorna är i sig väldigt robusta mot bakgrund av de höga tryck de är utformade för. För att minimera utsläppt volym gas vid en eventuell olycka eller ett läckage är flaskorna uppdelade i 6 sektioner, vilka sedan är indelade i mindre grupper. Ett maximalt utsläpp till följd av en olycka där en sektion skadas omfattar således 1/6 av befintliga flaskor, vilket motsvarar ca 230 kg biogas.

Med hänsyn till den hållfasthet som flaken tillsammans med flaskornas robusta utformning ger upphov till och i brist tillgänglig olycksstatistik tas utgångspunkt i samma indata som nyttjas för bulktransporter.

D.2.2.1. Jetflamma

Sannolikheten för direkt antändning givet utsläpp som föranleder en jetflamma beräknas med följande indata.

P_u (Sannolikhet hål i tjock tankvägg)	0,0019 [1]
Sannolikhet direkt antändning	0,19

Sannolikheten för att jetflamma ska uppstå givet en olycka involverande tryckkomprimerad biogas på E20/E4 beräknas till ca 1,1 E-06 per år.

D.2.2.2. Gasmolnsbrand

Sannolikheten för en fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsbrand beräknas med följande indata.

Andel	
P_u (Sannolikhet hål i tjock tankvägg)	0,0019 [1]
Sannolikhet fördröjd antändning	0,5
Sannolikhet gasmolnsbrand	0,6

Sannolikheten för att en gasmolnsbrand ska uppstå givet en olycka involverande tryckkomprimerad biogas på E20/E4 beräknas till ca 1.7 E-06 per år.

D.2.2.3. Gasmolnsexplosion

Sannolikheten för en fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsexplosion beräknas med följande indata.

P_u (Sannolikhet hål i tjock tankvägg)	0,0019 [1]
Sannolikhet fördröjd antändning	0,5
Sannolikhet gasmolnsbrand	0,4

Sannolikheten för att en gasmolnsexplosion ska uppstå givet en olycka involverande tryckkomprimerad biogas på E20/E4 beräknas till ca 1,1 E-06 per år.

D.2.2.3. Kärlsprängning

Sannolikheten för kärlsprängning beräknas med hjälp av följande indata.

P_u (Sannolikhet hål i tjock tankvägg)	0,0019 [1]
Sannolikhet Kärlsprängning	0,01

Sannolikheten för att kärlsprängning ska uppstå givet en olycka involverande tryckkomprimerad biogas på E20/E4 beräknas till ca 5,7 E-08 per år.

D.3. Olycka involverad giftig gas (ADR-S klass 2.3)

För att en olycka med giftig gas, klass 2.3 ska leda till konsekvenser för omgivningen krävs att det farliga godset sprids utanför behållaren. Utifrån de mer preciserade trafikmätningarna tydliggörs att det ämne som transporteras mest frekvent är tryckkondenserad ammoniak, vilket ansätts som dimensionerande. Likt beräkningsgång för tjockväggiga tankar innehållande brandfarlig gas så reduceras värdet för att tank skadas i samband med olycka med en faktor 30 gentemot sannolikheten för att en tunnväggig tank skadas i enlighet med [1].

Sannolikheten för att ett utsläpp av giftig gas ska uppstå på E20/E4 beräknas med följande indata.

P_u (Sannolikhet skada)	0,0019 [1]
---------------------------	------------

Olycksfrekvensen beräknas till ca 9,4 E-08 per år.

Följande utsläppsscenarioer simuleras i enlighet med den vägledning som ges i referens [6]:

- Medelstort utsläpp (brott på rör) 4,6 kg/s
- Stort utsläpp, hela tankens innehåll töms inom 10 minuter (t.ex. punktering) 40 kg/s

Sannolikhetsfördelning mellan ett de olika uppkomna skadescenarierna görs med hänsyn till rådande trafikala förutsättningar som innebär att det är osannolikt att en olycka förorsakas av en våldsam kollision som ger upphov till en punktering. En sannolikhetsfördelning om 90/10 % bedöms som rimligt.

Olycksfrekvensen för ett medelstort utsläpp beräknas således till 8,5 E-08 per år och till 9,4E-09 för ett stort utsläpp.

D.4. Olycka involverad brandfarlig vätska (ADR-S klass 3)

För att en olycka med klass 3 ska leda till konsekvenser för omgivningen krävs att det farliga godset sprids utanför behållaren och sedan antändas. Sannolikheten för antändning av diesel vid en farligt godsolycka på väg är mycket låg på grund av dess höga flampunkt, denna ansätts vanligen till 1 %. En siffra som kan jämföras med den vanligtvis ansatta sannolikheten för antändning av ett bensinläckage, 3,3 % [5]. Konservativt utgår beräkningarna från att alla transporter utgör bensin.

Sannolikheten för pölbrand beräknas med hjälp av följande ekvation och indata.

P_u (Sannolikhet hål i tunn tankvägg)	0,13 [1]
P_A Sannolikhet antändning	0,033

Sannolikheten för att pölbrand uppstår givet en olycka involverande farligt gods klass 3 på E20/E4 beräknas till ca 1,5 E-04 per år.

D.5. Olycka involverad oxiderande ämnen och organiska peroxider (ADR-S klass 5)

Oxiderande ämnen och organiska peroxider utgör normalt ingen fara för omgivningen givet en olycka. Undantaget är om det farliga ämnet i samband med olycka förorenas med ett organiskt ämne såsom exempelvis fordonsbränsle. En sådan blandning kan föranleda explosionsartade förlopp motsvarande detonation av explosivämne, klass 1.1.

Frekvensberäkningarna för sådant händelseförlopp tar i denna utredning utgångspunkt i den fördjupade konsekvensanalys som FOI utförde i samband med intunnlingen av Norra stationsområdet [2]. För de ämnen som efter blandning med fordonsbränsle skulle kunna ge explosiva ämnen är det tre ämnen som helt dominerar mängdmässigt:

- Ammoniumnitrat
- Kalciumnitrat
- Natriumklorat

Det är även dessa ämnen, primärt ammoniumnitrat, som kan förväntas utgöra majoriteten av det totala transportantalet.

Under förutsättning att samtliga transporter (ca. 267 st per år) antas kunna föranleda en explosiv blandning kan olycksfrekvensen för detonation beräknas till ca $1,8 \times 10^{-10}$ per år.

Följande händelseträdsanalys utförd i referens [2] ligger till grund för beräkningarna:

Brandscenario med klass 5

Siffran baseras på att det transporteras ca. 267 ADR-S Klass 5 transporter per år för det aktuella snittet. Med en sträcka av 1 km och 0,2 bränder per 10 miljoner fordonskilometer kan frekvensen beräknas enligt $267 \times 1,0 \times 0,2 \times 10^{-7} = 6 \times 10^{-6}$ sådana bränder per år.

Typ av last

Här antas att andelen ammoniumperklorat (baserat på vad som används i Sverige enligt ovan) är försumbar och att ämnen som kan detonera efter blandning med diesel är 100 %.

Orsak till brand

Med stöd av ovan antas 2 % av fordonsbränder orsakas av kollision som kan leda till att diesel och fraktat ämne spills ut och att blandning sker.

Eventuellt spill av diesel

Här har inte uppgifter varit tillgängliga vilket gör antagandet mycket osäkert. En rimlig bedömning antas vara att vid brandscenarier orsakade av kollision sker utspillning av 400 liter diesel med andelen 10 %.

Eventuellt spill av last

Här har heller inte uppgifter varit tillgängliga vilket gör antagandet mycket osäkert. En rimlig bedömning antas vara att vid brandscenarier orsakade av kollision sker utspillning av lasten med andelen 10 %.

Eventuell blandning

Åter finns ingen tillgänglig statistik vilket gör antagandet mycket osäkert. Som rimlig bedömning antas att andelen där blandning sker är 50 %.

Andel som detonerar eller eventuellt deflagrerar

Detta är också ett mycket osäkert antagande – här antas att en fullständig detonation av allt som är optimalt blandat (vilket leder till explosioner på i storleksordning motsvarande 1,8 – 4,1 ton trotyl) sker i en tredjedel av fallen.

Referenser Bilaga D

- [1] *Fördjupning – Riskanalys vald vägsträcka*. Vägverket publikation 2005:55
- [2] FOI (2009) *Om explosionsbenägenhet vid olycka i samband med transport av farligt gods klass 5*, FOI Memo 2774.
- [3] *Analyser av transporter med farligt gods – Mätningar utförda i Stockholm under maj och oktober 2015*, WSP, 2016.
- [4] VROM (2005), *Guideline for Quantitative Risk Assessment*, "Purple book". Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Nederländerna.
- [5] *RIVM - Reference Manual Bevi Risk Assessments*, National Institute of Public Health and the Environment, Netherlands, 2009.
- [6] *RIVM - Reference Manual Bevi Risk Assessments*, National Institute of Public Health and the Environment, Netherlands, 2009.

Bilaga E – Konsekvensberäkningar farligt godsolycka E20/E4

Följande bilaga omfattar konsekvensberäkningar för utsläpp och spridning av giftiga och brännbara gaser i luft samt pölbrand. Farligt godsolyckor förknippade med risk för explosionsförlopp omfattas ej av föreliggande bilaga, utan dessa konsekvenser redovisas separat i *Bilaga F – Fördjupad konsekvensbedömning av explosionsförlopp*.

Spridningsberäkningar genomförs i beräkningsprogrammet ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres)⁸.

Viktiga faktorer som är av stor betydelse för hur allvarliga konsekvenserna blir är meteorologiska förhållanden (vindhastighet, atmosfärisk stabilitetsklass, temperatur, solinstrålning, luftfuktighet). För att erhålla konservativa resultat samt minska beräkningsbelastningen utförs simuleringar generellt med en vindhastighet om 3 m/s samt med atmosfärisk stabilitetsklass D (klass E och F inträffar väldigt sällan och endast nattetid, därav anses dessa stabilitetsklasser ej vara relevanta att analysera). Temperaturen ansatt till 15 °C.

I beräkningarna antas det konservativt att utsläppet sker nära vätskeytan då detta leder till de största skadeområdena.

E.1. Konsekvenser vid olycka med brännbar gas (ADR-S Klass 2.1)

Konsekvenserna av olyckor med brandfarlig gas utgår från analys av olycka med bulktransport av naturgas (LNG) samt tryckkomprimerad naturgas som transporteras i gasflak.

E.1.1. Olycka med bulktransport (LNG)

Utgångspunkten är att ett transportfordon lastad med 22 ton LNG under atmosfärstryck nedkyld till ca -162 °C skadas i samband med olycka. LNG antas utgöras av 100 % metan.

I fall av ett utsläpp skulle LNG-ångorna spridas med den rådande vinden. Kall LNG-ånga har formen av ett vitt moln. Om små mängder LNG släpps ut, kommer denna till största delen att avdunsta innan den når marken. Vid mer omfattande utsläpp kommer inte avdunstning att ske momentant. Vid större utsläpp kommer en pöl av LNG att bildas från vilken kontinuerlig förångning till atmosfär sker. Ett utsläpp av LNG som förvaras under atmosfärstryck innebär förmildrande konsekvenser vid utsläpp till atmosfären i jämförelse med en olycka involverande bulktransport av tryckkomprimerad brandfarlig gas.

I enlighet med vägledning i [1] analyseras konsekvenserna av två olika starthändelser:

- Utsläpp via ett hål om 50 mm i diameter (motsvarande armaturbrott) – utsläppet varaktighet begränsas till 1800 sekunder (30 min).
 - Antas föranleda gasmolnsbrand samt pölbrand
- Katastrofal bristning av tank – utsläpp av hela tankens innehåll inom 1 minut.
 - Antas föranleda BLEVE eller större gasmolnsexplosion

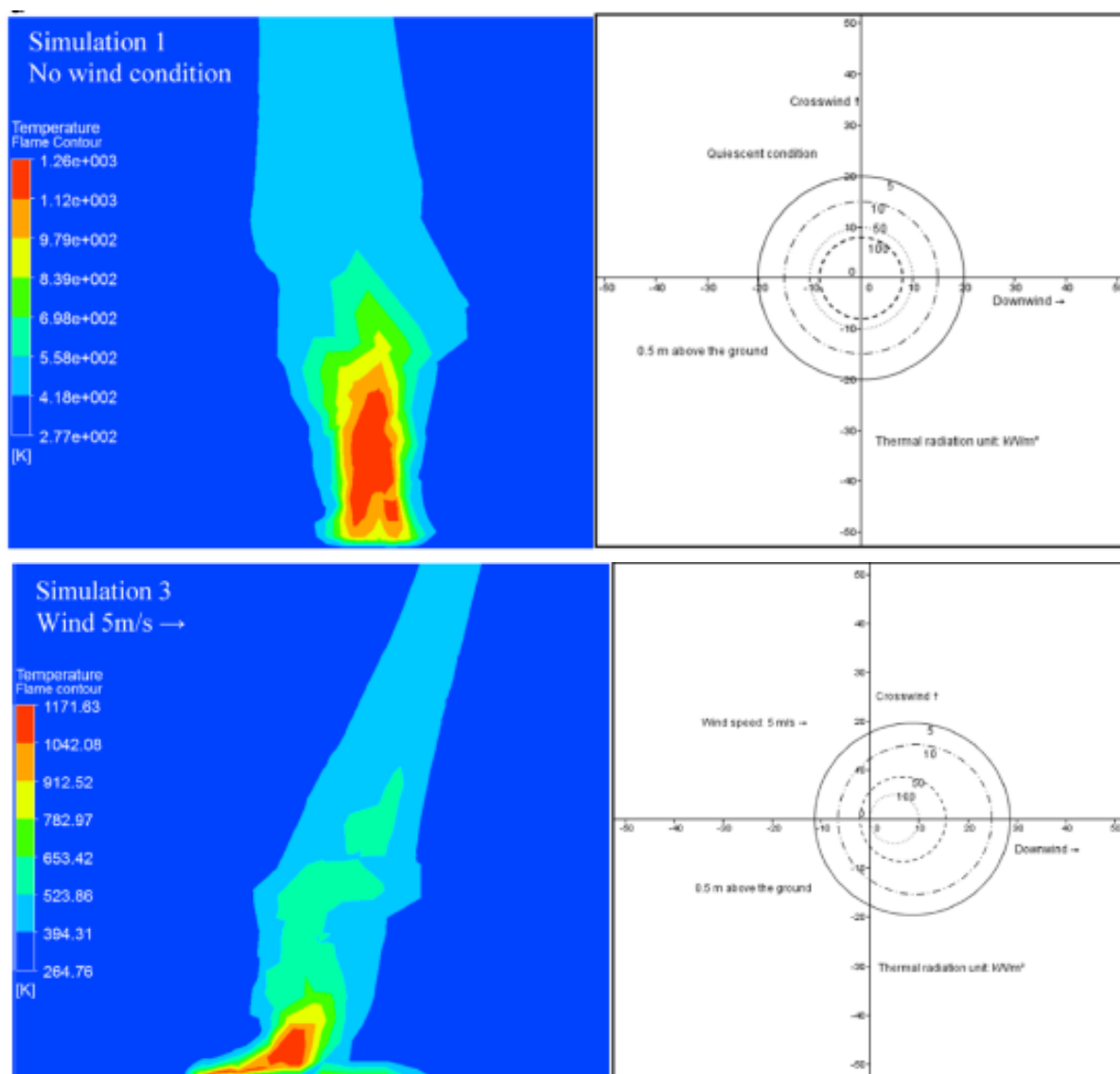
⁸ Tillhandahålls av EPA (U.S. Environmental Protection Agency).

E.1.1.1. Pölbrand

Vid utsläpp av LNG som antänds i ett tidigt skede blir följden att en pölbrand bildas.

Utsläppssimuleringar utförda i ALOHA av en tank som skadas med ett armaturbrott påvisar att en brinnande pöl med diameter om ca 8 m kan förväntas uppstå. Utgångspunkt för bedömning av skadeeffekterna från en brinnande LNG-pöl tas vidare från en komparativ CFD-analys avseende förväntade strålningsnivåer mot omgivningen för en brinnande LNG-pöl med diameter om 15 m (ca 180 m²) på land där ingångsvärden och resultat har verifierats mot fullskaletester [2]. En sådan pölbrand bedöms med avseende på E20/E4s utformning utgöra en form av worst-case scenario.

Förväntade strålningsnivåer mot omgivningen från en brinnande LNG-pöl med en diameter om 15 m och en synlig flamhöjd om ca 40 meter redovisas i Figur 18.



Figur 18. Förväntade strålningsdoser från en brinnande LNG-pöl om 15 m i diameter med och utan hänsyn till vind. Resultaten är hämtade från utförd komparativ CFD-analys där ingångsvärden och resultat har jämförts och verifierats mot fullskaletester [2].

Skadeeffekter

Bedömning av skadeeffekter utgår från bedömningskriterierna åskådliggjorda i avsnitt E.3.1.

Utifrån åskådliggjorda resultat påvisar att en maximal strålningsnivå om ca 10 kW/m² kan förväntas på ett avstånd om ca 25 meter från pölkanten. Risk för brandspridning till närliggande byggnader förväntas inte då avståndet från E20/E4 är minst 25 meter (bulktransport av gas förväntas inte på E20s avfartsramp som ligger på kortare avstånd).

Inom ca 15 meter finns en överhängande risk att människor i det fria omkommer av höga strålningsnivåer. Inom ca 30 meter förväntas människor i det fria kunna erhålla 2-gradens brännskador beroende av exponeringstid.

E.1.1.2. Gasmolnsbrand (löpeld)

Vid utsläpp som inte momentant antänds kommer ett moln av metan (och andra förekommande kolväten) att spridas med vinden, vilket kan antändas var som helst där koncentrationen ligger mellan den undre (Lower Flammable Limit – LFL) och den övre antändningsgränsen (Upper Flammable Limit - UFL). I de flesta fall då ett gasmoln antänds sker detta vid dess kant då det sprids och möter en tändningskälla (t.ex. öppen låga, förbränningsmotor, gnistor). Ett antänt moln kommer att "slå tillbaka" över hela dess antändliga omfång (dvs. alla delar inom det antändliga området mellan UFL och LFL). Det kommer sedan att brinna vid gränsen för UFL tills hela kolvätemolnet har förbränts. Härvid löper elden nästan alltid tillbaka till källan så att pölen antänds.

Zoner med löpeld förflyttar sig med olika hastighet genom antändliga moln. Detta påverkas av faktorer såsom materialets flamhastighet, dess koncentration (snabbast vid stökiometrisk koncentrationer, långsammare vid LFL och UFL), temperaturen, kondenserad fukt, graden av turbulens och om denna hindras eller förstärks av omgivande föremål. När löpelden når platsen där LNG-utsläppet fördunstar, antänds vätskan och brinner den som pölbrand [3].

Resultaten från utförda beräkningar ett armaturbrott (hål om 50 mm) som föranleder en kontinuerlig avdunstning från en pöl med LNG påvisar att avståndet till LEL (lägre brännbarhetsgränsen) kan uppgå till ca 28 meter.

Skadeeffekter

Människor i det fria som befinner sig inom/i direkt närhet till gasmolnet givet antändning kan förväntas omkomma till följd av en intensiv värmeexponering. Människor som vistas inomhus bedöms vara skyddade från allvarliga effekter mot bakgrund av att fasaden skyddar dem mot direkt exponering. Eftersom gasmolnet snabbt kan förväntas brinna tillbaka till olycksplatsen givet antändning bedöms inte fasadens integritet påverkas av den kortvariga värmestrålningen. Den väldigt kortvariga strålningsdosen förväntas ej kunna föranleda någon risk för brandspridning via glaspartier in i närliggande byggnader.

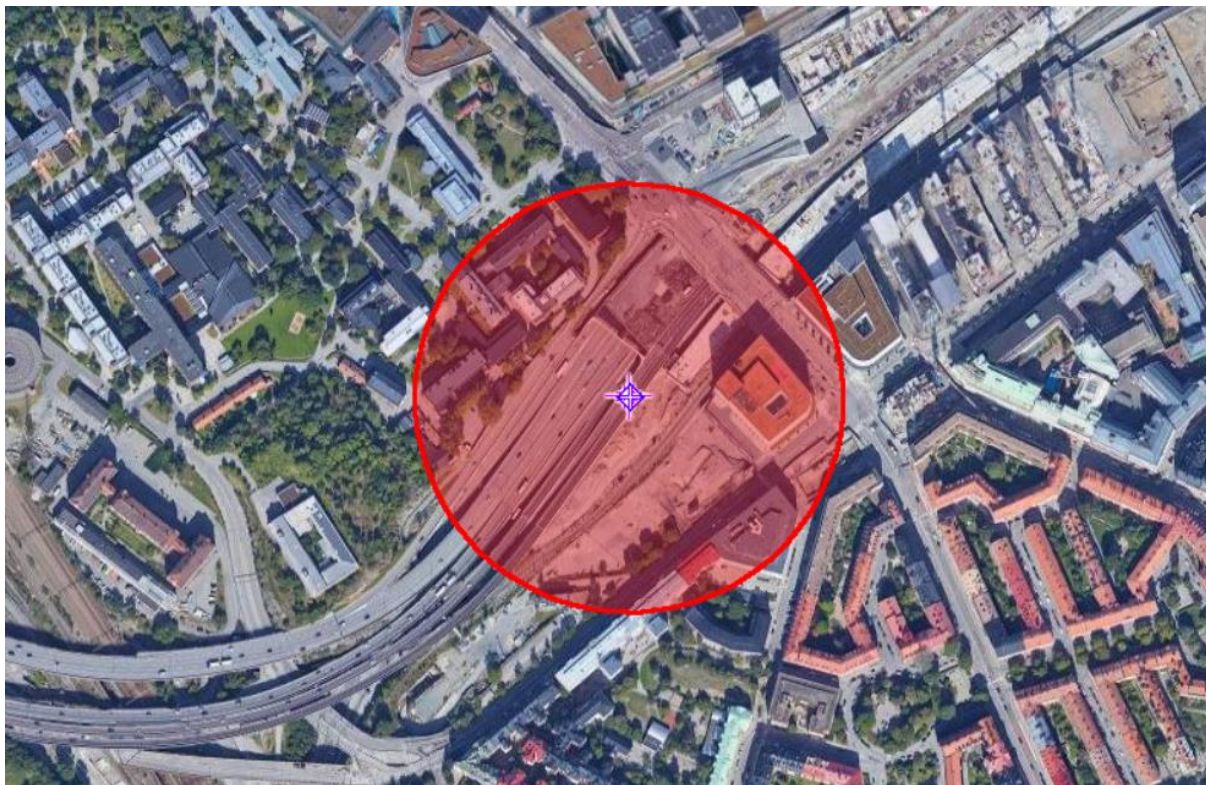
Det bör noteras att spridningssimuleringarna inte tar hänsyn när antändning av gasmolnet kan förväntas inträffa utan dessa återger längsta potentiella utbredning inom brännbarhetsområdet. Med avseende på att det är fordonen på E20/E4:an som utgör de primära tändkällorna i omgivningen är bedömningen att ett gasmoln troligtvis kommer att antändas relativt tidigt in i utsläppsförloppet. Beräkningarna tar heller inte hänsyn till omgivande topografi eller planerade/omgivande bebyggelses inverkan på gasutbredningen. Exempelvis bedöms det som otroligt att ett spridande gasmoln bibehålls intakt inom brännbarhetsområdet förbi första radens planerade byggnader.

E.1.1.3. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)

Om trafikolyckan leder till en omfattande fordonsbrand eller om jetflamma uppstår initialt vid olycka finns risk för att tanken utsätts för värmepåfrestning, vilket leder till en tryckuppbyggnad inom tanken. Om säkerhetsventilen fallerar eller ej klarar att ta hand om tryckuppbyggnaden finns risk att tanken kollapsar då tankens bristningstryck (vanligtvis 4 x tankens designtryck) uppnås. Vid kollaps av tank bildas en eldfront som mycket snabbt sprids genom hela den antändliga volymen, en så kallad fireball (eldklot). Eftersom ett sådant utsläpp ofta inte har mycket innesluten luft brinner eldkulan över volymens hela utsida, varvid den antändliga massan stiger och avger en kraftig värmestrålning.

Beräkningarna utgår från att två tredjedelar (2/3) av tankens totala massa involveras i skadeförloppet, en del av massan kommer att ventileras ut genom säkerhetsventiler innan tanken brister [1]. Påverkan från flygande fragment som uppstår i samband med att tanken kollapsar är svåra att analysera, inga vedertagna beräkningsmodeller för sådan analys finns framtagna. Bedömningen är att sannolikheten att människa skulle omkomma till följd av ett träffas flygande fragment är så pass låg att denna skadeeffekt ej kommer påverka risknivån i relation till effekterna av det eldklot som bildas.

I Figur 19 åskådliggörs beräknade effekter från en BLEVE. Dödliga strålningsnivåer påvisas inom en radie om ca 170 meter.



Figur 19. Resultat från simulering av BLEVE, röd zon ($D=170$) markerar utbredning där direkt dödliga strålningsnivåer för människor utomhus kan förväntas. Olyckscentrum är på bilden är satt till E20 innan tunnelmynning.

Skadeeffekter

Mot bakgrund av att en BLEVE inte uppstår först efter en längre tid efter att upphettnings har påbörjats kan förväntas att majoriteten av människorna i omgivningen hinner försätta sig i säkerhet. Människor inomhus kan förväntas vara relativt väl skyddade mot en BLEVE så länge fasaden hålls intakt, d.v.s. eldklotet inte tar sig in i byggnaden. Detta har tydliggjorts utifrån skadeutredningar av tidigare inträffade olyckor där bebyggda områden har påverkats av en BLEVE [4] [5].

E.1.2. Konsekvenser vid olycka med gasflak

Fordonsgas består i huvudsak av metan och är lättare än luft. Fordonsgas är endast antändlig inom små gränser för koncentration i luften (normalt mellan 5 % och 15 % för rent metan). I fall av ett utsläpp kommer gasen att spridas uppåt i atmosfären och i vindriktningen. Bedömning av olycka med gasflak utgår från nedanstående scenario och förutsättningar.

Växelflak är vanligtvis indelat i sex sektioner för att begränsa mängden gas som släpps ut givet en olycka. Gasflaskorna är försedda med ventiler, normalt alltid öppna, som är sammanbundna med ett ledningssystem. Går exempelvis en ledning sönder får detta till följd att hela sektionen töms, vilket innebär ett utsläpp av 317 m³ eller 230 kg biogas (metan).

Då rördimensionen på det ledningssystemet som sammanbinder gasflaskorna inom en sektion uppgår till 16 mm antas dimensionerande hålstorlek till 16 mm d.v.s. ett totalt rörbrott på de rör som kopplar samman flaskorna inom en sektion. Trycket antas till 250 bar.

E.1.2.1. Gasmolnsbrand

Beräkningar för utsläpp av 230 kg tryckkomprimerad biogas från ett hål om 16 mm där fördröjd antändning antas påvisar att avståndet till LEL kan förväntas understiga 15 meter.

Skadeeffekter

Person inom 15 m förväntas omkomma vid en gasmolnsbrand. En gasmolnsbrand bedöms enbart utgöra ett hot mot människor direkt i omgivningen och endast personer som befinner sig utomhus förväntas omkomma. Tryckkompimerad förväntas enbart att transporteras på E20 och E4 och inga personer kan finna sig inom 15 m från dessa körbanor på den aktuella sträckan. Därmed bedöms inga personer kunna omkomma från en uppkommen gasmolnsbrand från olycka med tryckkompimerad gas.

E.1.2.2. Jetflamma

Beräkningar för utsläpp av 230 kg tryckkomprimerad biogas från ett hål om 16 mm där antändning sker direkt och en jetflamma uppstår påvisar att avståndet till direkt dödliga strålningsnivåer en jetflamma om ca 10 meter.

Skadeeffekter

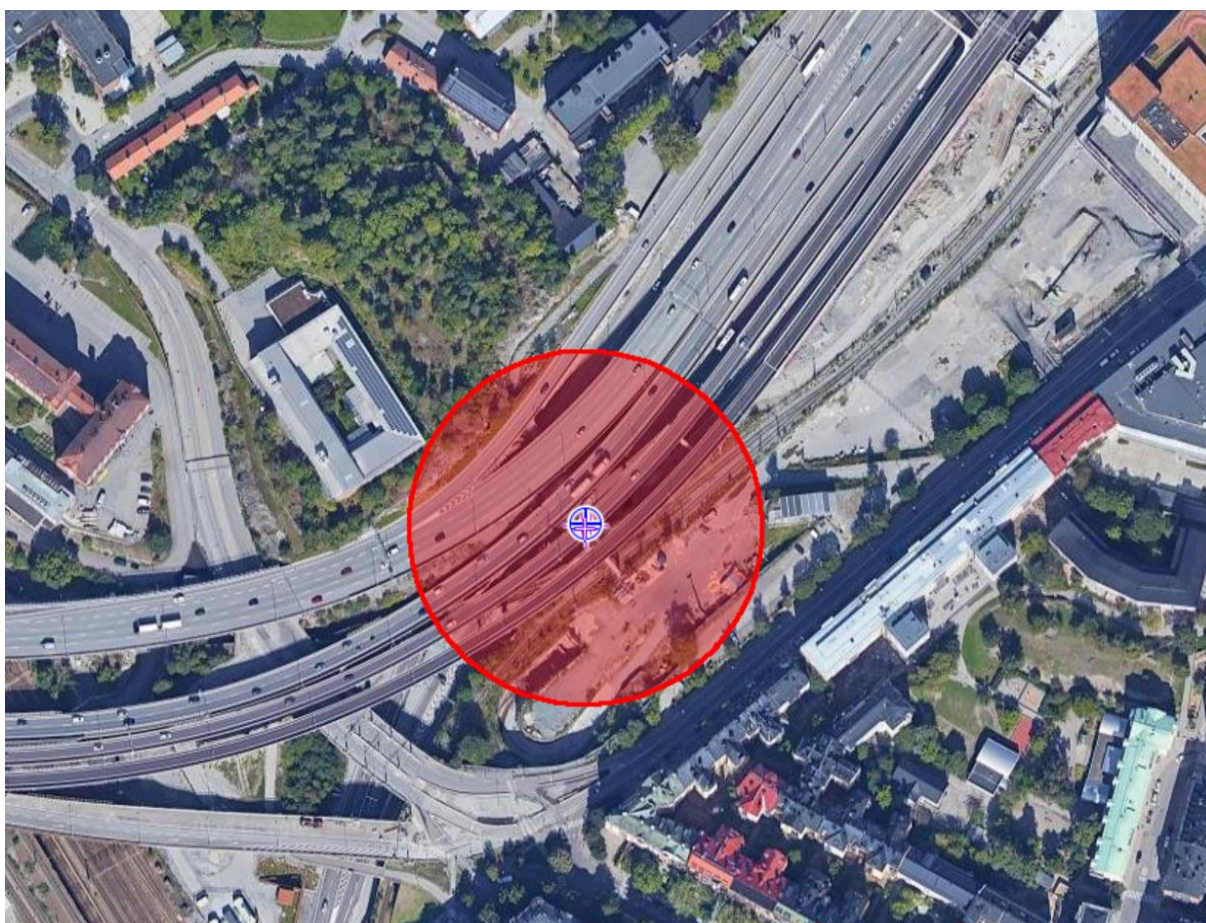
Person inom 10 m förväntas omkomma vid en jetflamma. Tryckkompimerad förväntas enbart att transporteras på E20 och E4 och inga personer kan finna sig inom 10 m från dessa körbanor på den aktuella sträckan. Därmed bedöms inga personer kunna omkomma från en uppkommen jetflamma. Byggnader ligger också på ett avstånd större än 10 meter från E4/E20:s körbanor och därmed föreligger inte heller någon risk för brandspridning till byggnad.

E.1.2.3. Kärlsprängning

Vid upphettning av ett gasflak finns risk för kärlsprängning. Detta kan uppstå som en sekundär konsekvens av ovan en jetflamma eller en gasmolnsexplosion.

Det saknas vedertagna beräkningsmodeller för beräkning av kärlsprängning av ett gasflak. Troligtvis kommer inte samtliga gasflaskor brista momentant (på samma tidpunkt) utan olycksförloppet kommer karakteriseras av flera explosioner, där utkast av mycket mindre material i höga hastigheter kan förväntas påverka omgivningen. Förenklad antas upphettning av ett gasflak som föranleder kärlsprängning karakteriseras av ett eldklot som involverar 50 % av gasflakets totala mängd, d.v.s. ca 700 kg gas.

Beräkningarna påvisar ett eldklot med diameter om ca 50 meter. Avstånd till dödliga strålningsnivåer för människor i det fria uppgår till ca 70 meter.



Figur 20. Resultat från simulering av kärlsprängning av gasflak, röd zon ($D=70$) markerar utbredning där direkt dödliga strålningsnivåer för människor utomhus kan förväntas. Olyckscentrum är konservativt satt som den punkt på E20 som ligger närmast planområdet Västra Hagastaden.

Skadeeffekter

Med avseende på tiden det tar för att upphettning av ett gasflak ska innebära risk för kärlsprängning bedöms majoriteten av människorna i omgivning kunna försätta sig i säkerhet. Människor inomhus bedöms vara relativt väl skyddade mot strålningseffekterna i enlighet med tidigare resonemang. Dock kan skadeverkan i form av utslungade metalldelar vara omfattande och kan därmed komma att förolyckas enstaka människor som träffas av ett flygande fragment.

E.2. Utsläpp av giftig gas (ADR-S Klass 2.3)

Den icke brännbara men giftiga gasen antas bestå av tryckkondenserad ammoniak, som är en av de giftigaste gaserna som transporteras i större tankar på vägarna i Sverige.

Indata

Utsläppssimuleringarna har utförts för tankbil rymmandes ca 24 ton ammoniak. Indata för simulering av skadeområden återges nedan.

Faktor	Tankbil
Kemikalie	Ammoniak
Emballage	Tankbil (24 ton)
Bebyggelse	Tät skog/ stad ($\rho = 1,0$)
Lagringstemperatur	15°C
Väder	15°C, vår, dag och klart
Atmosfärisk stabilitetsklass	D

I enlighet med vägledning kring farliga koncentrationer återgivna i FOA rapport *Vådautsläpp av Brandfarliga och Giftiga Gaser och Vätskor* [6] beräknas konsekvenszoner för följande koncentrationer:

- 12 352 mg/m³ risk för dödsfall vid exponering längre än 5 minuter
- 495 mg/m³ risk för akut vårdbehov vid exponering längre än 5 minuter

Följande utsläppsscenarioer simuleras i enlighet med den vägledning som ges i referens [1]:

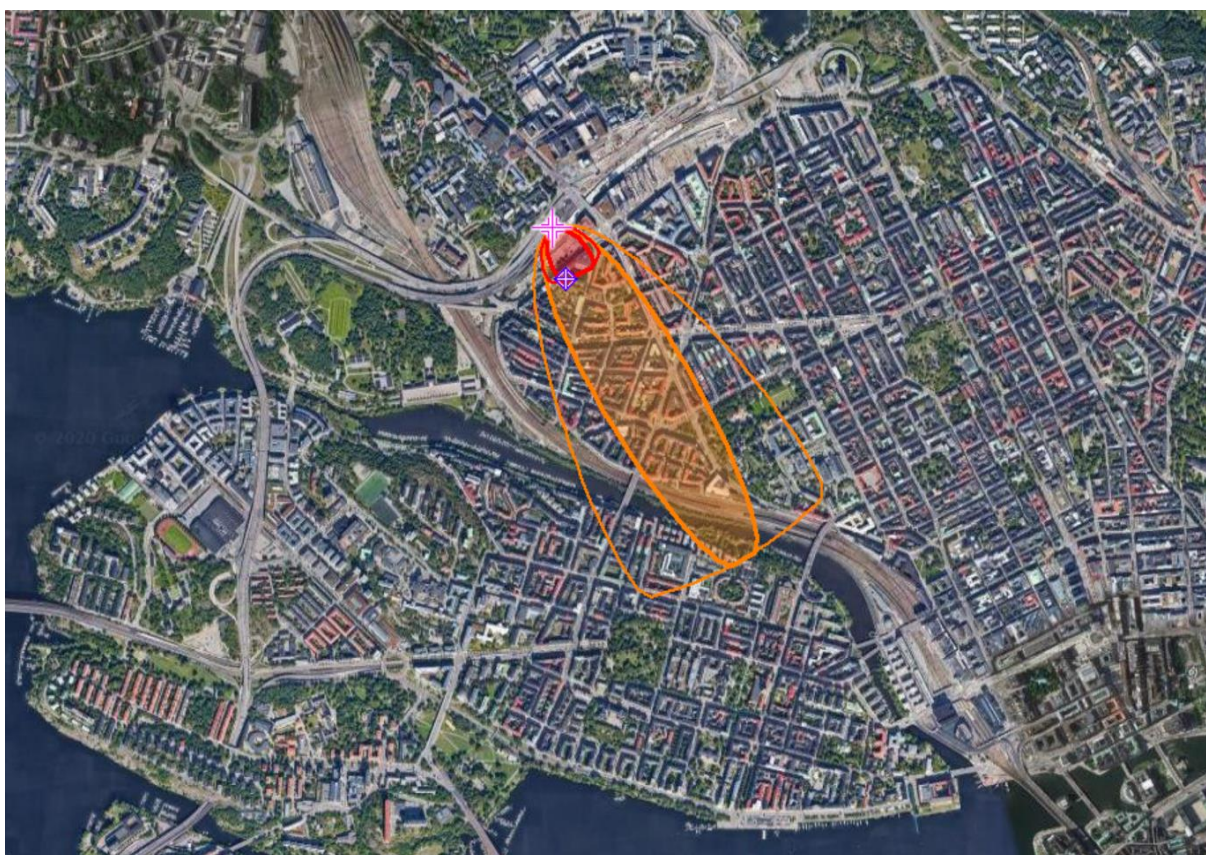
- Medelstort utsläpp (brott på rör) 4,6 kg/s
- Stort utsläpp, hela tankens innehåll töms inom 10 minuter (t.ex. punktering) 40 kg/s

Gasers spridning beror bland annat på vindstyrka, topografi och bebyggelse samt tid på dygnet. Beräkningsprogrammet beaktar inte aktuella omgivningsförutsättningar utan spridningssimuleringar görs för ett utsläpp på en öppen yta.

Beräknade skadezoner åskådliggörs i Figur 21 och Figur 22.



Figur 21. Resultat från utförda spridningsberäkningar av ett utsläpp av tryckkondenserad ammoniak, brott på rör (medelstort utsläpp). Röd zon (ca. 40 x 70 m) åskådliggör ytor utomhus där människor efter 5 minuters exponering kan omkomma medan orange zon ca. (90 x 540 m) åskådliggör ytor utomhus där människor efter 5 minuters exponering kan förväntas behöva akut vård.

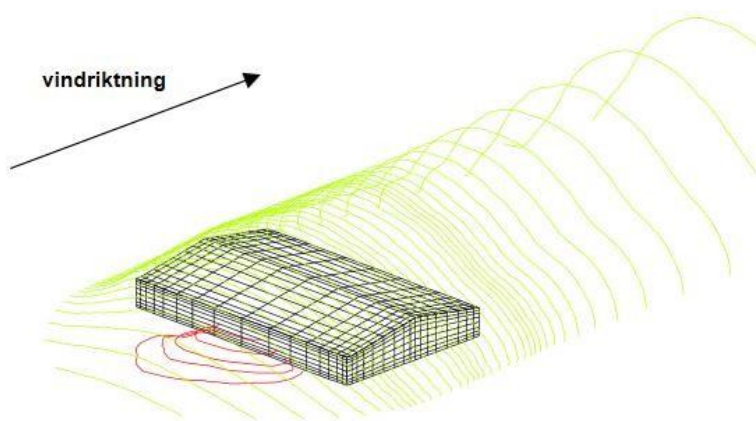


Figur 22. Resultat från utförda spridningsberäkningar av ett utsläpp av tryckkondenserad ammoniak, utsläpp av hela tankens innehåll inom 10 min (mycket stort utsläpp). Röd zon (ca 164 x 192 m) åskådliggör ytor utomhus där människor efter 5 minuters exponering kan omkomma medan orange zon (280 x 1400) åskådliggör ytor utomhus där människor efter 5 minuters exponering kan förväntas behöva akut vård.

Skadeeffekter

Åskådliggjorda resultat påvisar att människor utomhus som ej hinner försätta sig i säkerhet tillräckligt snabbt kan förväntas förolyckas på stora avstånd från olycksplatsen. Majoriteten av människorna utomhus inom röd zon förväntas omkomma medan majoriteten av människorna inom orange zon kan förväntas försätta sig i säkerhet. Människor inomhus kan förväntas vara relativt säkra, men konsekvenserna styrs av placering av luftintag samt den luftomsättningen som byggnadens ventilationssystem kan förväntas ge upphov till.

Det bör noteras att spridningsberäkningarna inte tar någon hänsyn till omgivande topografi eller planerade/omgivande bebyggelses inverkan på luftrörelserna i omgivningen. Den skapade turbulensen som den täta bebyggelsen i Västra Hagastaden kan förväntas medföra innebär en i praktiken snabbare utspädning av gasen, varför skadeområdet blir mindre än i ett fall med utsläpp i öppet likt åskådliggjorda skadezoner ovan. Se exempel på förväntad skadereduktion i Figur 23.



Figur 23. Exemplifierande av hur den skapade turbulensen mot huset medför en snabbare utspädning av gasen, varför skadeområdet i verkligheten blir mindre än i ett fall med utsläpp i öppet fält. Bild hämtad från FOA rapport Hur farlig är en ishall med ammoniak? Beräkningar av riskavstånd vid vådautsläpp av ammoniak samt hur stora byggnader påverkar spridningen av gaser

Den täta och avskärmade bebyggelsestrukturen som föreslås inom Västra Hagastaden bedöms ge upphov till lufrörelser som innebär att det är osannolikt att dödliga gaskoncentrationer uppnås bakom första radens byggnader. Den nya avskärmade bebyggelsestrukturen kommer innebära ett skydd för bakomliggande befintlig bebyggelse och de ytor där människor förväntas vistas utomhus. Grova konsekvensberäkningar baserade på redogjorda spridningsberäkningar bedöms därför vara grovt överskattade sett till verkliga effekter vilket är värt att belysa.

Vid en punktering som innebär att hela tankens innehåll släpps utom 10 minuter bedöms inte räddningstjänsten kunna göra några skadebegränsande åtgärder. Vid ett armaturbrott bedöms räddningstjänsten ha möjlighet att täta uppkommen skada innan hela tankens innehåll har släppts ut. Vid bedömning av samhällsrisk tas ingen hänsyn till räddningstjänstens skadebegränsande möjligheter.

E.3. Utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor (ADR-S Klass 3)

Ett utsläpp som inte antänds har främst en påverkan på miljön, skadliga konsekvenser för människor uppstår om vätskan antänds och bildar en pölbrand. Själva tankbilen kan också brinna, men detta innebär en lägre brinnande yta och därmed mindre utsänd strålning, en sådan brand kan antas karakteriseras av effekter motsvarande en mindre pölbrand. Vid olycka med brännbar vätska föreligger generellt ingen risk för övertryckseffekter, men under vissa speciella förhållande kan explosionsartade skadescenarier även uppstå (t.ex. vid extrem kollision där hela lasten involveras i olyckan eller vid extrem upphettning av tank). Eventuella övertryckseffekter som potentiellt kan uppstå vid olycka med brandfarlig vätska behandlas i den fördjupade konsekvensutredningen vad gäller explosionsförlopp, se Bilaga F – Fördjupad konsekvensbedömning av explosionsförlopp.

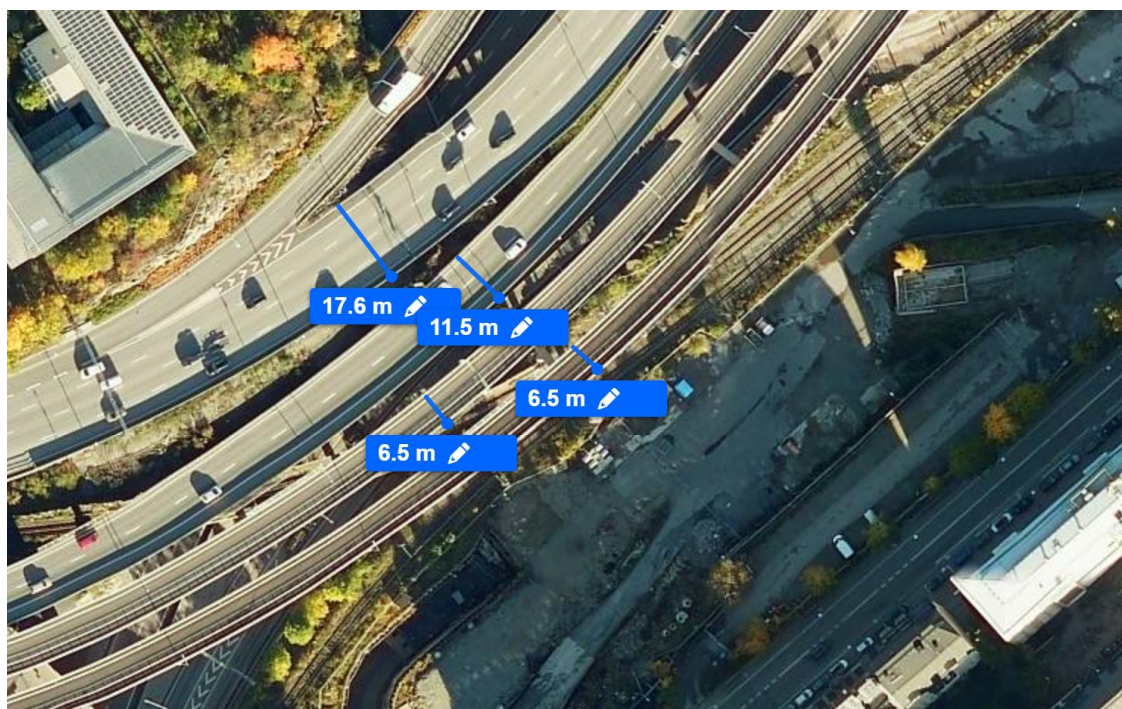
E.3.1. Bedömnings-/acceptanskriterier

Med utgångspunkt i kriterier enligt BBRAD görs tolkningen att det inte föreligger någon brandspridningsrisk till närliggande byggnad om följande kan påvisas:

- För att förhindra brandspridning in i aktuell byggnad skall strålningsnivåer på den sida av fönster som ej vetter mot branden, dvs. på insidan, ej överstiga 15 kW/m^2 .
- Gällande människor i det fria kan dessa med stor sannolikhet förväntas hinna fly från närområdet från branden utan exponering av direkt farliga/dödliga strålningsdoser. Människor i det fria kan förväntas omkomma om de utsätts för en kortvarig strålningsnivå 35 kW/m^2 [1].

E.3.2. Dimensionerande scenario

Det finns i princip två typer av utläckage, ett momentant spill där stora mängder bränsle frigörs ner på vägbanan (t.ex. tankbil som välter och topplocket öppnas) eller ett kontinuerligt utflöde från ett läckande fordon eller tank (ventil som går sönder eller ett hål i tanken). Pölutbredning är vidare beroende av vägbanans bredd och lutning samt vägbanans ytbeskaffenhet och uppsamlingsystem för att hantera dagvatten. Aktuell vägutformning av E20/E4 inom studerat område åskådliggörs i Figur 24. Med hänsyn till körbanornas avåkningsskydd utgår beräkningarna från att fordonet blir kvar på körbanan givet en olycka.



Figur 24. Bredd på E20/E4:ans körbanor inom aktuellt område

Dimensionerande brandscenario antas konservativt till en cirkulär pöl med diameter 11 m, vilket motsvarar en area på ca 100 m². Detta scenario motsvarar att ett fack på en tankbil, som vanligtvis innehåller ca 4-5 m³ bensin, totalskadas vilket föranleder att allt innehåll läcker ut i samband med olycka. Med hänsyn till att vägbredden uppgår till maximalt ca. 7 meter på avfartsrampens körbana samt den del av E20 som ligger närmast planområdet anses scenariot vara representativt för samtliga möjliga positioner av en olycka med brandfarlig vätska som leder till en pölbrand. Då vägbanan även har en negativ lutningsvinkel är det troligt att brandfarlig vätska skulle rinna ned för vägbanan och inte bilda en större pöl, detta har dock som ett konservativt antagande bortsetts från.

Som känslighetsanalys görs en jämförelse med effekterna från uppmätta strålningsdoser från stora pölbränder med etanol, vilket utgör en större fara för omgivningen.

Det går naturligtvis inte att helt undanröja sannolikheten för att vältande tankbil föranleder ett utsläpp som rinner ner från vägbanorna, även om ett sådant scenario bedöms vara osannolikt med avseende på körbanans utformning. Det är vidare ytterst svårt att försöka återge hur pölutbredningen från ett sådant scenario skulle karakteriseras, men troligtvis kan antändning förutsättas ske momentant utan att någon större pöl hinner ansamlas på marken nedanför. Det är således inte troligt att ett sådant scenario innebär en större fara för omgivningen. Mot bakgrund av

detta görs ingen närmare analys av ett sådant scenario, utan känslighetsanalysen bedöms säkerställa en erforderlig konservatism.

E.3.3. Utgående strålningseffekt

Förbränning i stora pölbränder sker med underskott av syre, vilket medför en stor sotproduktion som i tur fångar upp en betydande del av den emitterande strålningen samt minskar temperaturen i flamzonen. Detta innebär att den emitterade strålningen avtar med en ökande pöldiameter. I litteratur, finns flera matematiska uttryck som beskriver hur utstrålningsintensiteten (I_0) varierar som funktion av brandens diameter (D). Ett vanligt använt samband återfinns i [7] och är som följer:

$$I_0 = 58 \cdot 10^{-0.00823D}$$

Sambandet påvisar en maximal utsänd strålning på 58 kW/m² som avtar med en ökande pöldiameter.

I de fullskaleförsök som gjordes vid FOI [8] påvisas en pöl med diameter på ca 10 meter emitterar ca 60 kW/m². Detta värde motsvarar en effektiv strålningstemperatur på ca 750 °C, vilket är att betrakta som en förhållandevis hög temperatur för att gälla över hela den strålade ytan.

I försök med mindre pölbränder (diameter på 2-3 meter) uppmättes strålningen till ca 130 kW/m². Den emitterade strålningen från mindre pölbränder blir dock förhållandevis liten, med hänsyn till den betydligt mindre synfaktor som erhålls i beräkningar. Således är det inte av intresse att analysera mindre pölbränder.

I de strålningsberäkningar som redovisas kommer värdet 60 kW/m² att användas som dimensionerande avgiven strålningseffekt.

Synfaktor (Φ)

För att beräkna den infallande strålningen på studerad fasad behöver brandens emitterade strålningseffekt bestämmas samt hur stor del av den utsända strålningen som träffar byggnaden, dvs. beräkning av den så kallade synfaktorn. Synfaktorn bestäms genom att branden approximeras till en rektangulär strålade yta. Rektangelns bred bestäms utifrån pölens diameter och beräknas med följande uttryck:

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

Där A_f är den brinnande ytan och utgörs av pölstorleken.

Rektangelns höjd bestäms utifrån flamhöjden och beräknas med följande uttryck:

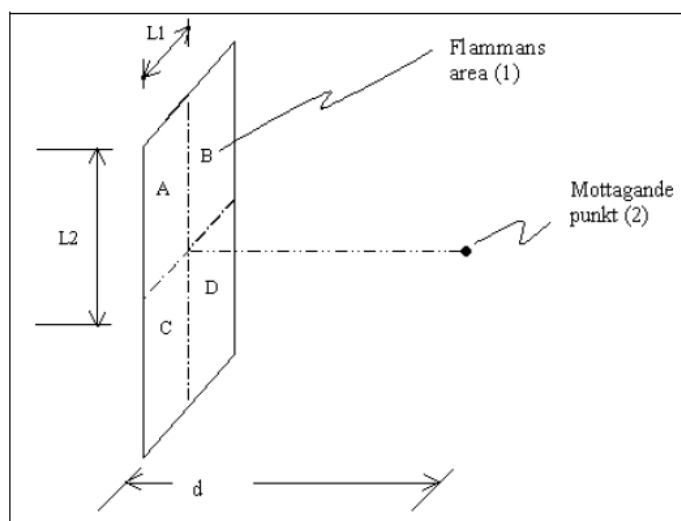
$$H_f = 0.23 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1.02D$$

Där brandeffekten (\dot{Q}) bestäms utifrån följande uttryck:

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

För bensen är förbränningshastighet (\dot{m}'') 0.055 kg/m²s, förbränningsvärme (ΔH_c) 43.7 MJ/kg och förbränningseffektiviteten (χ) 0.7 [9].

Den maximala synfaktorn erhålls genom att dela den rektangel som representerar den fritt brinnande branden på mitten, både horisontellt och vertikalt, vilket ger fyra likadana mindre rektanglar. Den totala synfaktorn erhålls från summan av de fyra ytorna. Infallande strålning mot fasaden beräknas vid punkten vinkelrätt mot flammans centrum, i enlighet med Figur 25.



Figur 25. Synfaktor

Synfaktorer beräknas enligt ekvationer i The SFPE Handbook [9].

E.3.4. Beräkningsresultat

Den infallande strålningsintensiteten mot fasad (\dot{q}''_{max}) beräknas med följande uttryck, enligt [10]:

$$\dot{q}''_{max} = \dot{q}''_{brand} \cdot \Phi$$

Där \dot{q}''_{brand} är den emitterade strålningseffekten (kW/m²) från branden och Φ är den maximala synfaktorn.

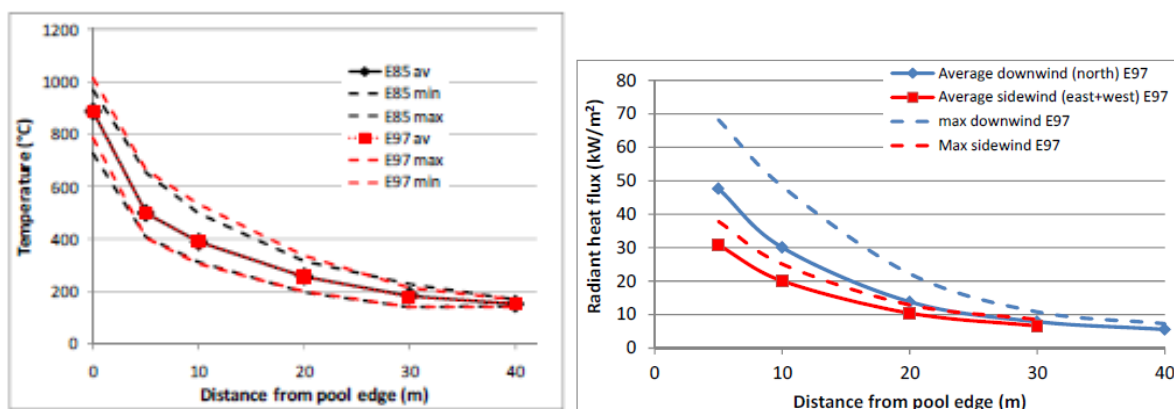
Infallande strålningsintensitet på olika avstånd till branden presenteras i nedan.

Pölstorlek om 100 m², $H_f = 16.8$ m och $D = 11.3$ m

Avstånd till brand	Infallande strålning [kW/m ²] givet E = 60 kW/m²
5	41,2
10	21,9
15	12,4
20	7,8
25	5,2
30	4,3
35	3,7
40	2,8

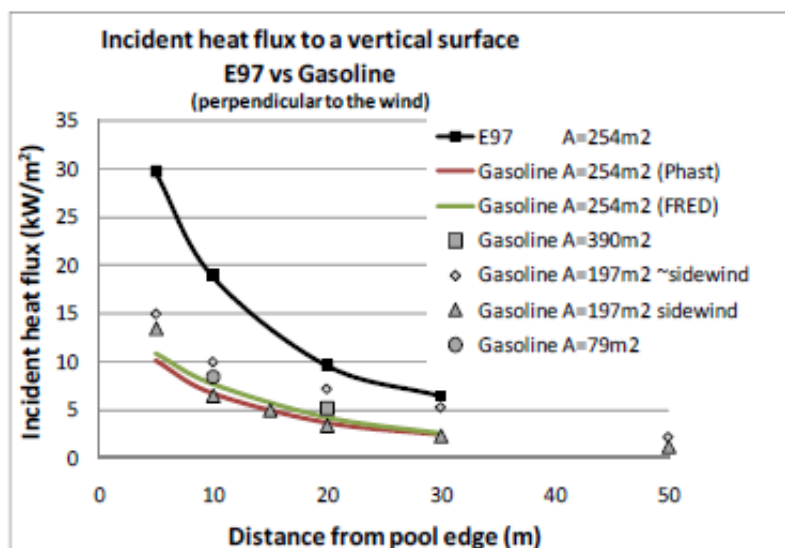
E.3.5. Känslighetsanalys

Som känslighetsanalys görs en jämförelse med erhållna resultat från de fullskaleförsök med stora pölbränder av etanol (E97 & E85), vilka SP genomfört under 2015 [24]. Fullskaleförsöken tog utgångspunkt i en stor öppen pölbrand om 254 m². Resultaten från försöken åskådliggörs i Figur 26 där maxvärden indikerar uppmätta värden i vindriktningen.



Figur 26. Resultat från genomförda fullskaleförsök av stor pölbrand med etanol [24].

Rapporten innefattar även en jämförelse av förväntade effekter från en pölbrand med bensin. Jämförelsen grundar sig på vedertagna beräkningsmodeller av stora pölbränder med bensin. Resultaten från jämförelsen åskådliggörs i Figur 27.



Figur 27. Resultat från genomförd jämförelseanalys av strålningseffekter mellan uppmätta strålningsnivåer för pölbrand med etanol och bensin [24].

Skadeeffekter

För det dimensionerande scenariot (pölstorlek om 100 m²) påvisar beräkningarna att strålningsnivåerna på 15 meters avstånd kan förväntas uppgå till ca 12,4 kW/m². Utförd känslighetsanalys påvisar vidare att resultaten är okänslig mot antagande av pölstorlek samt typ av brandfarlig vätska. Även vid större pölbränder med bensin samt vid en stor pölbrand med etanol (254 m²) som utgör det värsta tänkbara scenariot kan ett skyddsavstånd om 15 meter förväntas säkerställa att brandspridning in i byggnaden ej uppkommer. Då avståndet från byggnader inom kvarter 37-39 överstiger 15 från samtliga körbanor så bedöms ingen risk för brandspridning till byggnader föreligga vid en olycka med brandfarlig vätska.

Resultaten indikerar även att människor i det fria, inom 15 m, kan erhålla 2-gradens brännskador medan de har goda möjligheter att hinna sätta sig i säkerhet innan exponering av dödliga strålningsdoser. Då inga personer förväntas finnas sig inom 15 meter från aktuella körbanor förutsätts att inge personer omkommer vid en olycka med brandfarlig vätska.

Referenser Bilaga E

- [1] *RIVM - Reference Manual Bevi Risk Assessments*, National Institute of Public Health and the Environment, Netherlands, 2009.
- [2] Muhammad M.J., Aziz R., Salim, A., Faisal K. (2015) *LNG pool fire simulation for domino effect analysis*. Reliability Engineering and System Safety 143 (2015), sida 19-29.
- [3] DNV (2013), *QRA Göteborg GO₄LNG Terminal*. Det Norske Veritas.
- [4] Nilambar B., Indra M.M., Vimal C.S. (2015) *Fire and explosion hazard analysis during surface transport of liquefied petroleum gas (LPG): A case study of LPG truck tanker accident in Kannur, Kerala, India*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 40 (2016), sida 449-460.
- [5] Planas E., Pastor E., Casal J., Bonilla J.M. (2015) *Analysis of the boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) of a liquefied natural gas road tanker: The Zarzalico accident*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 34 (2015), sida 127-138.
- [6] Fischer S., Forsén R., Hertzberg O., Jacobsson A., Koch B., Runn P., Thaning L., Winter S. (1998) *Vådautsläpp av Brandfarliga och Giftiga Gaser och Vätskor*, Metoder för bedömning av risker, Andra reviderade och utökade upplagan. Avdelningen för NBC-skydd och
- [7] Shokri, M. & Beyler, C.L., *Radiation from large pool fires*, J. of Fire Prot. Engr., 1 (4), pp 141–150, 1989.
- [8] Hägglund, B & Persson, L.E. *The heat radiation from petroleum fires*, FOA, rapport C30126-D6, 1976.
- [9] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association 2nd ed. Quincy, MA, 1995.
- [10] Brandteknik (2005). *Brandskyddshandboken*. Rapport 3134, Lund Tekniska Högskola, Lund.

Bilaga F – Fördjupad konsekvensbedömning av explosionsförlopp

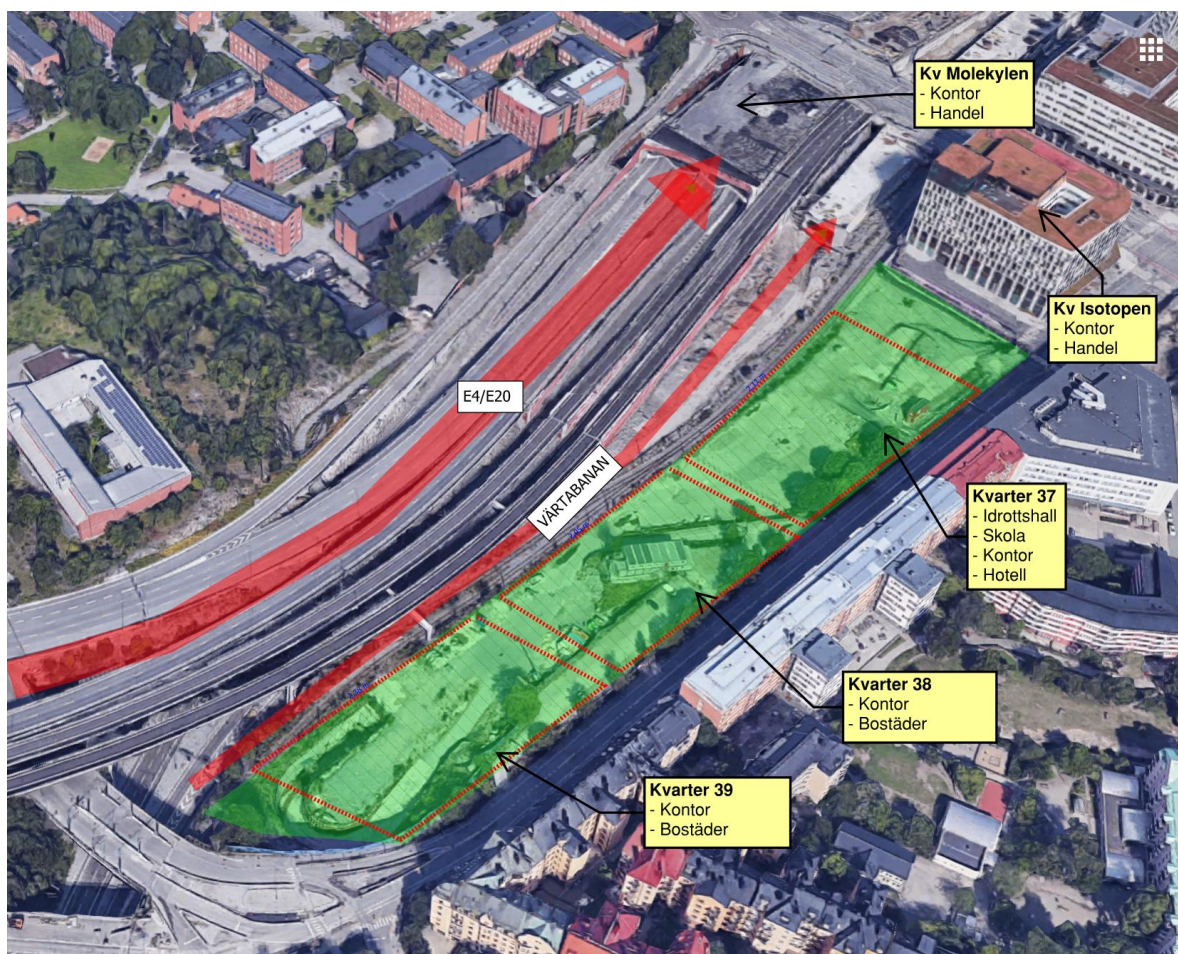
F.1 Bakgrund

Analys av explosionsförlopp inom tätbebyggda områden är ytterst komplex och är förknippat med stora osäkerheter. För att minimera osäkerheterna i föreliggande riskutredning som utgör beslutsunderlag inför beslutsfattande om planerad markanvändningen är lämplig avseende människors hälsa har föreliggande fördjupade konsekvensanalys tagits fram. Analysen tar utgångspunkt i det fördjupade riskhanteringsarbete som utfört inom ramen för detaljplan Hornsbergskvarteren.

F.1.1 Studerat område

Västra Hagastaden utgörs av tre kvarter där det dels ska uppföras kontorslokaler och bostäder (Kv. 38 och Kv. 29) och dels en skola samt hallbyggnad för idrottsaktiviteter (Kv 37). Befintliga byggnader som ligger i närheten, Kv. Isotopen och Kv. Molekylen, innefattar främst kontor och handelslokaler (se Figur 28).

Samtliga av dessa kvarter och byggnader befinner sig på ett varierande avstånd från E4/E20, där bebyggelse inom Kvarter 37, 38 och 39 kommer vara med ett avstånd om minst 40 m från vägkanten på E4:ans körbanor och minst 25 meter från E:20:s körbanor. Samtliga av kvarter som ligger bakom Västra Hagastaden är på ett avstånd överstigande 80 m från E20/E4:ans körbanor.



Figur 28. Studerat område i Hagastaden, Stockholm.

F.2 Vad som ska beaktas

För att minimera osäkerheterna förknippade med analys av explosionsförlopp behöver konsekvenserna av identifierade olyckshändelser enligt nedan analyseras via fördjupad analys.

- Gasmolnsexplosion till följd av olycka involverande Klass 2.1 (naturgas).
- Detonation till följd av olycka involverande Klass 1 (massexplosiva sprängämnen).

Bakgrunden till urvalet av analyserade olyckshändelser utgår från att dessa kan förväntas ha en betydande påverkan på individ- och samhällsrisknivåerna längs med aktuell del av E20/E4, primärt indikerar ökning av gastransporter att samhället behöver utformas med hänsyn till dessa olycksförlopp för att säkerställa godtagbara samhällsrisknivåer.

En fördjupad utredning krävs därför för att fastställa ett tillfredställande skyddskoncept för skydda människor inomhus. Föreliggande utredning syftar till att säkerställa att tillkommande bebyggelse och markanvändning i Västra Hagastaden utförs på ett sådant sätt att exploateringen inte föranleder en oacceptabel riskförändring med hänsyn till potentiell skadeomfattning i samband med en explosion på E20/E4.

Då farligt gods i ADR-S Klass 1 (Explosiva ämnen och föremål) inte förväntas transporteras till Frihamnen så förutsätts inte denna typ av farligt gods på E20s körbanor utan enbart på E4s körbanor.

F.3 Skyddsprinciper

F.3.1 Orientering

För att skydda sig mot en explosion finns det primärt två saker som har stor inverkan: avstånd och en skyddande massa. I det fria kommer explosionens energiinnehåll snabbt tunnas ut, varför lasteffekten av en given explosion också snabbt avtar med avståndet. Om det inte är möjligt att säkerställa ett tillräckligt avstånd till en explosion är en avskärmande massa dock ett effektivt skydd. Explosionen verkar som en impulsbelastning på sin omgivning och en massa som är placerad i dess väg – exempelvis en betongvägg – kommer att absorbera denna impuls och sättas i rörelse av densamma. En stor massa gör att det uppkomna rörelsebehovet minskar, vilket i sin tur leder till en lägre rörelseenergi hos det aktuella hindret. En stor massa kan därför sägas vara ett effektivt sätt att dämpa effekten av en impulslast.

En skyddande vägg är dock till liten hjälp om den själv kastas iväg av den rörelse den erhåller. Det är därför väsentligt att konstruktionen även kan uppvisa en god energiupptagningsförmåga som förhindrar att så sker. Genom att säkerställa att väggen har en bra deformationsförmåga fås en seg konstruktion som ger goda möjligheter att motstå den rörelseenergi som genereras av explosionen.

En seg respons hos en belastad konstruktion säkerställer en effektiv energiupptagande förmåga med möjlighet till kraftomlagringar så att ett lokalt brott inte leder till total kollaps. Denna devis gäller i de flesta strukturella sammanhang men är särskilt viktigt i samband med exceptionella dynamiska pålastningar såsom vid en explosion. I en impulsbelastad konstruktion är det dock inte dess maximala statiska lastkapacitet som är av primärt intresse – denna påkänning uppnås normalt i vilket fall som helst. Istället är det konstruktionens energiupptagande förmåga, dvs. dess deformationsförmåga i kombination med aktuell lastkapacitet, som blir viktig för att bedöma dess lämplighet som skydd.

F.3.2 Skyddsavstånd

Det effektivaste sättet att skydda sig mot en explosion är att inte vara där när explosionen inträffar, dvs. att ha ett stort avstånd till explosionskällan. Detta kan synas självklart men kan ändå vara värt att poängtera. I en tät stadsmiljö kan det dock ofta vara svårt att säkerställa tillräckliga skyddsavstånd mellan potentiell lastkälla och övrig bebyggelse. Denna problematik framgår särskilt tydligt när delar av bebyggelsen (se Kv. Isotopen och Kv. Molekylen i Figur 28) redan är byggd och ny bebyggelse ska uppföras i dess närhet.

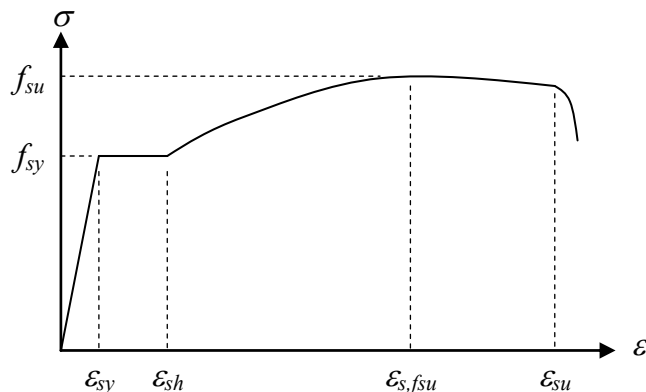
F.3.3 Säkerställande av en god deformationsförmåga

F.3.3.1 Orientering

För att säkerställa en god deformationsförmåga, och därmed en god energiupptagningsförmåga, i en armerad betongkonstruktion är det av största vikt att använda en armering med goda seghetsegenskaper. Ett flertal olika tankar kring detta behandlas i exempelvis Johansson och Laine (2012) och i avsnitt nedan ges en sammanställning av dessa.

F.3.3.2 Krav på armering

En armerad betongkonstruktion kan betraktas som en komposit bestående av betong och armering. Betong är bra på att ta tryck och armering bra på att ta drag, vilket gör att en väl fungerande kraftjämvikt kan uppstå som gör att yttre laster kan bäras effektivt. Segheten hos en sådan komposit beror på de ingående materialens egenskaper. I jämförelse med stål är betong dock ett sprött material varför en betongkonstruktions förmåga att uppvisa en seg respons till stor del beror på armeringens egenskaper. Dvs. de mekaniska egenskaperna hos den ingående armeringen, schematiskt illustrerad i form av en arbetskurva i Figur 29, har en avgörande betydelse för betongkonstruktionens förmåga att uppvisa en god deformationsförmåga.



Figur 29. Schematisk figur av armeringens arbetskurva definierande flytspänning f_{sy} , brottspänning f_{su} samt flyttöjning ϵ_{sy} , töjning vid hårdnande ϵ_{sh} och brotttöjning $\epsilon_{s,f_{su}}$.

Viktiga förutsättning för att uppnå en god deformationsförmåga i en armerad betongkonstruktion är att armeringens arbetskurva uppvisar en flytplateå, har en hög seghetskvot

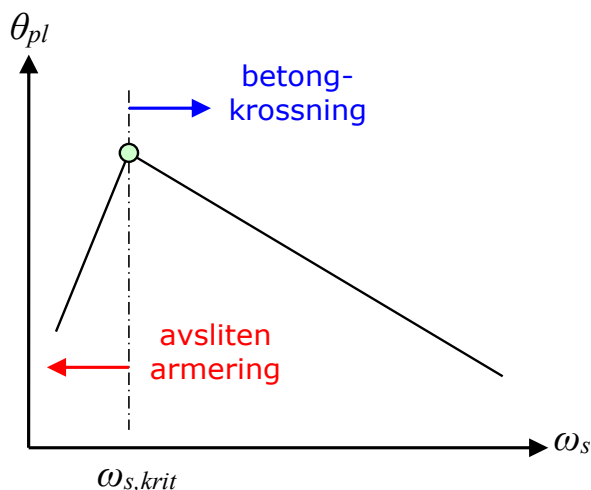
$$\gamma = \frac{f_{su}}{f_{sy}}$$

mellan armeringens brottspänning f_{su} och flytspänning f_{sy} samt har en hög brotttöjning $\epsilon_{s,f_{su}}$. Utgående från den armering som används i Sverige idag uppfylls dessa krav bäst av den armering som i Eurokod 2, SIS (2008a), benämns som klass C. Denna armeringstyp är därför den som genomgående bör användas för konstruktioner som bedöms kunna bli utsatta för direkta eller indirekta effekter av en explosionslast. Det finns i Eurokod 2 även en armering benämnd klass B som också uppfyller krav på flytplateå men med lägre värden på seghetskvot och brotttöjning. Denna armeringstyp resulterar dock i en deformationsförmåga som är storleken 2-3 gånger lägre och bör därför undvikas i impulsbelastade konstruktioner.

Förspända betongkonstruktioner (armering klass A) har enligt Eurokod 2 ingen möjlighet att utnyttja global plastisk omlagring och är därför i många sammanhang direkt olämpliga att använda om dimensionering ska göras gentemot explosionslast.

F.3.3.3. Armeringsutformning

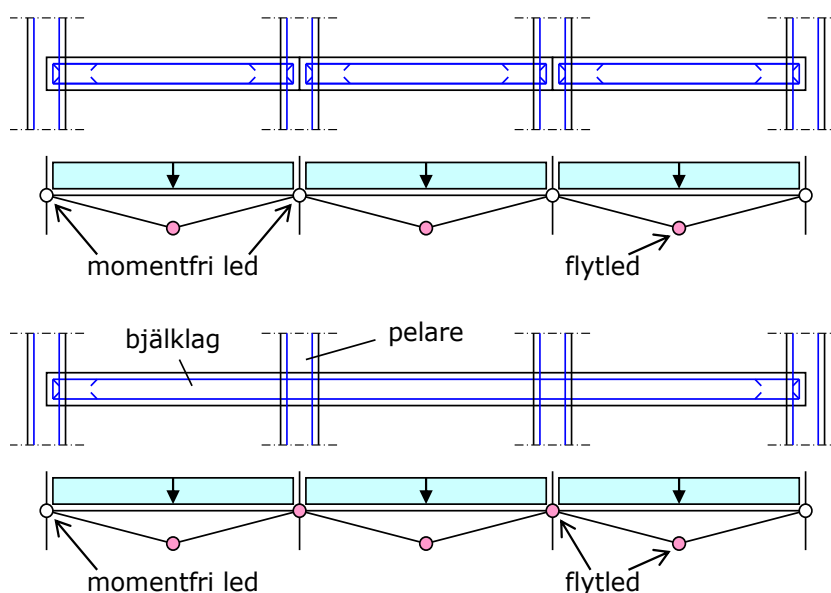
Allmänt gäller att små armeringsmängder i en betongkonstruktion resulterar i bättre deformationsförmåga än stora armeringsmängder. Detta förutsätter dock att brott inte erhålls i armeringen – slits denna av minskar rotationskapaciteten, och därmed deformationsförmågan, drastiskt – utan att det är den tryckta betongen som utgör tvärsnittets svaga punkt, se schematisk illustration i Figur 30. Så är också ofta fallet men avvikelser kan uppstå vid kombination av låga armeringsmängder, låg flytgräns hos armeringen och/eller hög tryckhållfasthet hos betongen. Vid användande av armering K500C ($f_{yk} = 500$ MPa) fås optimal böjarmeringsmängd, med hänsyn till deformationsförmågan, om den uppgår till cirka 0,3 % för betong C 30/37 och 0,4 % för betong C 40/50.



Figur 30. Schematisk illustration av tillåten plastisk rotationsförmåga θ_{pl} som funktion av den mekaniska armeringskvoten ω_s samt effekt av olika brottkriterier.

F.3.3.4. Kontinuitet hos byggnadsdelar

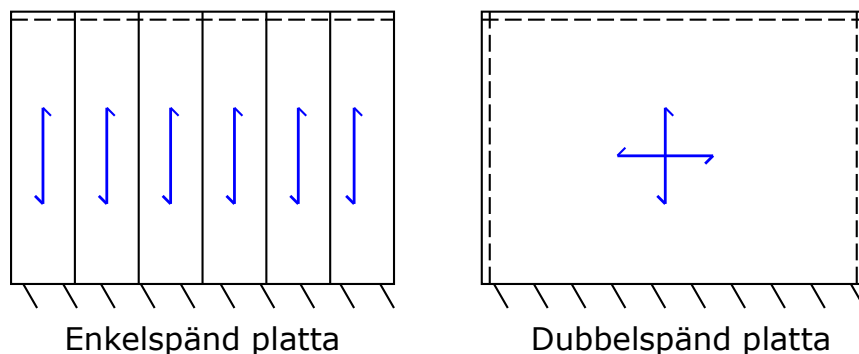
Genom att utföra väggar och bjälklag med momentinspända kopplingar, såsom schematiskt visas i Figur 31, säkerställs en ökad motståndsförmåga mot explosionslast hos en byggnad. En kontinuerlig dragen armering genom bjälklagen resulterar i en ökad möjlighet till kraftomlagring i konstruktionen eftersom det då kan uppstå fler flytleder än vad som är fallet när bjälklaget enbart läggs upp på respektive upplag. Vidare ges möjlighet att så kallad lin- och membranverkan kan uppstå i bjälklaget, något som är väldigt gynnsamt för bjälklagets energiupptagningsförmåga. Denna devis innebär även att platsgjutna betongstommar, vilka normalt har en större andel kontinuerliga bjälklag, i regel är mer lämpade utformade att motstå explosionslasten än byggnader uppförda med prefabricerade betongelement.



Figur 31. Schematisk bild av bjälklag med enskild respektive kontinuerlig uppläggning av balk.

F.3.3.5. Redundans – flerfaldiga byggnadssystem

För en byggnad är det ofta viktigt att det finns en inbyggd redundans, dvs. en robusthet som finns att tillgå om behov uppstår. Detta är inte nödvändigtvis en kapacitet som ökar byggnadens eller byggnadsdelens funktionalitet i övrigt utan snarare en reservkapacitet som kan tas i anspråk vid exceptionella tillfällen om någon annan del i det bärande systemet fallerar. Användandet av kraftomlagring via flytleader kan betraktas som en variant av en sådan redundans för en enskild byggnadsdel eller förmågan hos ett bjälklag att bära i två riktningar istället för i enbart en riktning, se Figur 32.



Figur 32. Bjälklag med bäring i en respektive två riktningar. Bäring i två riktningar ökar bjälklagets redundans.

Med begreppet redundans åsyftas här dock inte primärt bärförmågan hos en lokal konstruktionsdel utan snarare på stabiliteten hos hela byggnaden. Dvs. det bärande globala stomsystemet ska med det här synsättet inte vara avhängigt ett fåtal kritiska delar utan det bör finnas en sådan robusthet i utformningen av denna att ett fortskridande ras kan förhindras även om lokala brott uppstår. Ett exempel på ett sådant redundant system kan vara att det i en byggnad bör finnas en sådan mängd bärande väggar och pelare att det är möjligt att en eller flera av dessa slås ut utan att total kollaps erhålls. Vid normalt byggande beaktas detta exempelvis via beaktande av en avslagen pelare. Alternativet är att dimensionera pelaren för att tåla en tillräckligt hög last, något som i explosionshänseende kan vara mycket besvärligt att uppnå.

Detta innebär också att byggnader som är starkt beroende av en eller några få bärande delar kan bli känsligare för extrema laster eftersom en betydande del av dess bärförmåga är beroende av dessa.

F.3.3.6. Stål och trä som konstruktionsmaterial

I en stålkonstruktion kan tvärsnitten hos ingående konstruktionsdelar enligt Eurokod 3, SIS (2008b), delas in i klass 1 till 4. Av dessa kan dock enbart tvärsnitt i klass 1 uppvisa en global plastisk omlagringsförmåga i konstruktionsdelen medan tvärsnitt i övriga klasser medför en eller annan begränsning med detta. Detta innebär att det krävs tvärsnitt av klass 1 för att möjliggöra en god deformationsförmåga hos en stålkonstruktion. En konstruktion med tvärsnitt i klass 2 till 4 antas uppvisa en global elastisk respons och är därför olämpliga att använda i situationer som berör impulsbelastning.

För träkonstruktioner tillgodoräknas ingen plastisk omlagringsförmåga och en sådan konstruktion antas därför alltid uppvisa en elastisk respons. Av denna anledning blir därför också träkonstruktioner olämpliga att använda i situationer som berör impulsbelastning.

F.4. Last från explosion

En eventuell explosion antas ske på E20/E4 i en linje som motsvarar dess vägren. Konservativt antas en helt hemisfärisk (halvsfärisk) utbredning för den luftstöt våg som fås från en explosion på E20/E4.

Följande lastsituationer bedöms kunna uppkomma och behandlas i detta dokument:

- Gasexplosion (ADR-S Klass 2.1)
- BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*) (ADR-S Klass 2.1)
- Explosion från sprängämne (ADR-S Klass 1)
 - 60 kg TNT eller lägre
 - 60-500 kg TNT
 - 500-1000 kg TNT
- Explosionsförlopp med oxiderande ämnen och organiska peroxider (ADR-S Klass 5)

Explosionsförlopp med oxiderande ämnen och organiska peroxider bedöms täckas in av det explosionsförlopp som är att förvänta med sprängämnen i ADR-S klass 1 och hanteras därmed inte i något separat avsnitt.

Vid bestämning av resulterande last från en explosion är det viktigt att skilja på last från en oreflekterad och en reflekterad stötvåg. Det senare fallet ger en märkbart högre last (minst en faktor två högre tryck än för oreflekterad stötvåg) och är aktuellt för t.ex. fasad som vetter mot explosionskällan. Som jämförelse är last från en oreflekterad stötvåg aktuellt för t.ex. taket på en byggnad eller för en fasad som inte syns från explosionskällan. Om inget annat explicit anges så utgås fortsättningsvis från ett värsta lastfall, dvs. reflekterat tryck mot fasad som vetter mot E4/E20.

Nedan i avsnitt F.4 och F.5F.5 Rekommendation hanteras en analys av gasexplosion, BLEVE samt explosion från sprängämne 60 kg TNT eller lägre. En fördjupad analys av vilka resulterande laster som kan uppkomma från explosion av större mängder sprängämne, 60 – 1000 kg TNT, samt vilka potentiella skadeeffekter som kan uppstå av dessa på omgivande bebyggelse redovisas vidare i avsnitt F.6.

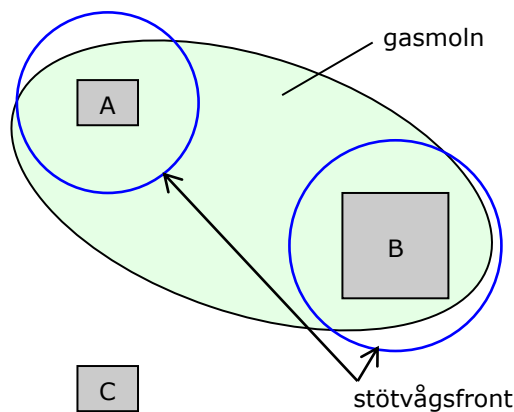
F.4.1. Gasexplosion (ADR-S Klass 2.1)

F.4.1.1. Beräkningsmetod – TNO Multienergimetod

I litteraturen finns olika anvisningar om hur last från en gasexplosion kan beräknas. I det här dokumentet används den så kallade TNO Multienergimetoden, van den Berg (1985), för att beräkna resulterande last och närmare beskrivning samt beräkningsgång är hämtad från Johansson (2013).

TNO Multienergimetoden bygger på att en gasexplosion består av ett antal delexplosioner där en kraftfull explosion enbart kan initieras i de delar av molnet där gasens expansionsmöjligheter är begränsade, dvs. helt eller delvis inneslutna volymer eller i blockerade områden. Detta innebär att det i ett gasmoln potentiellt kan skapas flera av varandra oberoende explosioner, var och en med sitt eget energiinnehåll. Vidare är det enbart de delar av gasmolnet som inryms i områden som betraktas som explosionsbenägna som används för att bedöma styrkan hos en kraftfull explosion.

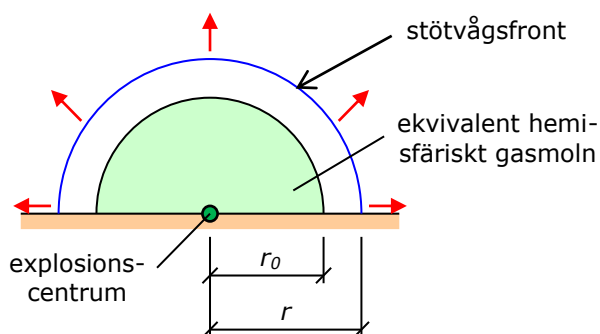
Detta illustreras schematiskt i Figur 33 där ett gasmoln spritt ut sig inom markerat område. I figuren markerar A, B och C områden med någon form av inneslutning och/eller blockering i en sådan omfattning att de bedöms kunna initiera en kraftfull explosion. Område A och B innesluts av gasmolnet och kan därför vardera generera en explosion medan område C är beläget utanför gasmolnet och därför inte bidrar till detta. Den explosionsalstrande energimängden baseras på volymen i område A respektive B och kan generera två av varandra oberoende explosioner med olika styrka och med explosionscentrum centriskt placerad inom respektive delvolym. Övriga delar av gasmolnet, utanför område A och B, bidrar dock inte till energimängden i någon av dessa båda explosioner. Därmed begränsas eventuella kraftfulla explosioners tillgängliga energimängd till det minsta av hur stor mängd av gasmolnet som ryms i en explosionsinitierande volym eller av gasmolnets aktuella storlek. Gasen utanför område A och B kan också ge upphov till en explosion men då med en lägre styrka. En sådan explosion baseras då på den totala gasvolym som befinner sig utanför område A och B.



Figur 33. Schematisk illustration av TNO multienergimetod. Ett gasmoln täcker markerat område. Område A och B innesluts av gasmolnet och kan båda ge upphov till varsin explosion.

Beräkningsmodellen i TNO multienergimodell baseras på att framtagna gasvolym inom respektive område omvandlas till en ekvivalent hemisfär innehållande samma volym, se Figur 34. Gasen antas bestå av en homogen, stökiometrisk blandning av gas och luft med en förbränningsenergi $E'_{gas} = 3,5 \text{ MJ/m}^3$, som är oberoende av gastyp.

Explosionen förutsätts ske nära mark på ett sådant sätt att tredimensionell avlastning är möjlig. Detta innebär att effekten av så kallad spegling också redan har beaktats i för metoden angivna samband.



Figur 34. Schematisk illustration av en ekvivalent hemisfärisk gasvolym som används i TNO multienergimetod, där r_0 betecknar radien hos den ekvivalenta volymen.

F.4.1.2 Föresättningar

I TNO Multienergimetoden finns det tre parametrar som avgör vilken last som fås från en given gasexplosion:

- Ingående stökiometriskt blandad gasvolym (explosionskällans energimängd)
- Explosionsstyrka (anges med en styrkefaktor, graderad 1-10 där ett högt värde anger en kraftig explosion – 10 motsvarar en detonation)
- Avstånd mellan explosionscentrum och studerad punkt

Val av explosionsstyrka är en viktig parameter som har stor inverkan på storleken hos den förväntade explosionslasten. Det är dock svårt att bedöma vilken styrka som ska användas i en given situation och här utgår från förenklade riktlinjer som ges i Johansson (2013).

Gasvolym

Hur storleken på en blockerad gasvolym, som kan ge upphov till en kraftig gasexplosion, ska bestämmas är inte självklart. För en gasexplosion med sitt centrum på E20/E4 finns det inga fasta naturliga områden som kan ge upphov till en kraftig explosion. Vid händelse av en olycka kommer det dock finnas ett antal fordon i området som kan ge upphov till en sådan blockerad volym.

Ett möjligt sätt att resonera för bestämning av en starkt blockerad volym är därför att utgå från den gasmängd som samlas under en ansamling av fordon, dvs. mellan vägbana och undersida fordon. Här har utgått från en volym enligt nedan:

$$V_{\text{fordon}} = b \cdot l \cdot h = 2 \cdot 5 \cdot 0,5 = 5 \text{ m}^3 / \text{fordon}$$

Det kan även argumenteras att utrymmet mellan bilar till viss del ska innefattas i en sådan volym. Detta kan göras genom att approximativt öka längden med 0,5 m i horisontalled, vilket då ger en volym på:

$$V_{\text{fordon,mod}} = b_{\text{mod}} \cdot l_{\text{mod}} \cdot h = 3 \cdot 6 \cdot 0,5 = 9 \text{ m}^3 / \text{fordon}$$

Av detta resonemang fås att omkring 5-10 m³ gas/fordon kan vara rimligt att utgå från vid uppskattning av en blockerad volym. Om det antas att 10-20 bilar innefattas i det utsläppta gasmolnet fås då 50-200 m³ gas, beroende på vilket grundvärde som väljs. Totalt bedöms det vara rimligt att ta höjd för en stökiometriskt blandad gasvolym på totalt 1 000 m³.

Styrkefaktor

Följande styrkefaktorer utgår från i här utförda beräkningar:

- En styrkefaktor på $s = 2$ motsvarar en gasmolnsexplosion på en mer eller mindre öppen yta.
 - För detta fall utgörs gasvolymen av den totala mängd stökiometriskt blandad gas som finns tillgänglig – inte av den blockerade volymen.
- En styrkefaktor på $s = 5$ motsvarar en gasexplosion i en blockerad volym.
 - För ett sådant fall är det rimligt att utgå från en större gasvolym än vad som är fallet vid en starkt blockerad volym – $V_{gas} = 100\text{-}200 \text{ m}^3$.
- En styrkefaktor på $s = 7$ motsvarar en gasexplosion i en starkt blockerad volym.
 - Här har antagits att den tvådimensionella fördämning som fås av gasen mellan vägbana och undersida fordon motsvarar ett sådant fall. Det är också rimligt att utgå från en mindre gasvolym än när $s = 5$ antas – $V_{gas} = 50\text{-}100 \text{ m}^3$.

Enligt VROM (2005) kan en fördröjd antändning av ett gasmoln på en öppen yta resultera antingen i en gasmolnsbrand eller en gasexplosion och fördelningen mellan dessa båda händelser bedöms vara 60/40 %. Utifrån mer precisa mätningar av farligt godstransporter som genomförts av Stockholm Stad tillsammans med Trafikverket 2015 kan konstateras att transporter av naturgas (LNG – *Liquefied Natural Gas*) förväntas utgöra majoriteten av antalet transporter av brännbar gas, ADR-S Klass 2.1.

Inom moln av metan (LNG) sprids lågor långsamt, varvid lågan kan slockna i förtid utan att hålla sig brinnande genom hela molnet. Tillräcklig acceleration av förbränningen (dvs. $>100 \text{ m/s}$) för att skapa ett verkligt explosionsövertryck uppträder vanligtvis inte, om ingen blockering eller inneslutning föreligger, se DNV (2013). Utomhus i den öppna luften förväntas generellt inte att gasen blir innesluten/delvis innesluten, och erfarenheten tillsäger att metangas brinner relativt långsamt (i närheten av 10 m/s), varvid all expansion resulterar i att gasen stiger vertikalt, DNV (2013). Antändningsprover med spridda, ej inneslutna, LNG-gasmoln har bekräftat att inget påtagligt övertryck utvecklas ($<1 \text{ kPa}$). Med avseende på rådande förhållanden är det således högst otroligt att en gasmolnsexplosion uppstår givet ett utsläpp av LNG och det troligaste förloppet på en öppen yta är således ett förlopp som genererar närmast obefintliga övertryckseffekter. Baserat på den typ av brandfarliga gaser som primärt är aktuella för transport på E20/E4 (LNG) så bedöms den riskfördelning som anges i VROM (2005) därför vara väl konservativ för här studerat fall.

För det fall att en gasexplosion uppstår så utgår här använd beräkningsmetod från ett energi-innehåll som motsvarar en stökiometriskt blandad gas, dvs. att en optimal blandning av luft och brännbar gas har erhållits. Om så inte är fallet fås en explosion med reducerad styrka. Det är inte sannolikt att en stökiometrisk blandning uppstår men att utgå från en sådan situation resulterar i ett konservativt lastantagande och används därför här.

Baserat på ovanstående kan det argumenteras för att $s = 2$ samt $s = 7$ är högt valda värden för det aktuella fallet när vi har låg- och mellanreaktiva gaser såsom metan eller propan. Ett resonemang enligt ovan har av författaren dock använts i andra liknande sammanhang och medför en konservatism i bedömningen som har ansetts vara rimlig att ha med. En överskattning av styrkefaktorn får i de flesta fall också större effekt på den resulterande lasten än en överskattning av ingående gasvolym.

Avstånd

I de framtagna laster som presenteras i detta dokument har utgått från ett minst avstånd på $r = 25$ m mellan explosionscentrum och byggnadsfasad. Det är dock möjligt att argumentera för en ökning av detta avstånd.

- Placering av en ansamling av 10-20 fordon kommer rimligen ske i 3-4 filer. Beaktande detta fås att centrum för blockerad volym ligger åtminstone omkring 5 m från Essingeledens kant. Dvs. om avstånd från Essingeledens kant till byggnad är 25 m skulle avstånd till explosionscentrum kunna uppskattas till 30 m.
- För en större öppen gasmolnsexplosion kan det argumenteras för att last från en gasexplosion med $s = 2$ kan finna sig närmare byggnaden än 25 m eftersom gasmolnet kan blåsa mot byggnaderna. Antändning i yttre delen av molnet innebär emellertid med stor sannolikhet att förloppet kommer karakteriseras av en gasmolnsbrand (*flash fire*) eftersom koncentrationen inom denna del av molnet kan förutsättas ligga vid sin undre explosionsgräns. För ett explosionsartade förlopp anses det rimligt att antändning förutsätts ske i närhet till olycksplatsen, eftersom det är inom detta område det skulle kunna ske ansamling av större gasmängder inom stökiometrisk koncentrationer. De primära tändkällorna av ett gasmoln utgör vidare fordonen på transportleden, vilket ytterligare styrker resonemanget att det är rimligt att explosionscentrum utgår från olycksplatsen. I här utförda beräkningar bedöms det därför rimligt att bibehålla avståndet till 25 m även när $s = 2$.
- Här utgås konservativt från ett minsta avstånd på 25 m för beräkning av last från explosion. Vid en mer detaljerad analys av last mot en byggnad är det dock även möjligt att beakta ökat avstånd till olika delar av byggnaden – något som kan medföra en reduktion av resulterande last.

F.4.2. Explosion från BLEVE (ADR-S Klass 2.1)

En explosion från en så kallad BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*) är ett resultat av en trycksatt vätska i en behållare som gör att vätskan förhindras att övergå till ånga. Om behållaren brister sjunker dock trycket plötsligt varvid vätskan kokar och övergår till ånga. Detta genererar en snabbt expanderande ånga och vätska som i sin tur kan ge upphov till ett explosionsliknande förlopp som genererar en luftstöt våg som breder ut sig i omgivningen.

För att en BLEVE ska kunna inträffa krävs, enligt CCPS (2010), att följande villkor uppfylls:

- En vätska som har en temperatur som överstiger sin kokpunkt vid normalt lufttryck
- En sluten behållare som kan motstå det tryck i vätskan som krävs för att förhindra kokning
- Ett plötsligt brott i behållaren som gör att vätsketrycket hastigt sjunker.

Den vanligaste orsaken till att en BLEVE uppstår är kopplat till upphettning av behållaren på grund av en brand. Värmen från branden bidrar dels till att öka trycket inne i tanken och dels medför det en försvagning av behållarens mekaniska styrka (hållfastheten hos stål halveras vid en temperatur av omkring 500 °C).

Ovanstående förutsättningar innebär att en BLEVE har lättare att uppstå i en LNG-behållare än i t.ex. en tank med bensen eller diesel. Hos den förra typen är konceptet att naturgas i flytande form transporteras nedkyld (-162 °C) under atmosfärstryck i dubbla vakuumisolerade tankar vars säkerhetsventiler aktiveras vid en tryckhöjning om cirka 7-9 bar. LNG-behållare är således utformade för att klara stora tryck. Om en situation enligt ovan uppstår som innebär att en brand föranleder en snabb förångning av den nedkylda naturgasen finns det därför också risk att en BLEVE kan uppstå.

Bensin eller diesel befinner sig dock redan naturligt i vätskefas och dess behållare behöver därför inte heller utformas för att klara något högt tryck. Det tryck som krävs för att en sådan behållare ska brista är därför förhållandevis lågt, vilket medför att det inte heller kommer att kunna uppstå en explosion av nämnvärd storlek.

För att ytterligare minska risken för explosion med bensin och diesel är sådana behållare utrustade med säkerhetsventiler som gör att gas kan släppas ut om trycket blir för stort (över 0,25 bar) och därmed begränsa det resulterande övertrycket i behållaren. En annan förebyggande åtgärd är att behållaren hos tankbilar normalt är uppdelade i ett antal olika separata fack, vilket gör att vätskevolymen som kan generera en möjlig BLEVE begränsas. Detta medför att risken för en kraftfull explosion reduceras ytterligare eftersom ett brott i behållaren sannolikt inte sker i mer än ett fack samtidigt. I princip kan därför konstateras att BLEVE är relevant för LNG-behållare medan riskerna för ett en BLEVE ska uppstå i samband med en olycka involverande bensin- eller dieseltank kan förväntas vara försumbara.

En BLEVE kan, enligt CCPS (2010), resultera i bland annat följande konsekvenser:

- Stötvåg
- Splitterutkast
- Eldklot

Att teoretiskt bestämma vilken stötvågslast som genereras av en BLEVE är svårt. De beräkningsmodeller som finns för att uppskatta explosionslasten från BLEVE kan vara mycket konservativa och i det här dokumentet utgås därför från observationer om last som har gjorts för inträffade olyckor. I Planas-Cuchi *et al.* (2004) och Planas *et al.* (2015) beskrivs två olika explosionsolyckor i Spanien som inträffade 2002 respektive 2011 och som är kopplade till BLEVE. I båda fallen härrörde explosionen från tankbilar som transporterade LNG. Lastvolymen uppgick i båda fallen till cirka 56 m³ med ett dimensionerat tryck på 7 bar, något som bedöms vara representativt även för svenska förhållanden. Baserat på observationer från olycksplatsen presenteras en konservativ baklängesräkning i ovanstående referenser, där en uppskattning har gjorts av den ekvivalenta mängden TNT som krävs för att generera samma explosionslast som erhålls i BLEVE-olyckan. Dessa beräkningar ger ekvivalenta TNT-mängder på 30-75 kg samt 41-52 kg TNT för olyckan 2002 respektive 2011, dvs. ett medelvärde på 53 kg respektive 47 kg.

En BLEVE kan ge upphov till fragment (från framförallt behållaren för vätska/gas) som kastas flera hundra meter bort från explosionskällan. Dessa fragment är i regel relativt få till antalet och ett enskilt fragment kan storleksmässigt utgöra en betydande andel av behållarens totala storlek. Uppkomsten av en BLEVE gör att utkastriktningen hos sådana fragment sker i linje med behållarens längd (dvs. tankbilens längd). Med tanke på potentiell storlek hos sådana fragment är det mycket svårt att skydda sig mot en sådan händelse. Skadeomfattningen av att människor i omgivningen skulle kunna träffas från flygande fragment kan vidare betraktas som försumbar i relation till de potentiella skadeeffekterna från uppkommen värmestrålning och stötvåg. Utkast av flygande fragment bedöms därmed inte relevant att studera ytterligare i denna utredning.

Ett eldklot från en BLEVE kan sträcka sig långt ut från explosionscentrum och utgör också ett dödligt hot mot de människor som hamnar inom dess utbredning. För att minimera risken för omgivningen är det därför väsentligt att eldklotet förhindras att komma i kontakt med människor i så stor grad som möjligt.

F.4.3. Explosion från massexplсивt sprängämne, 60 kg eller lägre (ADR-S Klass 1.1)

F.4.3.1. Beräkningsmetod

I litteraturen finns det tydliga anvisningar om hur den resulterande lasten från en explosion av sprängämne kan beräknas och för här framtagna lastvärden utgås från anvisningar i Johansson (2012).

F.4.3.2. Förutsättningar

Till skillnad mot en gasexplosion så kommer en explosion av sprängämnen alltid utgöras av en detonation. Detta medför att explosionen alltid blir kraftig samt att osäkerheten i bestämningen av resulterande last minskar betänkligt jämfört med vad som gäller vid en gasexplosion.

Vid beräkning av explosionslast från sprängämne avgör följande faktorer vilken last som fås:

- Mängd och typ av sprängämne (explosionskällans energimängd)
- Avstånd mellan explosionscentrum och studerad punkt

De empiriska samband som sedan används för att beräkna lasten utgår normalt från sprängämnet TNT. Olika typer av sprängämnen karakteriseras därför ofta med en så kallad ekvivalent TNT-vikt, dvs. en dimensionslös faktor med vilken den aktuella vikten ska multipliceras för att få samma last som 1 kg TNT (Trotyl). I detta dokument utgås dels från TNT men också från dynamit, där den senare bedöms ha en faktor på 0,6 (1 kg dynamit motsvarar 0,6 kg TNT).

Vilken mängd sprängmedel som ska användas för dimensionering av närliggande bebyggelse till farligt godsled är en fråga som blir väldigt central för den resulterande last som slutligen används för detta. Det kan argumenteras för att man här bör ta höjd för en förhållandevis stor mängd sprängmedel, för att därigenom säkerställa att dimensionering görs på säker sida. Samtidigt innebär dimensionering av större laster stora begränsningar i byggnadsteknik och kan vidare föranleda betydande inskränkningar i byggnadsfunktion och gestaltning. Att helt skydda människor inomhus från påverkan vid en större explosion i det fria är i många fall ogörligt om inte byggnaden utformas utan glaspartier och mer i likhet med ett skyddsrum. En sådan utformning bedöms dock vara praktiskt ogörlig.

Utgångspunkten för vidare analys av laster och rekommendation av skyddskoncept utgår från en måttlig sprängämnemängd – en explosion orsakad av 100 kg dynamit (motsvarar 60 kg TNT). Bakgrunden till detta val är att 100 kg av ett sprängämne bedömts vara en rimlig övre mängd för mer "vardagliga" transporter till och från byggarbetsplatser via E20/E4. Dessa transporter är vidare osäkrare i jämförelse med de lastbilar (EX/II- eller EX/III-fordon) som transporterar större lastmängd, varför en olycka involverande denna typ av transporter löper större risk att föranleda en detonation givet t.ex. uppkomst av brand i fordonet. Som bakgrund till val av mängd sprängämne kan även nämnas att flertalet av de terroristattentat som riktats mot västvärldens intressen under de senaste 25 åren har understigit en laddningsmängd av i storleksordningen 1000 kg TNT – i Breiviks attentat i Oslo 2011 användes exempelvis en laddning på motsvarande omkring 700 kg TNT. Att dimensionera bebyggelsen för ett totalskydd mot olyckslast motsvarande den från en terroristattentat bedöms inte vara ett befogat förfarande sett utifrån ett riskhanteringsperspektiv.

F.4.4. Last mot byggnad

F.4.4.1. Orientering

Vilken last som uppstår mot en byggnad beror till stor del på dess avstånd till explosionscentrum – för de laster som diskuteras i detta dokument är det en betydande skillnad på om detta avstånd uppgår till 25, 50 eller 100 m. I en riskutredning antas ofta att explosionscentrum är placerad i ett givet läge, vilket bedöms ge en representativ bild av den sammantagna riskbilden mot studerat område. Dvs. olika lägen på explosionscentrum beaktas normalt sett inte i den totala risksammanställningen. Orsaken till en sådan förenkling är att många olika typer av komplicerade aspekter behöver vägas in för att få fram en övergripande riskbild och för att göra detta arbete praktiskt hanterbart blir en sådan lösning av lastplaceringen nödvändig.

Vid kontroll av enskilda byggnader mot en potentiell explosionslast – och därmed även kravställandet av dessa – utgår dock fortfarande från ett konservativt antagande där placering av explosionscentrum antas vara det värsta tänkbara. Dvs. för kontroll av en byggnad antas lastplaceringen vara rörlig i enlighet med de förutsättningar som finns, t.ex. att explosionslastens centrum utgår från en punkt någonstans på E20/E4.

Ett sådant angreppssätt medför också att ett robust skydd skapas för tillkommande bebyggelse, som är okänslig mot vart på E20/E4 olyckan uppstår. Verkliga geometriska effekter, så som att en byggnad är helt eller delvis dold bakom en annan byggnad beaktas inte. En sådan gynnsam effekt är dock något som vid behov kan beaktas vid bestämning av dimensionerande last mot en byggnad.

F.4.4.2. Avstånd 25 m

Beräkningar utförs för att få fram lastvärden som kan jämföras mellan olika lastsituationer när explosionen antas inträffa på ett avstånd om 25 m från byggnadsfasad, se Tabell 14. Resulterande last från reflekterad luftstöt våg orsakad av gasexplosion, BLEVE samt explosion från sprängämne. Samtliga laster är beräknade för ett avstånd på 25 m. I tabellen jämförs resulterande tryck och impulstäthet för olika mängd gasvolym och styrkefaktorer. Syftet med denna jämförelse är att tydligare belysa effekten av en ändrad gasvolym kontra en ändrad styrkefaktor.

Av Tabell 14 framgår att lasten från en explosion med en hög styrkefaktor ($s = 7$) men mindre blockerad volym ($V = 100 \text{ m}^3$) blir större jämfört med vad som fås från en explosion med en medelhög styrkefaktor ($s = 5$) och blockerad större volym ($V = 200 \text{ m}^3$). Lasten från en gasexplosion på en öppen yta ($s = 2$), men med en hög volym ($V = 1\,000 \text{ m}^3$), får visserligen en högre impulstäthet men samtidigt fås också ett märkbart lägre tryck för detta fall. Sammantaget kommer därför last från en starkt blockerad gasexplosion med relativt begränsad volym ($V = 100 \text{ m}^3$, $s = 7$) i de flesta fall utgöra ett farligare belastningsfall. Kontroll mot explosionslast orsakad av en stor gasvolym på en öppen yta ($V = 1\,000 \text{ m}^3$, $s = 2$) behöver dock också fortfarande göras eftersom impulstätheten är större än för lastfallet med en starkt blockerad gasexplosion.

Vid jämförelse av last från en starkt blockerad gasexplosion och dynamit så kan det konstateras att det resulterande trycket från dynamit är större samtidigt som impulstätheten är densamma. Detta innebär att den last som fås från en starkt blockerad gasexplosion ($V = 100 \text{ m}^3$, $s = 7$) helt innefattas av den last som fås från en explosion på 100 kg dynamit.



Tabell 14. Resultande last från reflekterad luftstöt våg orsakad av gasexplosion, BLEVE samt explosion från sprängämne. Samtliga laster är beräknade för ett avstånd på 25 m.

Beskrivning	r [m]	V [m ³]	s [-]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Gasexplosion, öppen yta (svag)	25	1 000	1	1,8	463	427
Gasexplosion, öppen yta (stark)	25	1 000	2	3,4	287	492
Gasexplosion, blockerad	25	100	5	15	30,9	234
Gasexplosion, blockerad	25	200	5	19	38,9	374
Gasexplosion, starkt blockerad	25	50	7	35	12,4	215
Gasexplosion, starkt blockerad	25	100	7	50	15,0	374

Beskrivning	r [m]	W [kg]	W_{mod} [kg]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Dynamit (innefattar BLEVE)	25	60	108	64	12,1	376

F.4.4.3. Avstånd 40 m

Enligt Länsstyrelsen rekommendationer medges principiellt kontorsbyggnader med ett skyddsavstånd på 40 m till farligt godsled utan att några säkerhetshöjande åtgärder, för att hantera konsekvenserna av explosionsförlopp, behöver vidtas. Det är därför av intresse att jämföra vilken effekt på lasten som fås om avståndet ökas från 20 m till 40 m för de olycksförlopp som studeras.

I Tabell 15 visas de lastvärden som fås om avståndet är 40 m istället för 20 m. En jämförelse med lastvärden i Tabell 14 visar att det ökade avståndet till explosionscentrum visserligen reducerar både tryck och impulstäthet tämligen mycket men att den last som verkar på detta avstånd fortfarande är så hög att den rimligen inte kan avfärdas som ointressant för byggnadens bärlighet.

Tabell 15. Resultande last från reflekterad luftstöt våg orsakad av gasexplosion, BLEVE samt explosion från sprängämne. Samtliga laster är beräknade för ett avstånd på 40 m.

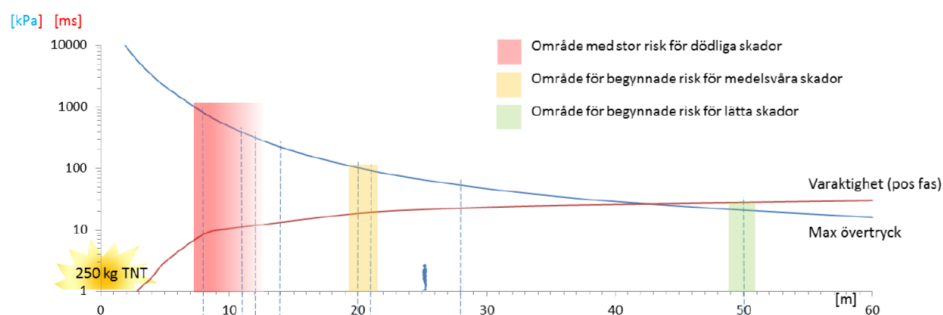
Beskrivning	r [m]	V [m ³]	s [-]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Gasexplosion, öppen yta (svag)	40	1 000	1	1,2	463	269
Gasexplosion, öppen yta (stark)	40	1 000	2	2,2	287	311
Gasexplosion, blockerad	40	100	5	9,4	31,0	145
Gasexplosion, blockerad	40	200	5	12	38,9	231
Gasexplosion, starkt blockerad	40	50	7	17	13,4	115
Gasexplosion, starkt blockerad	40	100	7	24	16,2	196

Beskrivning	r [m]	W [kg]	W_{mod} [kg]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Dynamit (innefattar BLEVE)	40	60	180	31	14,9	227

F.4.4.4. Kravbild

De krav som ställs med hänsyn till en explosion är kopplade till att reducera antal omkomna personer till en "acceptabelt" låg nivå utifall att en sådan olycka trots allt inträffar. En människa har egentligen en förhållandevis god motståndsförmåga mot höga tryck, se Figur 35. De lastvärden som kan vara acceptabla för en människa kan dock medföra kollaps av en byggnad.

Det är således inte ovanligt att explosionslasten är farligare för en byggnad än för en människa och det kan, ur explosionssynpunkt, därför vara mer farligt för en människa att vara inne i en byggnad med dålig bärighet än att vara ute i det fria. Om alltför nära avstånd till explosionscentrum undantas så utgörs det primära hotet mot en människa framförallt av att träffas av splitter samt att slungas iväg/falla omkull, varvid det finns risk att allvarlig skada uppstår när personen slår i marken. Om en byggnad helt eller delvis rasar samman så finns det dock stor risk att detta resulterar i ett stort antal omkomna personer.



Figur 35. Skaderisker för oskyddad, stående människa på olika avstånd från en markdetonation av 250 kg TNT. Från Svensson (2015).

Kravbilden vid en explosionslast är att undvika fortskridande ras. Med detta menas här att förlusten av en enskild byggnadsdel inte ska få katastrofala följder så som att hela eller stora delar av byggnaden rasar samman. Förutom att stommens bärighet säkerställs bedöms begreppet "fortskridande ras" här även inbegripa att bjälklag i byggnaden ska förbli intakta vid en explosion. Dvs. bjälklagen ska inte brytas sönder så att personer på ett plan faller ner en våning, eller att någon på planet nedanför riskerar att ovanpåliggande bjälklag (dvs. taket i den våningen personen befinner sig på) faller ner. I begreppet "fortskridande ras" bedöms dock inte ingå att fasaden ska förbli intakt (undantag gäller om fasaden är bärande – då ingår denna som en del i den bärande stommen och måste därför hålla).

Av brandskäl finns det ofta krav att fasaden ska utföras med icke brännbart material. Detta kan exempelvis medföra att särskilda åtgärder måste göras på fönster som vetter mot E20/E4. Det framgår dock inte tydligt om dessa krav också ska vara gällande efter en explosion, dvs. efter det att en explosion kan ha fått fasaden att falla. Med anledning av detta uppstår ett frågetecken på vilka krav som ska ställas på byggnadens fasad. Ur bärighetssynpunkt är det acceptabelt att en icke bärande fasad slås ut och helt eller delvis kastas in i byggnaden. Ett potentiellt problem med ett sådant scenario är dock att en sådan händelse otvivelaktigt kommer att medföra ökad risk för allvarliga skador för de personer som befinner sig inne i byggnaden. Frågeställningen flyttas då framförallt från att vara kopplat till byggnadens bärighet till att vara kopplat till acceptabel risk för allvarlig skada för personer inne i byggnaden.

F.4.4.5. Effekt av explosionslast

Det är intressant att jämföra resulterande laster enligt Tabell 14 och Tabell 15 för avstånd på 20 m respektive 40 m till explosionskällan. Av detta framgår att de laster som kan förväntas uppkomma mot en byggnad som är placerad på det "normala" säkerhetsavståndet om 40 m fortfarande kommer vara så stora att olika problem med byggnaden fortfarande kan förväntas uppstå. De laster som fås bedöms således vara av en sådan storleksordning att de inte kan sägas innefattas av de statiska laster som normalt beaktas vid dimensionering av sådana byggnader.

Vilken dynamisk last som en given byggnad klarar av att hantera utan extra förstärkande åtgärd är starkt beroende av hur byggnadens bärande system samt fasad ser ut⁹. Om fasaden består av armerade betongelement är det förmodligen möjligt att påvisa att effekten på dessa, från en explosionslast, är förhållandevis begränsad. Om fasaden dock istället består av någon form av lättelelement, t.ex. förtillverkade element av stenull med tunna pålimmade stålplåtar på fram- och baksida, så är risken dock stor att dessa inte klarar av aktuella laster lika väl och att någon form av förstärkning kan behövas. Vidare utgör glas i fasaden en potentiell svaghet med hänsyn till explosionslast. Enligt Forsén (1997) kan 10 % av fönsterrutor förväntas krossas vid ett explosionstryck på 3 kPa och 50 % krossas vid ett övertryck på 10 kPa, vilket innebär att det fortfarande är troligt att glas i fasaden kommer att skadas allvarligt om byggnaden befinner sig på gränsen till det tillåtna säkerhetsavståndet om 40 m. Förutom risken för skador från glassplitter kommer, om så sker, även fasadens skyddande effekt mot ett efterföljande eldskott eller brand gå förlorad.

En möjlig förstärkningsåtgärd, med hänsyn till detta, är att använda så kallade explosionsresistenta fönster. Tillåten lastkapacitet, uttryckt som tryck och impulstäthet, ges i tabell 12 och av denna framgår att den lägsta klassen, ER1, klarar av tryck på upp till 100 kPa och impulstäthet på 900 Pas¹⁰. En jämförelse med denna kapacitet och de laster som listas i Tabell 16 visar att denna typ av fönster är tillräckliga för att motstå de laster som bedöms kunna uppkomma på ett avstånd om 20 m vid en explosion på E20/E4. Denna typ av explosionsresistenta fönster ställer dock även krav på kraftigare fönsterramar som kan fästas in i fasaden, något som ytterligare kan bidra till att lättväggar i fasaden inte utgör ett lämpligt alternativ.

Tabell 16. Klassificering av explosionsresistenta fönsterrutor enligt EN 13541.

Klassificering	P_r [kPa]	i_r [Pas]	t_r [ms]
ER1	50-100	370-900	≥ 20
ER2	100-150	900-1500	≥ 20
ER3	150-200	1500-2200	≥ 20
ER4	200-250	2200-3200	≥ 20

Ovanstående jämförelse indikerar att de nuvarande reglerna, med 40 m säkerhetsavstånd, inte har en uppenbar koppling till last från en lite kraftigare explosion enligt ovan. Denna observation ger möjligen även ett visst perspektiv på vilka krav som är rimliga att ställa på den bebyggelse som placeras innanför detta säkerhetsavstånd.

F.4.4.6. Effekt av en "tät" fasad

Om fönster inte utformas som explosionsresistenta finns det en överhängande risk att närliggande byggnaders fönsterrutor kommer att gå sönder om det inträffar en explosion på E20/E4. De vanligast förekommande personskadorna orsakade av en explosion är i regel skador från splitterfragment. Av dessa skador utgörs i sin tur en betydande majoritet av skador från glassplitter från krossade fönster som kastas in i byggnaden.

⁹ En typisk kontorsbyggnad kan förväntas vara utförd med en stabiliserande stomme i platsgjuten eller prefabricerad betong samt med bjälklag av betong. Vidare kan fasaden förväntas utgöras av en relativt stor andel glaspartier med mellanliggande vägg bestående antingen av prefabricerade betongelement eller lätta sandwichelement.

¹⁰ Det finns även ett ytterligare krav om att lastens varaktighet ska uppgå till minst 20 ms. Detta krav bedöms här vara av mindre betydelse eftersom de beräknade varaktigheter är framtagna med antagande om en triangelformad tryckkurva medan tryckkurvan i verkligheten har en mer exponentiellt avtagande tryckkurva som gör att den verkliga varaktigheten blir större.

Om explosionen orsakas av 60 kg TNT på ett avstånd om 25 m från fasaden fås för en 10 mm tjock glasruta (vikt 25 kg/m²) en ungefärlig inkastningshastighet på 15 m/s (54 km/h), och sträckan som glaset kastas in i byggnaden uppgår till omkring 7-10 m. Vid en sådan explosion finns det således risk för dödliga utfall för personer som befinner sig rimligt nära glasfönster vid fasaden som vetter mot E20/E4.

Om fönsterrutor inte utformas med explosionsresistent glas så är bedömningen här att en stor andel fönster som vetter mot E20/E4 kommer att krossas och kastas in i byggnaden. Ett sådant regn av glassplitter kommer ovillkorligen resultera i omfattande skärskador på människor i fönstrens närhet. Vidare kan det uppstå andra typer av personskador inne i byggnaden som härrör från omkullkastning av människor och/eller ras av lättare invändiga byggnadsdelar. Det är dock mycket svårt att bedöma vilken dödlighetsgrad dessa händelser skulle ha. Med tanke på att glassplittrets inkastningshastighet uppskattas kunna uppgå till omkring 15 m/s för här studerade laster så bedöms det vara rimligt att en inte oväsentlig andel personer i byggnaden kommer att ådra sig allvarliga, även dödliga, skador. Genom att säkerställa att fasaden blir "tät"¹¹ mot explosionslast kan denna osäkerhet dock helt undvikas. En "tät" fasad medför således en säkrare bedömning av antalet omkomna vid händelse av en allvarlig olycka på E20/E4.

Förutom ökat skydd mot explosionslast så medför en "tät" fasad även ett ökat skydd gentemot brand och förekomsten av efterföljande eldskott vid händelse av gasexplosion eller BLEVE. Vid händelse att en explosion inträffar på E20/E4 så är det också rimligt att anta att en brand kan uppstå i samband med detta. De eventuella åtgärder som tagits för att säkerställa en brandtålig fasad hos en byggnad placerad nära E20/E4 kommer dock få en kraftfullt nedsatt skyddsverkan om betydande delar av fasaden (dvs. fönsterrutor) fallerat på grund av en tidigare inträffad explosion. Av denna anledning fås även ett ökat brandskydd för byggnaden om fasaden utförs som "tät".

En potentiell nackdel med en "tät" fasad är att den effektivare tar upp och för vidare pålagd last in i byggnaden. Detta medför att påkänningen mot byggnadens globala bärsystem ökar jämfört med vad som hade varit fallet om fasaden inte varit "tät". För de laster som utgår från här är det hanterbart att utforma byggnadens stomme så att dessa påkänningar kan tas upp. För stora explosionslaster, t.ex. en explosion från 500-1000 kg TNT på ett kort avstånd, finns dock risk att en sådan ökad lastöverföring kan medföra problem för byggnadens stomstabilisering. För stora explosionslaster kan det, ur byggnadens lastkapacitetsperspektiv, således vara mer fördelaktigt att utforma byggnaden med en fasad som är så klen som möjligt. En sådan utformning kommer visserligen medföra att fasaden kastas in i byggnaden, något som kan förväntas medföra en omfattande påverkan på de människor som vistas där, men samtidigt minskar risken för att byggnadsstommen kollapsar och ger upphov till ett fortskridande ras. Att utforma denna för att motstå även stora explosionslaster är möjligt men medför krav som gör att byggnaden möjligen blir märkbart dyrare och/eller får en utformning som i olika avseenden skiljer sig från den som annars hade varit tänkt. Samtidigt blir de faktiska, positiva skyddseffekterna svåra att tillgodose i och med att människor innanför fasad fortfarande kan förväntas påverkas i en omfattande utsträckning.

Sammanfattningsvis kan konstateras att en "tät" fasad har en alltigenom gynnsam inverkan vid de mindre, mer troliga, explosionslasterna medan den kan bidra till en negativ effekt vid stora, mer extrema, explosionslaster. I och med att majoriteten av antalet explosionsrelaterade transporter på E20/E4 är kopplade till brandfarlig gas är det också denna typ av olycka som primärt kan förväntas styra risknivåerna för en explosion.

¹¹ Med "tät" fasad syftas här på en fasad som är utformad på ett sådant sätt att den förhindrar stötvågslasten från att tränga in i byggnaden. Detta innebär att såväl fasadelement som eventuell fönsterrutor klarar av att motstå de laster som en explosion innebär utan att gå sönder. Ett visst tryckgenomsläpp och lokala splitterutkast från fönster bedöms dock vara acceptabelt.

En byggnad nära E20/E4 som utformas med en "tät" fasad får flera fördelar:

- Stötvågslasten kommer enbart belasta byggnadens fasad, vilket innebär att potentiella skador på bärande konstruktionsdelar inne i byggnaden effektivt förhindras.
- Glasrutor kastas inte in på människor i byggnaden, ingen risk för invändig omkullvältning eller ras av lättare byggnadsdelar.
- Med intakta glasrutor förbättras skyddet mot värmestrålning, från en efterföljande brand eller eldklot, betänkligt.

Tillsammans medför dessa effekter att några dödsfall inomhus inte är att förvänta för de explosionslastfall som beaktas här. Den potentiella nackdel som en tät fasad innebär vid stora explosionslaster bedöms här därför vara acceptabel med hänsyn till ovan listade fördelar.

F.5 Rekommendation

F.5.1. Lastfall att beakta vid dimensionering

Utgående från resonemang och lastresultat rekommenderas det här att last från explosionslast beräknas med följande förutsättningar:

- Gasexplosion
 - Beräkning görs med TNO Multienergimetod, se Johansson (2013), med volym V och styrkefaktor s enligt nedan:
 - Gasexplosion, öppen yta: $V = 1\,000\text{ m}^3$, $s = 2$
 - Gasexplosion, starkt blockerad: $V = 100\text{ m}^3$, $s = 7$
- BLEVE
 - Beräkning görs som för en explosion med en ekvivalent mängd TNT och innefattas av den mängd som beaktas för explosion av sprängämne.
- Explosion av sprängämne
 - Beräkning görs med sprängämne omräknat till ekvivalent mängd TNT, se Johansson 2012), med mängd TNT enligt nedan:
 - Dynamit, 100 kg: $W = 60\text{ kg TNT}$
(speglingsfaktor 1,8 $\rightarrow W_{mod} = 108\text{ kg TNT}$)



F.5.2. Resultterande tryck och impulstäthet på olika avstånd

I Tabell 17 och Tabell 18 sammanställs resulterande last från gasexplosion respektive explosion från BLEVE/sprängämne. Last presenteras för oreflekterad samt reflekterad stötvåg på olika avstånd från explosionscentrum. Angivna värden beaktar enbart normalreflexion och det finns således möjlighet att vid behov påvisa reducerade lastvärden för att ta hänsyn till sned reflexion.

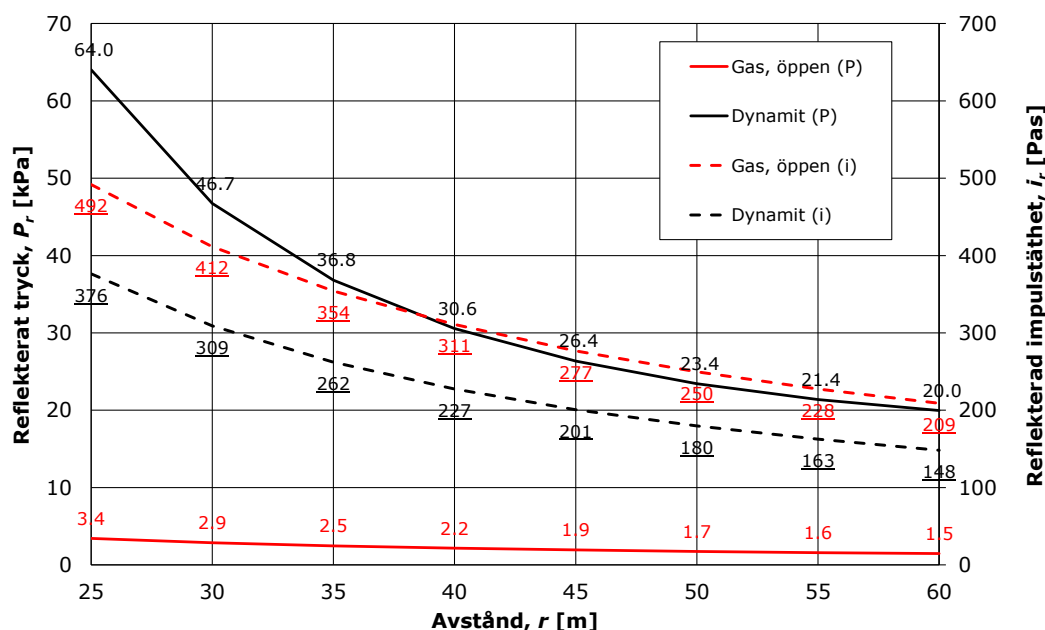
Tabell 17. Resultterande last från oreflekterad och reflekterad luftstötvåg orsakad av gasexplosion på avstånd 20-60 m från explosionscentrum.

Beskrivning	r [m]	V [m ³]	s [-]	P_s [kPa]	t_s [ms]	i_s [kPas]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Gasexplosion, öppen yta	20	1 000	2	2,03	287	291	4,09	287	585
Gasexplosion, öppen yta	25	1 000	2	1,70	287	244	3,43	287	492
Gasexplosion, öppen yta	30	1 000	2	1,43	287	205	2,87	287	412
Gasexplosion, öppen yta	35	1 000	2	1,23	287	176	2,47	287	354
Gasexplosion, öppen yta	40	1 000	2	1,08	287	155	2,17	287	311
Gasexplosion, öppen yta	45	1 000	2	0,96	287	138	1,93	286	277
Gasexplosion, öppen yta	50	1 000	2	0,87	287	125	1,74	286	250
Gasexplosion, öppen yta	55	1 000	2	0,79	287	114	1,59	286	228
Gasexplosion, öppen yta	60	1 000	2	0,73	287	105	1,46	286	209
Gasexplosion, starkt blockerad	20	100	7	31,6	8,9	140	71,4	8,5	305
Gasexplosion, starkt blockerad	25	100	7	22,8	15,3	175	50,0	15,0	374
Gasexplosion, starkt blockerad	30	100	7	17,5	15,8	138	37,5	15,5	290
Gasexplosion, starkt blockerad	35	100	7	14,0	16,1	113	29,6	15,9	235
Gasexplosion, starkt blockerad	40	100	7	11,5	16,4	95	24,1	16,2	196
Gasexplosion, starkt blockerad	45	100	7	9,7	16,7	81	20,2	16,6	168
Gasexplosion, starkt blockerad	50	100	7	8,4	17,0	71	17,4	16,9	147
Gasexplosion, starkt blockerad	55	100	7	7,5	17,3	65	15,5	17,1	133
Gasexplosion, starkt blockerad	60	100	7	6,8	17,5	60	14,0	17,4	122

Tabell 18. Resultterande last från oreflekterad och reflekterad luftstötvåg orsakad av BLEVE och exploderande sprängämne (100 kg dynamit) på avstånd 20-60 m från explosionscentrum.

Beskrivning	r [kg]	W [m]	W_{mod} [kg]	P_s [kPa]	t_s [ms]	i_s [kPas]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Dynamit (innefattar BLEVE)	20	60	108	43,0	11,9	230	102,0	10,6	483
Dynamit (innefattar BLEVE)	25	60	108	28,9	12,8	185	64,0	11,8	376
Dynamit (innefattar BLEVE)	30	60	108	21,7	14,4	156	46,7	13,2	309
Dynamit (innefattar BLEVE)	35	60	108	17,3	15,6	135	36,8	14,2	262
Dynamit (innefattar BLEVE)	40	60	108	14,5	16,4	119	30,6	14,9	227
Dynamit (innefattar BLEVE)	45	60	108	12,5	17,1	106	26,4	15,2	201
Dynamit (innefattar BLEVE)	50	60	108	11,0	17,5	96	23,4	15,3	180
Dynamit (innefattar BLEVE)	55	60	108	9,9	17,8	88	21,4	15,2	163
Dynamit (innefattar BLEVE)	60	60	108	9,0	17,9	81	20,0	14,9	148

En jämförelse mellan last i Tabell 17 och Tabell 18 visar att last från starkt blockerad gasexplosion alltid understiger last från 100 kg dynamit. För gasexplosion vid öppen yta fås visserligen generellt ett lågt tryck medan impulstätheten överstiger den som fås från explosion med dynamit. Det är troligt att last från dynamit i de flesta fall kommer att utgöra det dimensionerande lastfallet men det finns också situationer där last från gasexplosion på öppen yta ge en mer kritisk lastsituation. I Figur 36 sammanställs tryck och impulstäthet för dessa lastfall.



Figur 36. Resultande tryck (P) och impulstäthet (i), vid reflekterad stötvåg, för olika lastkällor samt varierande avstånd. Aktuella lastvärden anges i figuren.

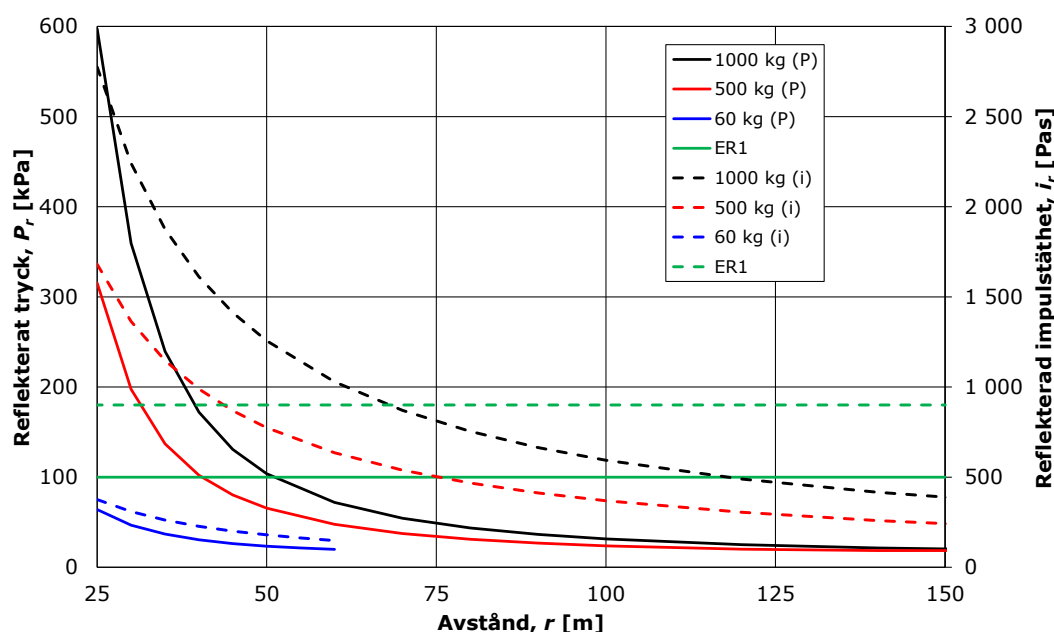
F.5.2.1 Krav på fasad

Fasad utförs som "tät", vilket innebär att fasaden ska utformas på ett sådant sätt att last från explosion förhindras att tränga in i byggnaden. Detta innebär att såväl fasadelement som eventuella fönsterrutor ska klara av att motstå de dimensionerande lastfallen utan att gå sönder. Mot bakgrund av åskådliggjorda lastfall innebär detta att glaspartier (inklusive dess infästning) i fasad behöver utformas explosionsresistenta, exempelvis i klass ER1 enligt EN 13541 eller motsvarande som säkerställer likvärdigt skydd.

F.6. Last från 500 kg och 1000 kg TNT (övergripande analys)

Som rekommendation för dimensionering av "tät" fasad tas utgångspunkt i mer moderata riskstyrande lastfall. För fullständighetens skull som underlag för riskberäkningar presenteras i detta avsnitt kort resulterande last från en explosion av stora laddningar, 500 kg samt 1000 kg TNT, på varierande avstånd från explosionscentrum.

I Figur 37 visas resulterande tryck och impulstäthet på varierande avstånd för en reflekterad stötvåg orsakad av en explosion av 500 kg samt 1000 kg TNT. Av en jämförelse med lastvärden i Figur 36 kan konstateras att de laster som fås från dessa laddningsmängder blir avsevärt större än de som fås från en explosion på 100 kg dynamit (motsvarar 60 kg TNT). Det är svårt att göra en direkt jämförelse mellan de laster som fås från en stor sprängladdning och 100 kg dynamit eftersom varaktigheten, och därmed även impulstätheten, ökar med ökande avstånd. Baserat på en grov bedömning kan dock konstateras att den last som fås från 60 kg TNT på 40 m understiger den last som fås från 500 kg på 100 m eller 1000 kg på 150 m. Av jämförelsen som åskådliggörs i Figur 37 kan vidare konstateras att det är svårt att dimensionera upp en "tät" fasad för större laster sett till glaspartier i fasad (ER1 klass är ej erforderligt).



Figur 37. Resultande tryck (P) och impulstäthet (i), vid reflekterad stötvåg, för explosion från 60 kg, 500 kg och 1000 kg TNT på varierande avstånd. I grafen är även gränser för explosionsresistenta fönster av klass ER1 markerat.

F.7 Bedömning av skadeeffekter

I detta avsnitt ges en beskrivning byggnaders motståndskraft mot större explosioner och förväntade skadeeffekter inom Västra Hagastaden. Som underlag för samhällsriskberäkningar görs en övergripande bedömning antal omkomna till följd av respektive explosionsscenarion. I Figur 38 nedan ges en övergripande illustration av möjlig olycksplacering samt avstånd till de olika kvarteren inom Västra Hagastaden och omkringliggande bebyggelse.



Olycka på	Avstånd till Kv. 37	Avstånd till Kv. 38	Avstånd till Kv. 39
E20	47 meter	30 meter	25 meter
E4	65 meter	55 meter	42 meter

Figur 38. Olycksplacering på E4/E20 samt avstånd till kvarter inom Västra

Sett till redogjorda laster i avsnitt F.4. Last från explosion och F.6. Last från 500 kg och 1000 kg TNT (övergripande analys) kan utifrån jämförelse med de skadekriterier som anges i Forsén (1997) konstateras att byggnaderna i sig inte förväntas ådra sig några betydande skador, d.v.s. stommen och dess bärande huvudsystem bedöms ej riskera kollapsa. Glaspartierna i fasad kan emellertid förväntas brista och kastas in i byggnaden. En större explosion kan således ovillkorligen förväntas föranleda många drabbade inomhus. Primärt är det människor som befinner sig i nära anslutning till glaspartierna som riskerar att omkomma.

Enligt Forsén (1997) kan 10 % av fönsterrutor förväntas krossas vid ett explosionstryck på 3 kPa och 50 % krossas vid ett övertryck på 10 kPa. Då vi för samtliga studerade fall (gasmolnsexplosion, BLEVE, Explosiva ämnen) överstiger 10 kPa på de aktuella avstånden från bebyggelse inom Västra Hagastaden är det rimligt att bedöma att samtliga glasrutor kommer att krossas vid en explosiva olycksfall. Aktuella glas (laminerade säkerhetsglas) minskar dock betänkligen risken för omfattande skärskador och eventuella skador bedöms istället främst härröra från den stöt mot människor som ett inkastat fönster kan ge upphov till.

Skadeomfattningen och risken för omkomna styrs av förväntad inkastningshastighet. För att erhålla en uppfattning av potentiell skadeomfattning beräknas risken att omkomma på olika avstånd inom byggnaden till följd av inkastade glaspartier. Beräkningarna tar utgångspunkt i angivna tröskelvärden, som anges i Svensson (2015) för att en människa ska omkomma till följd av att denna kastas mot en hård yta vid exponering av en tryckvåg, d.v.s. fönster i detta avseende

ansätts utgöra en hård yta som kastas mot människor inom byggnaden.

Hastighet vid islag [m/s]	Letalitet
3,0	Mycket låg sannolikhet
6,5	Tröskelvärde
16,5	50 %
42,0	Nästan 100 %

Figur 39. Tröskelvärden för sannolikheten att omkomma vid kast mot hårt underlag enligt Svensson (2015).

Beräkningar för att avgöra kasthastighet och kaststräcka av fönster utgår från följande ekvationer:

Kasthastighet hos fönster:
$$v_{\text{fönster}} = \frac{i}{\gamma_{\text{fönster}}}$$
, där $\gamma_{\text{fönster}}$ = fönstertunghet och i = impulstäthet

Kaststräcka hos fönster:
$$s_{h,\text{fönster}} = v_{\text{fönster}} \cdot t_{\text{fönster}}$$
, där
$$t_{\text{fönster}} = \sqrt{\frac{2 \cdot s_{v,\text{fönster}}}{g}}$$

$s_{v,\text{fönster}} = 1,5$ m (avstånd från centrum fönster till golv)

Baserat på aktuell bullersituation kan antas att relativa tjocka glaspartier kommer att erfordras i fasad som vetter mot Värtabanan för att säkerställa acceptabla inomhusnivåer. Beräkningar tar därför utgångspunkt i två karakteristiska fönstertungheter ($\gamma = 50$ och $\gamma = 75$) som representerar lite tjockare glastyp (totalt glastjocklek > 8 mm).

F.7.1. Gasexplosion (ADR-S Klass 2.1)

Resultat av utförda beräkningar redogörs i Tabell 19.

Tabell 19. Dödlighet innanför fasad baserat på last från studerad gasmolnexplosion i det fria på en volym av 1000 m³ av gas. Avstånd från explosionscentrum varierar från 25 – 55 meter.

γ	r	S	i	v	s_h	Inom s_h
[kg/m ³]	[m]	[-]	[Pas]	[m/s]	[m]	dödlighet
50	25	2	491	9,82	5,4	1%-50%
75	25	2	491	6,55	3,6	1%-50%
50	35	2	354	7,08	3,9	1%-50%
75	35	2	354	4,72	2,6	<1%
50	45	2	277	5,54	3,1	<1%
75	45	2	277	3,70	2,0	<1%
50	55	2	228	4,56	2,5	<1%
75	55	2	228	3,04	1,7	<1%

Av utförda beräkningar kan konstateras att människor innanför den mest utsatta fasaden placerad ca 25 meter från E20 är tämligen säkra vid studerad gasmolnexplosion. Risken för att allvarligt påverkas/omkomna begränsas till ett område om max ca 3-5 meter in från utsatt fasad, d.v.s. endast personer som står direkt innanför fasad förväntas kunna förolyckas. Detta avstånd och risken att omkomma sjunker snabbt med ökat avstånd till explosionscentrum. Skadorna förväntas således begränsas till mest utsatta lokaler som vetter mot E4/E20. I lokaler längre bort från förväntas människor vara säkra.

F.7.2. BLEVE samt 60 kg TNT

Resultat av utförda beräkningar redogörs i Tabell 20.

Tabell 20. Dödlighet innanför fasad baserat på last från studerad explosion med 60 kg TNT. Avstånd från explosionscentrum varierar från 25 – 55 meter.

γ	r	i	v	s_h	Inom s_h
[kg/m ³]	[m]	[Pas]	[m/s]	[m]	dödlighet
50	25	377	7,55	4,2	1%-50%
75	25	377	5,03	2,8	<1%
50	35	263	5,26	2,9	<1%
75	35	263	3,51	1,9	<1%
50	45	204	4,07	2,3	<1%
75	45	204	2,71	1,5	<1%
50	55	165	3,29	1,8	<1%
75	55	165	2,20	1,2	<1%

Av utförda beräkningar kan konstateras att människor innanför den mest utsatta fasaden placerad ca 25 meter från E20 är tämligen säkra vid studerad explosion. Risken för att allvarligt påverkas/omkomna begränsas till ett område om max ca 3-4 meter in från utsatt fasad, d.v.s. endast personer som står direkt innanför fasad förväntas kunna förolyckas. Detta avstånd och risken att omkomma sjunker snabbt med ökat avstånd till explosionscentrum. Skadorna förväntas således begränsas till mest utsatta lokaler som vetter mot E4/E20. I lokaler längre bort från förväntas människor vara säkra.

F.7.3. 500 och 1000 kg TNT

Resultat av utförda beräkningar redogörs i Tabell 21.

Tabell 21. Dödlighet innanför fasad baserat på last från studerad explosion med 1000 kg TNT. Avstånd från explosionscentrum varierar från 40 – 55 meter.

γ	r	i	v	s_h	Inom s_h
[kg/m ³]	[m]	[Pas]	[m/s]	[m]	dödlighet
50	40	1644	32,89	18,2	50%-100%
75	40	1644	21,93	12,1	50%-100%
50	45	1439	28,79	15,9	50%-100%
75	45	1439	19,19	10,6	50%-100%
50	50	1259	25,17	13,9	50%-100%
75	50	1259	16,78	9,3	50%-100%
50	55	1144	22,87	12,6	50%-100%
75	55	1144	15,25	8,4	1%-50%

För en laddning på 1000 kg TNT och avstånd 40 - 55 m bedöms effekterna vara stora och att 50 % av de personer som befinner sig inom avståndet s_h från fasad omkommer. För det mest konservativa scenariot där avståndet från E4:ans körbanor (där transporter i klass 1.1 kan förväntas) till bebyggelse inom Kv. 39 är 40 meter kan därmed en stor andel personer förväntas omkomma som effekt av glassplitter in i byggnaden. En grov uppskattning är att 10 % av personantalet inom Kv. 39 skulle omkomma vid detta scenario. Övriga kvarter 38 och 37 kommer vid detta scenario ligga på mer än 80 meter bort från explosionens centrum och inga omkomna kan förväntas i dessa lokaler. Om avståndet ökas mellan explosionens centrum och byggnadens fasad minskar även påverkan och eftersom avståndet mellan E4:ans körbana och kvarter 38 är 55 meter så uppskattas dödligheten här vara minst halverad, dvs. 5 procent av personantalet. För

kvarter 39 är avståndet 65 meter och därmed kommer påverkan vara ännu mindre. En sammanvägning gör att 5 % av det totala personatalet inom Västra Hagastaden (Kv. 37-39) kan förväntas omkomma.

Slutsats: Grovt bedöms en total dödlighet om ca. 5 % vid en explosion om 1000 kg TNT

Vid en explosion om 500 kg TNT är dödligheten lägre. Jämförelse av resulterande impulstätheter som direkt är proportionell med inkastningshastigheten påvisar att skillnaden är ca en faktor 1,6 lägre vid en explosion om 500 kg TNT jämfört med en explosion om 1 ton. Risken för dödsfall pga. av inkastade glaspartier avtar snabbt vid ett avstånd längre än 50 meter från explosionscentrum.

Slutsats: Grovt bedöms en total dödlighet om ca 2 % vid en explosion 60 - 500 kg TNT.

Det bör vidare noteras att det är ytterst svårt att i absoluta tal bedöma antalet omkomma inomhus vid en större explosion och alla bedömningar av antalet omkomna inomhus vid en sådan exceptionell händelse bör därför betraktas som en grov ingenjörsmässig uppskattning.

F.7.4. Omkringliggande befintlig bebyggelse samt bakomliggande bostadskvarter

Ingen fördjupad kontroll görs av befintliga byggnaders motståndskraft mot explosion. De mest utsatta befintliga byggnaderna är Kv. Molekylen och Kv. Isotopen (Figur 38). För övriga befintliga byggnader är avståndet från E4/E20 så pass stort att den övergripande bedömningen att de förhållandevis väl skulle klara en kraftfull explosion. Dock går det inte att frånsä att en större explosion kan föranleda att fönster krossas och personer som befinner sig i dessa byggnader skadas av glassplitter. Bedömningen är dock att avstånden är så pass stora att inga personer förutsätts omkomma.

Kv. Isotopen och Kv. Molekylen är belägna i sådant förhållande till E4/E20s körbanor att ett explosionsförlopp som skulle ha en starkt påverkan på denna bebyggelse behöver ligga nära tunnelmynningen och därmed relativt långt bort från bebyggelse inom Västra Hagastaden. Därmed bedöms påverkan på personer inom Kv. Isotopen och Kv. Molekylen vara ringa för de i denna riskutredning utredda scenarion, som tar utgång i att vara konservativa för planområdet Västra Hagastaden.

Referenser Bilaga F

van den Berg A.C. (1985): The multi-energy method – A framework for vapour cloud explosion blast prediction. *Journal of Hazardous Materials*, 12(1985), sid 1-10.

CCPS (2010): Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BLEVE and Flash Fire Hazards, Second edition. Center for Chemical Process Safety, John Wiley & Sons, Hoboken, USA.

DNV (2013): QRA Göteborg GO₄LNG Terminal. Det Norske Veritas.

Fischer S., Forsén R., Hertzberg O., Jacobsson A., Koch B., Runn P., Thaning L., Winter S. (1998): Vådautsläpp av Brandfarliga och Giftiga Gaser och Vätskor, Metoder för bedömning av risker, Andra reviderade och utökade upplagan. Avdelningen för NBC-skydd och Avdelningen för Vapen och Skydd, Försvarets Forskningsanstalt, FOA-R--97-00490-990—SE, Sverige.

Forsén R. (1998): Tryck vid explosioner. Kapitel 10 i Fischer *et al.* (1998), sid 279-312.

Johansson M. (2013): Gasexplosion i det fria. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Dokument B02-121, 2013-03-11, Karlstad.

Johansson M. och Laine L. (2012): Bebyggelsens motståndsförmåga mot extrem dynamisk belastning, Del 3: Kapacitet hos byggnader. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Publ.nr MSB 0142-10, Karlstad.

SIS (2008a): Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader. SIS, SS-EN 1992-1-1:2005, Stockholm.

SIS (2008b): Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader. SIS, SS-EN 1993-1-1:2005, Stockholm.

Svensson L. (2015): Människans tållighet mot luftstöt vågor. FOI

VROM (2005), Guideline for Quantitative Risk Assessment, "Purple book". Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Nederländerna.