

Östra Hagastaden

Riskutredning

Projektstaben
Mathias Lööf



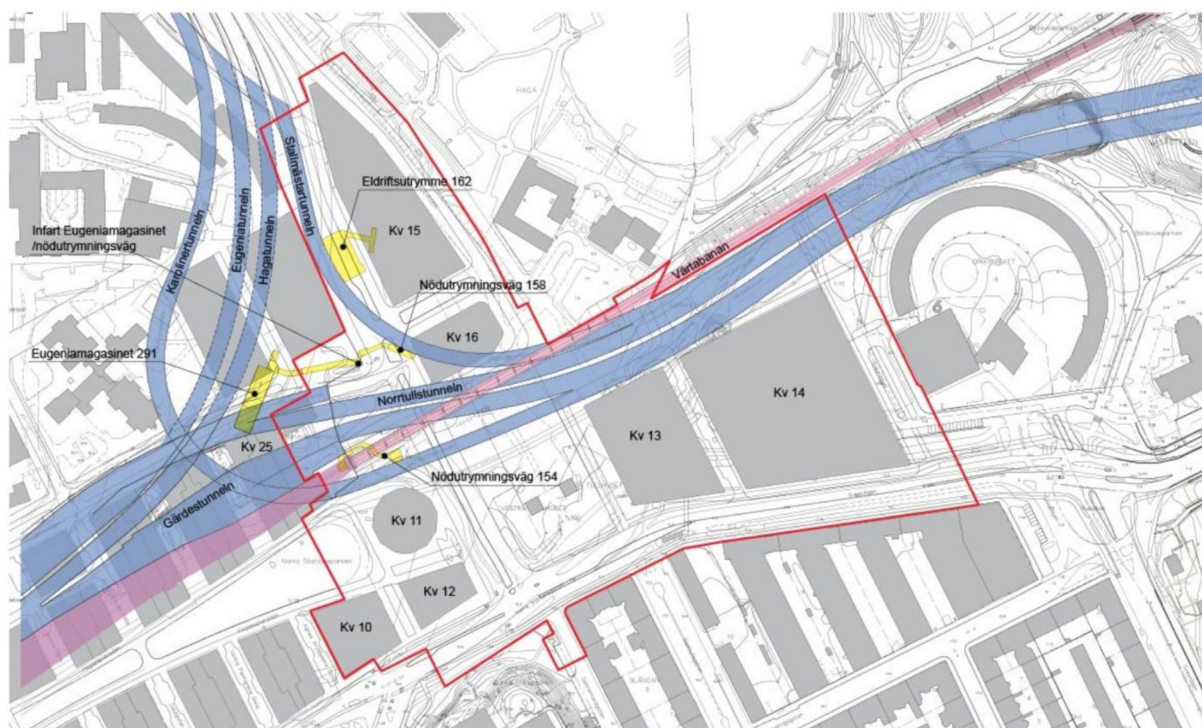
Första sida

Sammanfattning

I östra Hagastaden vid Norrtull finns den historiska tullen och entrén till Stockholm från norr. Området är idag ett hårt trafikerat och svårframkomligt stadsrum utan plats för rekreation och vistelse och där stråken för fotgängare och cyklister är svårlästa och otrygga. Värtabanan passerar genom området på bro och banvall. Under stora delar av planområdet finns tunnlar för Norra Länken.

Detaljplanen syftar till att fullfölja planerna för stadsutvecklingsområdet Hagastaden där den grundläggande stadsbyggnadsidén är att genom en överdäckning av E4/E20 och Värtabanan knyta samman Stockholm och Solna med en tät sammanhållen bebyggelse samt att bättre möta och koppla båda städerna till Nationalstadsparken i öster. Hagastaden som helhet bildar en ny årsring till Stockholms innerstad där ambitionen är att skapa en modern stenstad med innerstadens stadskvaliteter. Detaljplanen för Östra Hagastaden har därför som huvudsyfte att skapa en tät, levande stadsmiljö kring Norrtull samt en värdig entré till Stockholm norrifrån och ett omhändertaget möte med Nationalstadsparken.

Föreliggande rapport innebär en platsspecifik riskbedömning av tänkt utbyggnad enligt planförslaget. Utmärkande utifrån ett riskhanteringsperspektiv är att flera byggnader planeras ovan/intill Norra Länkens tunnelsystem i enlighet med figur nedan.



Rapportens övergripande syfte är att uppfylla de krav på riskhantering som ställs i Plan- och bygglagen. Rapporten syftar även att uppfylla de krav som ställs på riskhantering enligt Trafikverket utgivna vägledningsdokument avseende krav och råd vid överdäckning. Riskbedömningen ska därmed ses som en rekommendation utifrån rådande lagstiftning och riktlinjer och verka som ett beslutsunderlag inför beslutsfattande om markanvändningen enligt utbyggnadsförslaget är lämplig avseende människors hälsa.

Inom riskhanteringsarbetet har stort fokus lagts på att analysera tunnlarnas motståndskraft samt de potentiella konsekvenser som kan uppstå i omgivning vid händelse av en farligt godsolycka i tunnelsystemet. För att hantera riskerna förknippade med explosionsscenarioer i tunnelsystemet har ett särskilt grundläggningskoncept tagits fram för de byggnader som planeras ovan/intill tunnelarna. Grundläggningskonceptet tillsammans med tunnlarnas höra motståndskraft säkerställer ett skydd mot fortskridande ras och kollaps av byggnader för en explosion motsvarande 1 ton TNT (1,6 ton dynamit).

Utredningen påvisar att acceptabla individ- respektive samhällsrisknivåer föreligger inom planområdet. Redogjord riskbild har påvisats robust och okänslig mot ett eventuellt öppnande av Östlig Förbindelse som skulle kunna förändra transportflödet av farligt gods i tunneldelarna som löper genom planområdet. I jämförelse med planläggning i det fria intill motsvarande trafikleder enligt Länsstyrelsen rekommenderade skyddsavstånd kan konstateras att planläggning enligt planförslaget är säkrare. Robustheten i riskbilden bedöms trygga att planerad bebyggelse enligt planförslaget inte ger upphov till något behov av en framtida omklassificering av Norra Länken oavsett eventuell byggnation av Östlig Förbindelse.

Slutsatsen är att planerad utbyggnad kan utföras i enlighet med planförslaget utifrån ett riskperspektiv. Utförd riskbedömning påvisar att planläggning kan ske i enlighet med Trafikverkets vägledningsdokument avseende krav och råd vid överdäckning.

För att säkerställa förutsättningar enligt riskanalysen rekommenderas att följande skyddsåtgärder inarbetas i planhandlingarna/beaktas i det fortsatta planarbetet:

- Kvarter 15 utformas med friskluftsintag som placerat högt och/eller på sida bort från E4/E20:s tunnelmynningar.
- Inga personintensiva lokaler planeras direkt innanför kvarter 15:s fasad som vetter mot E4/E20:s tunnelmynningar. Med personintensiv lokal avses här samlingslokal innehållande mer än 150 personer.
- Byggnadsdel inom kvarter 15 som vetter mot E4/E20:s tunnelmynningar utformas med en obrännbar fasad.
- Byggnadsdel inom kvarter 15 som vetter mot E4/E20:s tunnelmynningar utformas med en alternativ utrymningsväg bort från trafiklederna.
- En skyddszon om minst 20 meter som ej utformas för att uppmuntra till stadigvarande vistelse tillskapas mellan E4/E20:s tunnelmynningar och kvarter 15.
- En skyddszon om minst 10 meter som ej utformas för att uppmuntra till stadigvarande vistelse tillskapas längs med järnvägen Värtabanan och dess tunnelmynning. Gång/cykelstråk kan accepteras inom skyddszon då detta inte anses uppmuntra till stadigvarande vistelse.
- Bebyggelse utmed Värtabanan utformas med friskluftsintag som placeras på sida bort från Värtabanan samt med en alternativ utrymningsväg bort från järnvägen.
- Grundläggning av byggnader ovan/intill tunnel ska ske minst 2 meter från tunnelkonstruktionerna. Ingen lastöverföring får ske mot tunnelkonstruktionerna. Pålar intill tunnelvägg där jordmassa mellan tunnel och påle understiger 4 meter ska dimensioneras för att tåla en horisontell deformation om 200 mm.
- Mellan tunneltak och bärande konstruktionsdelar ska en deformationszon om 1 meter säkerställas. Ej bärande konstruktionsdelar tillåts inom deformationszon.
- Friskluftsintag för kvarter intill järnvägen Värtabanan vänds mot trygg sida.

I samband med fortsatt gestaltning och utformning av allmänplatsmark rekommenderas att hänsyn tas till möjligheterna att reducera suicidrisken med hänsyn till framförhopp från Bellmansterrassen och spårspång.

För att inte påverka säkerhetsnivån negativt i del av kvarter 25 som ingår i aktuell detaljplan men som är planlagd i detaljplan för del av Vasastaden 1:16 m.fl. (Norra Station) ska relevanta skyddsbestämmelser i gällande detaljplan för byggrätten inarbetas i planhandlingar för Östra Hagastaden. Följande skyddsbestämmelser är av vikt att inarbeta i plankartan:

- Krafter från ovanliggande konstruktioner får föras ned genom tunnelväggar. Inga huslaster från konstruktioner får föras ned på tunneltak.
- Inga bärande konstruktioner får placeras närmare än ca 0,6 m från väg- och järnvägstunnel. Denna buffertzona får ingå i garage, parkmark och vägar.
- Friskluftsintag ska vändas ifrån frånluftstorn från Norra länken.

Innehållsförteckning

1	Inledning	6
1.1	Bakgrund och syfte	6
1.2	Underlag	7
1.3	Omfattning och avgränsningar	7
1.4	Definition riskbedömning	8
1.5	Riskhänsyn vid bebyggelse intill farligt godsled och farlig verksamhet	8
1.6	Värdering av risk	10
2	Förutsättningar	14
2.1	Områdesbeskrivning	14
2.2	Norra Länkens (avser ej Hagatunnlarna) säkerhetskoncept	16
2.3	Prognos av trafikflöden samt farligt godstransporter	16
2.4	Grundläggningsprinciper	24
3	Riskanalys	25
3.1	Helikopterverksamheten inom NKS	25
3.2	Suicidrisk – Eugeniavägens avslut mot Uppsalavägen	25
3.3	Farligt godsolycka på E4/E20	26
3.4	Järnvägen Värtabanan	31
3.5	Samlad bedömning	32
4	Diskussion och slutsatser	33
	Referenser	35
	Bilaga A – Konsekvensanalys - explosionsscenarier i Norra Länken	36
	Bilaga B – Fördjupad analys av riskexponering från Värtabanan	54
	Bilaga C – Konsekvensanalys - olycka med brännbar gas i det fria	58
	Bilaga D – Konsekvensanalys - olycka med brandfarlig vätska i det fria	66

1 Inledning

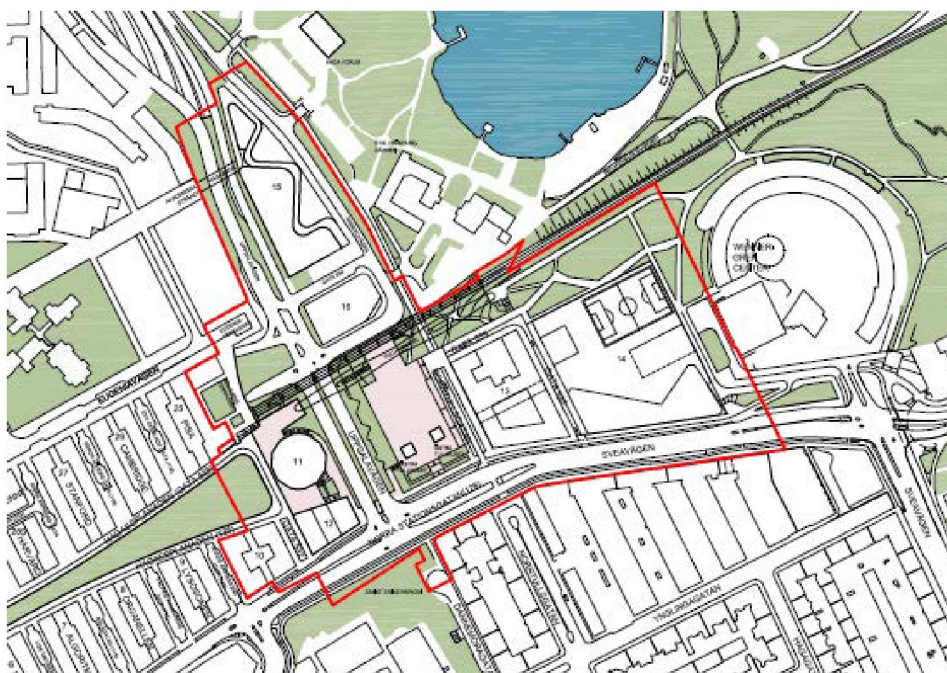
1.1 Bakgrund och syfte

I Stockholmsregionen pågår en snabb befolkningstillväxt. Hagastaden, Stockholms och Solnas gemensamma stadsutvecklingsprojekt, innebär att städerna växer samman genom en överdäckning av E4/E20 och Värtabanan. Sammantaget kommer området rymma ca 50 000 arbetsplatser och ca 6 000 nya bostäder. I östra Hagastaden vid Norrtull finns den historiska tullen och entrén till Stockholm från norr. Området är idag ett hårt trafikerat och svårframkomligt stadsrum utan plats för rekreation och vistelse och där stråken för fotgängare och cyklister är svårlästa och otrygga. Värtabanan passerar genom området på bro och banvall. Under stora delar av planområdet finns tunnlar för Norra länken.

Detaljplanen syftar till att fullfölja planerna för stadsutvecklingsområdet Hagastaden där den grundläggande stadsbyggnadsidén är att genom en överdäckning av E4/E20 och Värtabanan knyta samman Stockholm och Solna med en tät sammanhållen bebyggelse samt att bättre möta och koppla båda städerna till Nationalstadsparken i öster. Hagastaden som helhet bildar en ny årsring till Stockholms innerstad där ambitionen är att skapa en modern stenstad med innerstadens stadskvaliteter. Detaljplanen för Östra Hagastaden har därför som huvudsyfte att skapa en tät, levande stadsmiljö kring Norrtull samt en värdig entré till Stockholm norrifrån och ett omhändertaget möte med Nationalstadsparken.

Planförslagets huvudgrepp är att Uppsalavägen flyttas västerut och inordnas i stadsstrukturen. Uppsalavägen samlar in- och utfartstrafik från staden i ett ordnat gaturum. Del av trafiken leds via Uppsalavägen mot Klarastrandsleden genom tunnelarna under Hagastaden medan den största delen av trafiken möter Norra Stationsgatan i en trevägskorsning. En flytt av Uppsalavägen ger möjligheter att utveckla mötet med Nationalstadsparken med nya gröna ytor samtidigt som parken skyddas från buller genom att utrymme skapas för ny bebyggelse öster om Uppsalavägens nya sträckning.

En översiktbild av detaljplanen presenteras i figur 1.



Figur 1. Översikt av aktuell detaljplan.

Utmärkande utifrån ett riskhanteringsperspektiv är att flera byggnader planeras ovan/intill Norra Länkens tunnelsystem.

Föreliggande rapport innebär en platsspecifik riskbedömning av tänkt utbyggnad enligt planförslaget. Rapportens övergripande syfte är att uppfylla de krav på riskhantering som ställs i Plan- och bygglagen. Rapporten syftar även att uppfylla de krav som ställs på riskhantering enligt Trafikverket utgivna vägledningsdokument avseende krav och råd vid överdäckning. Riskbedömningen ska därmed ses som en rekommendation utifrån rådande lagstiftning och riktlinjer och verka som ett beslutsunderlag inför beslutsfattande om markanvändningen enligt utbyggnadsförslaget är lämplig avseende människors hälsa.

1.2 Underlag

Som underlag för upprättande av denna riskutredning ligger framtagna inledande riskanalys som togs fram i programskedet. Under detaljplanprocessen har inom ramen för projektets riskhanteringsprocess flertalet samordningsmöten med berörda intressenter och myndigheter genomförts för att samla in underlag och förankra planstrukturen utifrån ett riskperspektiv.

1.3 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.

På workshop anordnad av Hagastadsprojektet 2016-02-10, med representanter från Trafikverket, Stockholms Brandförsvär samt Länsstyrelsen, som syftade till att diskutera och fastslå ramarna för det fortsatta riskhanteringsarbetet konstaterades att det är olämpligt att involvera riskerna för trafikanter vid bedömning av risknivåer för omgivningen utanför tunnelkonstruktioner. Med stöd från resultatet av workshopen avgränsar sig denna riskutredning till att endast omfatta påverkan på människor utanför omgivande tunnelsystem, d.v.s. tredje man.

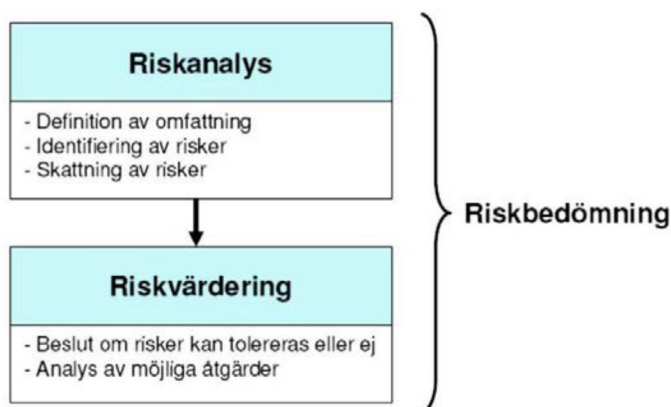
Del av kvarter 25 som ingår i aktuell detaljplan men som är planlagd i detaljplan för del av Vasastaden 1:16 m.fl. (Norra Station) i stadsdelen Vasastaden i Stockholm berörs inte närmare i föreliggande utredning. För att inte påverka säkerhetsnivån negativt ska relevanta skyddsbestämmelser i gällande detaljplan för byggrätten inarbetas i planhandlingar för Östra Hagastaden. Följande skyddsbestämmelser är av vikt att inarbeta i plankartan:

- Krafter från ovanliggande konstruktioner får föras ned genom tunnelväggar. Inga huslaster från konstruktioner får föras ned på tunneltak.
- Inga bärande konstruktioner får placeras närmare än ca 0,6 m från väg- och järnvägstunnel. Denna buffertzonen får ingå i garage, parkmark och vägar.
- Friskluftsintag ska vändas ifrån frånluftstorn från Norra länken.

1.4 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.



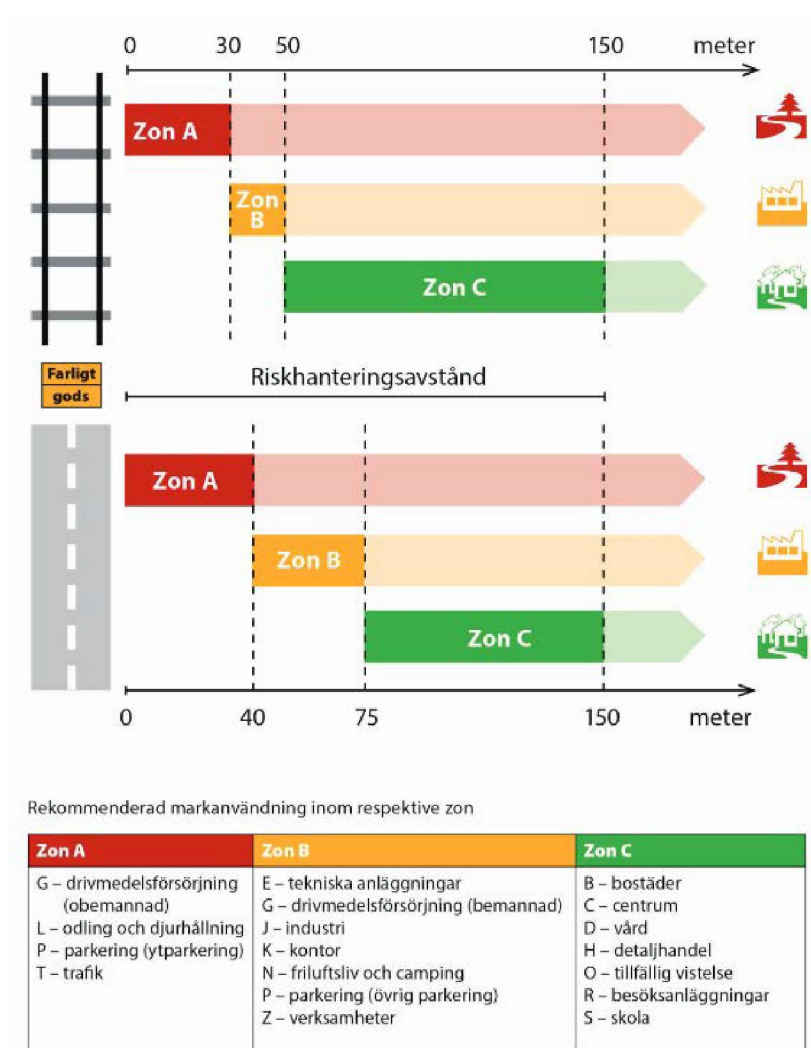
Figur 2. Definition av riskbedömning enligt IEC.

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

Riskvärderingen baseras på resultatet av riskanalysen 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.

1.5 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].

För primära farligt godsleder såsom Essingeleden 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. 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 planändren. 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.

1.6 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, liksom 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 riskkällas 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 riskmått gällande 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. Kriterierna föreslås även utgöra grund för bedömning av acceptabel risk i samband med överdäckningar enligt Trafikverkets vägledningsdokument *Krav och råd för överdäckningar och säkerhet vid användning* [5].

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.

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.

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.

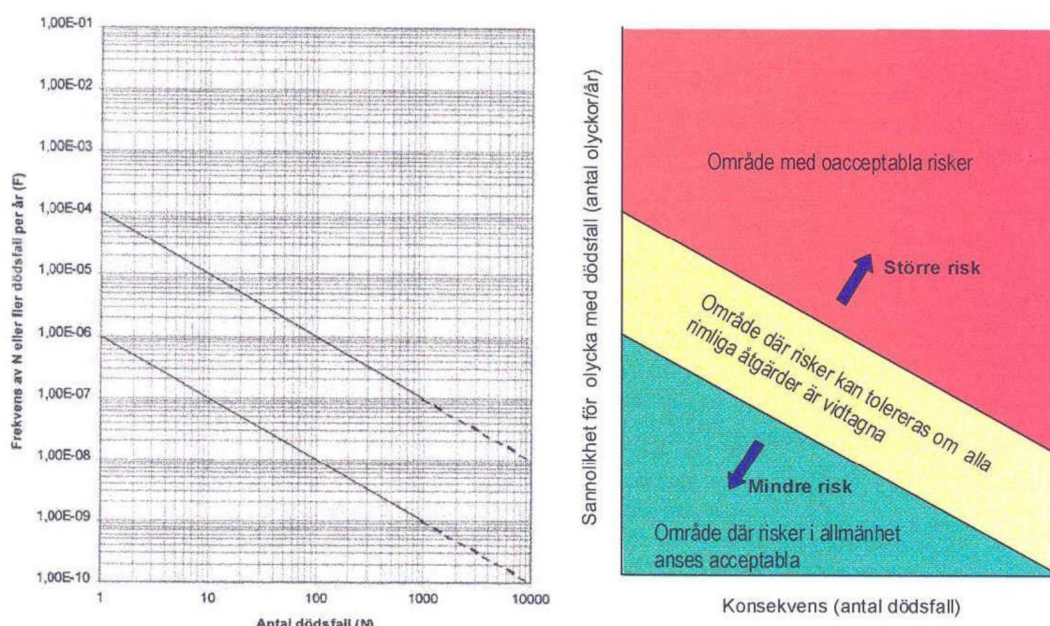
För individrisk föreslår Räddningsverket [4] följande kriterier:

- 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.

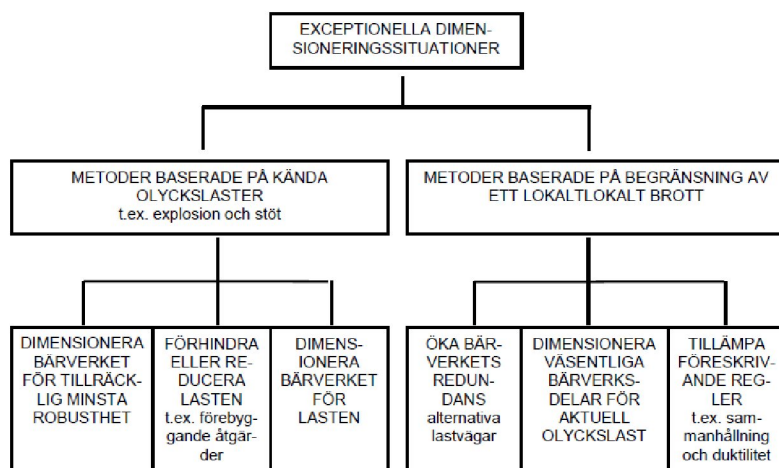
Ovanstående kriterier grundar sig i att en sträcka om motsvarande 1 km studeras.

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

Enligt Trafikverkets vägledningsdokument *Krav och råd för överdäckningar och säkerhet vid användning* tydliggörs vidare att förhållanden för bebyggelse ovanpå en överdäckningsanläggning, vad gäller skydd mot olägenheter och olyckor, ska vara likvärdig som för bebyggelse intill motsvarande trafikled i ytläge.

1.6.1 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 10.

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 2015:6). 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 10.

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 av 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. Vid planläggning ovan/intill tunnlar intill farligt godsleder där explosionsrisk bedöms föreligga 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 är idag ett hårt trafikerat och svårframkomligt stadsrum utan plats för rekreation och vistelse och där stråken för fotgängare och cyklister är svårlästa och otrygga. Värtabanan passerar genom området på bro och banvall. Under stora delar av planområdet finns tunnlar för Norra länken.

Planläggning av området syftar till att skapa en sammanhållen stadsmiljö med tydliga och trygga samband till Nationalstadsparken, institutionsområdena inom Vetenskapsstaden, Solna samt övriga delar av Hagastaden och Vasastaden. Detaljplanen möjliggör en stadsutveckling med stor blandning av funktioner, såsom skola, idrottsplats, torg, park, centrumverksamhet, arbetsplatser och bostäder. En översikt av planområdet och innehållet presenteras i figur 7.



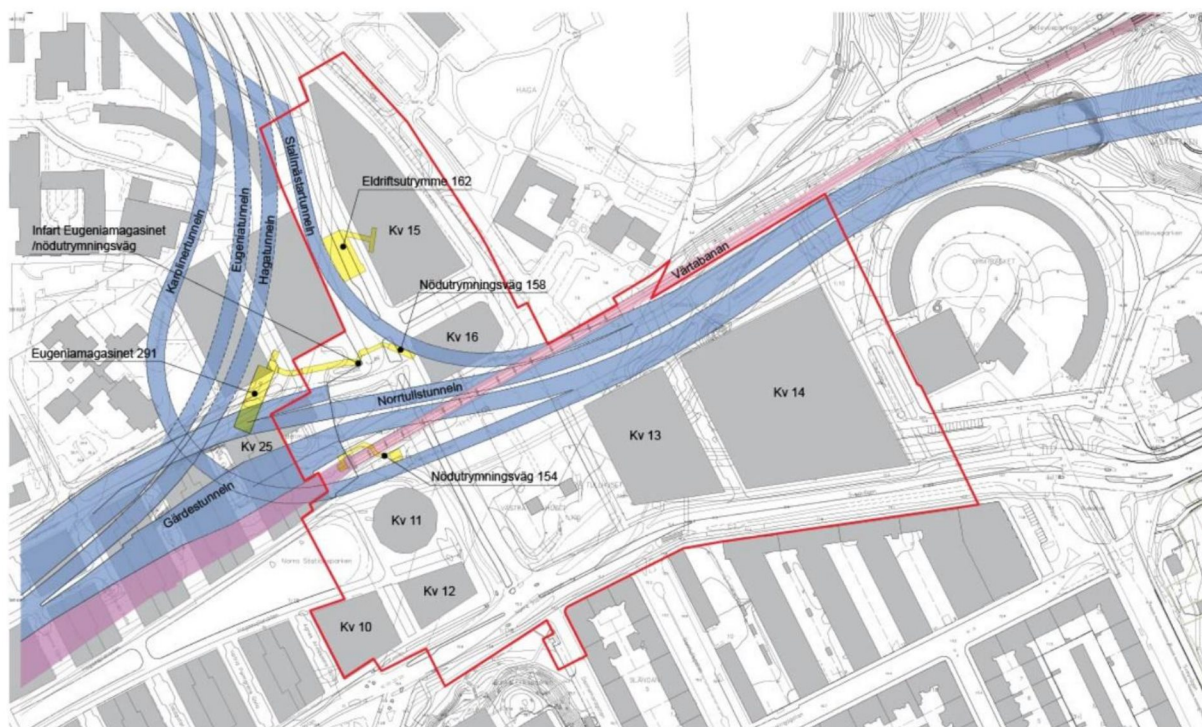
Figur 7. Översikt av planområdet i förhållande till näromgivningen. Källa: White arkitekter.

I tabell 1 återges en mer detaljerad beskrivning av total BTA inom respektive kvarter.

Tabell 1. Beskrivning av BTA inom respektive kvarter.

Byggaktör	Kvarter	Ändamål	Totalt BTA
Humlegården	10	B	13627
HSB	11	K	13277
HSB	12	BK	14100
Micasa	13N	VB	8145
Svenska Bostäder	13S	SB	17006
SISAB		Skola	13626
		Idrott	2600
		Förskola	1200
Atrium Ljungberg	15	K	24500
NCC	16	OK	13500

Genom planområdet löper järnvägen Värtabanan på bro och banvall. Flera byggnader planeras ovan/intill Norra Länkens tunnelsystem (E4/E20) som löper genom planområdet. I figur 8 åskådliggörs planerade byggnader i förhållande till angränsande befintlig infrastruktur tillsammans med förklarande beskrivning om förutsättningarna.



Figur 8. Översiktsbild av Norra Länkens tunnelsystem i förhållande till planerade fastigheter. Kvarter 15 angränsar i norr till för E4/E20 där avståndet från Stallmästartunnelns mynning uppgår till ca 20 meter och över 40 meter till E4/E20 huvudkörbanor. Kvarter 16 är placerad ovan Stallmästartunneln och på ett avstånd om ca 15 meter till Värtabanan där denna går på bro. Kvarter 11 och 13 grundläggs intill Norra Länkens huvudkörbanor österut i riktning mot Norra Djurgårdsstaden. Avstånd från kvarter 11 till Värtabanan uppgår till ca 25 meter där denna går på bro medan kvarter 13 ligger ca 30 meter från Värtabanan där denna går på banvall. Kvarter 14 kommer uppföras på ett större avstånd från Värtabanan respektive Norra Länkens tunnelsystem. Marken mellan tunnelmynningar i norr och kvarter 15 planeras för att ej uppmuntra till stadigvarande vistelse i ett led att minimera persontätheten inom de områden kring mynningarna som är riskutsatta.

Värtabanan som löper genom området är namnet på den enkelspåriga järnvägssträcka som går mellan Tomtebodan och Värtahamnen samt Frihamnen och Loudden. I och med intunnlingen av vägarna under Hagastaden däckas, likt vägtunnelarna, även Värtabanan över mellan Solnavägen och Norrtull. Värtabanan går i det fria på bro över Uppsala vägen. I höjd med Stallmästaregården i Solna går spåret över på banvall. Den nya järnvägsbron har utförts med urspårningsskydd i enlighet med Trafikverkets (tidigare Banverkets) föreskrifter BVF 586.65. Urspårningsskyddet utgörs av förhöjd kantbalk som syftar till att förhindra att en urspårad vagn hamnar utanför spårområdet d.v.s. järnvägsbron. Hagastadsprojektet har vidare förlängt urspårningsskyddet från järnvägsbron på den del av Värtabanan som går på banvall förbi planområdet. Banan är vidare försedd med hastighetsreglerande säkerhetssystem (ATC) med syfte att förbygga kollisioner mellan tåg.

Hastighetsbegränsningen på banan är generellt 70 km/h. Värtabanan utgör ett riksintresse och det finns inga restriktioner avseende farligt godstransporter. Järnvägssträckan förbi planområdet utgörs av rakspår utan växlar eller plankorsningar. Sträckan (inklusive där Värtabanan går på bro) genom planområdet understiger 500 meter.

2.2 Norra Länkens (avser ej Hagatunnslarna) säkerhetskoncept

Säkerhetskonceptet i sin helhet finns beskrivet i framtagna säkerhetsdokumentationen för tunnelsystemet. De viktigaste delarna av säkerhetskonceptet som berör planerad planläggning är att ett fast brandbekämpningssystem finns installerat samt att tunnelkonstruktionernas bärighet och motståndskraft mot brand och explosioner utgår från riktlinjer i TRVK Tunnel 11.

Tunnelkonstruktionerna är dimensionerade efter den så kallade hydrokarbonkurvan (HC-kurvan) med varaktighet om 180 minuter inklusive avsvälning samt med hänsyn till risken för spjälkning (polypropylenfiber har tillsatts i betongsammansättningen), vilket innebär ett tillfredställande skydd mot allvarligt brandförlopp, såsom exempelvis brand i tankbil innehållande drivmedel.

Dimensionering av dynamisk last (effekt från explosionsförlopp) utgår från tryck och impulslaster åskådliggjorda i figur 9.

	Tryck (MPa)	Varaktighet (ms)
Jämnt fördelat tryck i trafikutrymme	0,1	50
Lokalt tryck på en yta med storleken 4 x 4 m i trafikutrymme	5	2
Jämnt fördelat tryck i utrymnings- och angreppsväg	0,05	50

Figur 9. Dimensioneringsförutsättningar av dynamisk explosionslast enligt TRVK Tunnel 11.

2.3 Prognos av trafikflöden samt farligt godstransporter

2.3.1 Prognos av trafikflöden

Det är stor osäkerhet när det gäller den framtida trafikutveckling inom Norrtullområdet, detta då de framtida trafikflöden styrs av byggnation och öppnandet av Förbifarten samt den eventuella byggnationen av Östlig Förbindelse. Öppnandet av Förbifarten kommer hjälpa till att avlasta norrtullområdet, primärt vad gäller den tunga genomfartstrafiken. Om Östlig förbindelse kommer till stånd förväntas trafikmängden i tunnels östra delar (de tunnelavsnitt som primärt berör aktuell detaljplan) att öka. Det bör noteras att Trafikverket har avvecklat projekt Östlig Förbindelse då den inte längre ingår i den nationella planen samt blivit avvisad finansiering av Sverigeförhandlingen. Tillgängliga trafikprognoser för 2040 beaktar således inte Östlig Förbindelse.

2.3.2 Farligt godstransporter

E4/E20 utgör en av de mest trafikerade vägarna i Sverige. Vid Norrtull delar sig vägarna, E4 går norrut, medan E20 fortsätter vidare österut mot Värtan. E4/E20 utgör primär transportled för farligt gods.

Den godkända säkerhetsdokumentationen för Norra Länken utgår från uppgifter om mängder farligt godstransporter hämtade från Räddningsverkets kartläggningar i [6] [7] samt uppgifter om lokala förhållanden. En sammanställning av inventeringen presenterad i figur 10.



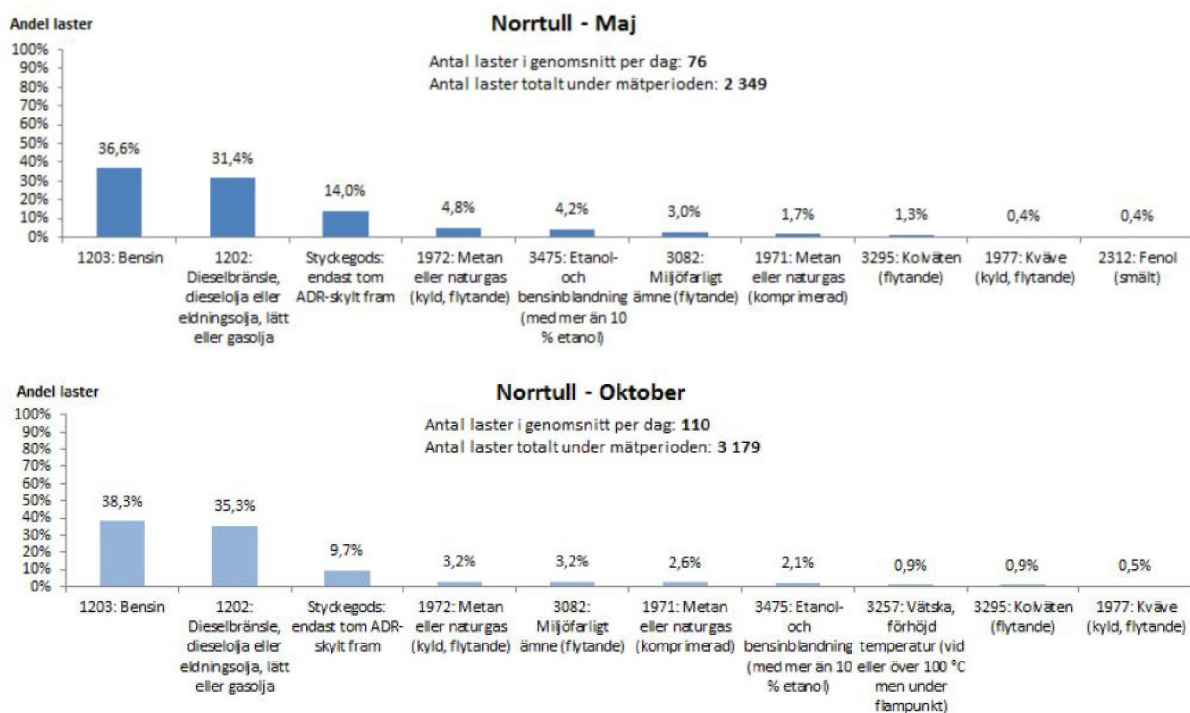
Klass	Typ av farligt gods	Antal Transporter/år	
		Norra Station	Norra Länken (Lidingövägen)
1	Explosiva ämnen och föremål (E 20 nästan bara klass 1.4)	1687	34
2.1	Brandfarliga gaser	380 +1200	89+1200
2.2	Ikke brandfarliga, icke giftiga gaser	2200	414
2.3	Giftiga gaser	3	43
	Aerosoler (sprayfärg mm)	-	672
3	Brandfarliga vätskor	20753	16190
4.1	Brandfarliga fasta ämnen, självreaktiva ämnen och okänsliggjorda explosivämnen	193	147 (totalt)
4.2	Självtändande ämnen	16	
4.3	Ämnen som utvecklar brandfarlig gas vid kontakt med vatten	93	
5.1	Oxiderande ämnen	149	349
5.2	Organiska peroxider	1	
6.1	Giftiga ämnen	526	228
	Smittförande ämnen	193	
7	Radioaktiva ämnen	5	-
8	Frätande ämnen	1360	1763
9	Övriga farliga ämnen och föremål	1190	1377
Alla klasser		30912	22610

Figur 10. Sammanställning av indata vad gäller farligt godstransport enligt Norra Länkens säkerhetsdokumentation.

Staden tillsammans med Trafikverket har under maj och oktober 2015 utfört mätningar av farligt gods transporter analyserat flödet av farligt gods inom på omkring 15 platser i Stockholmsregionen [8].

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.

Från mätningarna tydliggörs att majoriteten av farligt godstransporterna utgörs av brandfarliga vätskor samt styckegods. Detaljerat underlag för mät punkt Norrtull presenteras i figur 11.



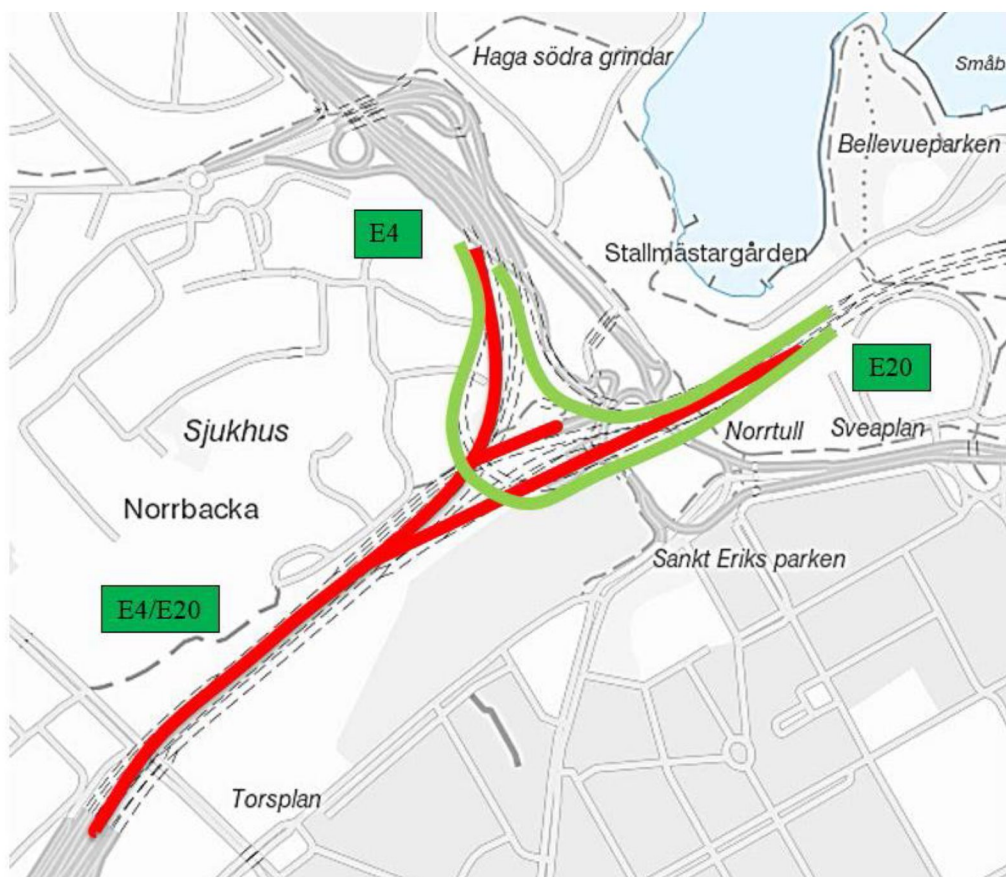
Figur 11. Fördelning av farligt godstransporter per ämnesklass för trafikplats Norrtull. Av

Bortser man från kategorien styckegods som ej har inkluderat i den sammanställning som tagits fram för Norra Länkens riskutredning, kan konstateras att insamlat data relativt väl överensstämmer med mängderna erhållna från mätningarna.

Inom ramen för Trafikkontorets rapport "FARLIGT GODS - TRAFIKSTYRNING Ökad kunskap om farligt gods och förutsättningar för styrning av transporterna" genomfördes intervjuer med branschföretag för att erhålla en bättre bild av transportflödet av explosivt material inom Stockholmsregionen. Utifrån de intervjuer som genomfördes under 2017 framkommer att omfattningen av klass 1 transporter inom staden uppgår till ca 10 – 12 transporter, där lasten uppgår till 3 – 400 kg vardera. En ytterligare slutsats från intervjuerna är att de större transporterna, över 1 ton, inte passerar Mälarsnittet särskilt ofta. Rapporten redovisar vidare att majoriteten av transporterna sker innan kl. 07:00.

1.1.1.1 Framtidsprognoser avseende farligt godstransporter på vägnätet.

Länsstyrelsen har beslutat om att ge Norra länken, delen under Hagastaden, tunnelkategori B med ett undantag om transporter av ADR-klass 2 klassificeringskoderna F, TF och TFC. Detta innebär att samtliga transporter, utöver transporter av brandfarlig gas, som vid olycka kan generera en mycket stor explosion förbjuds genom del av Norra Länken, i enlighet med figur 12.



Figur 12. Utpekad B-tunnelklassificering med undantag för ADR-klass 2 för Norra Länken.

Som tydliggörs i figur 8 gäller inte förbudet i den östra delen av Norra Länken, utan denna del är A-klassad (inga restriktioner avseende farligt godstransporter). Antalet transporter av farligt gods genom den östra delen av Norra Länken styrs av de lokala verksamheternas behov och utvecklingen av Norra Djurgårdsstaden.

Utbyggnaden av Norra Djurgårdsstaden innebär att vissa verksamheter som idag bedrivs på Loudden och i Frihamnen vilka genererar betydande farligt godstransport på Norra Länken kommer att avvecklas och omlokaliseras till andra platser i Stockholmsregionen. Följande verksamheter berörs:

- Oljedepå, Loudden – avvecklas
- Containerterminal, Frihamnen – avvecklas
- Reningsanläggning med biogasframställning, Loudden – avvecklas
- Reservanläggning för LNG, Frihamnen – avvecklas

Avvecklingarna innebär främst att antalet transporter av brandfarlig vätska, ADR klass 3, drastiskt kommer att minska. Efter att Loudden har avvecklats år 2020 finns ett förslag som möjliggör Stockholm Hamnars framtida bunkringsbehov inom Energihamnen. Uppgifter från Stockholm Hamnar [9] tydliggör att följande mängder kan komma att behöva lagras inom Energihamnen:

- 2 cisterner för Heavy Fuel Oil på minimum 14 000 m³
- 2 cisterner för brännolja respektive diesel på minimum 4 800 m³
- 1 cistern för bensin på minimum 1 200 m³
- LNG-transporter (3 transporter 6 dagar i veckan). Transportantalet kan komma att dubblas enligt uppgifter från Stockholms Hamnar.

Bränsletransporter till depån kommer i huvudsak att ske med fartyg och i mindre omfattning med tankbilar. De farligt godstransporter på väg som den framtida utvecklingen av Energihamnen kan förväntas ge upphov till utgörs av redogjorda LNG-transporter samt ett mindre antal tankbilstransporter av brandfarlig vätska ut till närliggande verksamheter såsom exempelvis sjömackar.

Kvarvarande verksamheter som förväntas ge upphov till farligt godstransporter genom den östra delen av Norra Länken utgörs främst av Stockholm Hamnars verksamhet (Värtahamnen och planerad verksamhet inom Energihamnen), Värtaverket samt lokala verksamheter på Lidingö (drivmedelstationer, Lidingöverket, Käppalaverket, Lotrec AB samt Bigner & Co) som utgör måladresser och ger upphov till farligt godstransporter genom den östra delen av Norra Länken.

Några målpunkter som genererar farligt godstransporter i motsatt håll har inte kunnat identifierats efter det att Loudden och containerterminalen avvecklats, d.v.s. från Norra Djurgårdsstaden och västerut mot Hagastaden.

Beroende av tunnelklassificeringen av Östlig förbindelse som kommer knyta samman Södra Länken med Norra Länken kan det framtida farligt godsflödet komma att påverkas västerut i riktning mot Hagastaden. Den tunga genomfartstrafiken avseende farligt gods kan dock framgent förutsättas ske genom Förbifarten, vilken har projekterats med ett säkerhetskoncept som ska möjliggöra acceptans för alla typer av farligt godsclasser.

2.3.2.1 På- och avfartsramper

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 t.ex. att på- och avfartsramperna mellan E4/E20 och Uppsalavägens fortsättning mot Norra stationsgatan också utgör primära transportleder för farligt gods. Uppsalavägen och Norra stationsgatan i sig är däremot inte klassade som transportleder för farligt gods (varken primär eller sekundär).

Antalet transporter på ramper som ansluter till vägar som inte utgör farligt godsleder är huvudsakligen beroende av förekomsten av lokala verksamheter utmed anslutande vägar. Det har inte identifierats några verksamheter som bedöms generera mer än enstaka transporter med farligt gods på omgivande vägar. Enligt Länsstyrelsens föreskrifter [10] 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 Uppsalavägens fortsättning Norra stationsgatan.

2.3.2.2 Omledningsvägnät

Trafikverket, Stockholm stad samt Solna stad har upprättat ett avtal gällande omledning för den aktuella sträckan av E4/E20 [11]. 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 (Drottningsholmsvägen), väg 279 (Ulvsundavägen) och E18 (Kymplingelänken). Därmed planeras ingen omledning av farligt godstransporter via ytvägnätet i direkt anslutning till det studerade området.

2.3.3 Transporter på Värtabanan

På Värtabanan transporteras endast gods. Det finns inga restriktioner för vilka farligt godsklasser och mängder som får transporteras på Värtabanan, utan detta styrs av målpunkternas verksamhet. Med stöd från detta anses det inte vara lämpligt att utgå från generell statistik baserat på kartläggningar över de stora transportstråken vid riskbedömning. Prognoser tillhandahållna av Trafikverket¹ för år 2030 påvisar ett transportflöde om 5 tågset per dygn. Senare uppgifter för 2040 indikerar ett transportflöde om 10 tågset per dygn. Efter avvecklingen av Loudden och Containerterminalen kommer Värtabanans anslutningar mot Frihamnen respektive Loudden att avvecklas. Järnvägstransporter på Värtabanan kommer framgent att ske till Värtahamnen respektive Energihamnen, varav majoriteten kan förutsättas vara transporter av biobränsle till Värtaverket och i mindre utsträckning till Cementa och Stockholms Hamnar.

Som det ser ut idag är det enbart reguljär färjetrafik (passagerarfartyg) som samlas med viss mängd gods (så kallade ROPAX), vilka trafikerar hamnverksamheten. 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.

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.

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 godshantering till Norvik anses en utveckling som innebär en betydande ökning av farligt godstransporter på Värtabanan som osannolik. Tas hänsyn till att det inom Energihamnen skulle kunna bli intressant att flytta över viss del farligt godshantering från fartyg och lastbil till järnväg, rör det sig om transporter innehållande brandfarlig vätska klass 3. Sådana vätskor är förknippade med en hög flampunkt (>55 °C) och en väldigt låg sannolikhet för antändning givet utsläpp till atmosfären. Inte heller detta är någon sannolik utveckling, med avseende på att infrastruktur inom Energihamnen ej är/planeras att anpassas för lossning/lastning via järnvägen.

Utifrån ovanstående genomgång kan konstateras att farligt godstransporter i någon betydande utsträckning ej är att vänta på Värtabanan.

2.3.4 Restriktioner vad gäller 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 [12], 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 3 följer de viktigaste restriktionerna avseende människors säkerhet:

Tabell 2. Restriktioner avseende farligt godshantering i [12].

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

¹ Uppgifter från Cecilia Häckner på Trafikverket erhållna på mejl 2015-12-18



	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 massexlosion 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 massexlosion. 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	Icke 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.

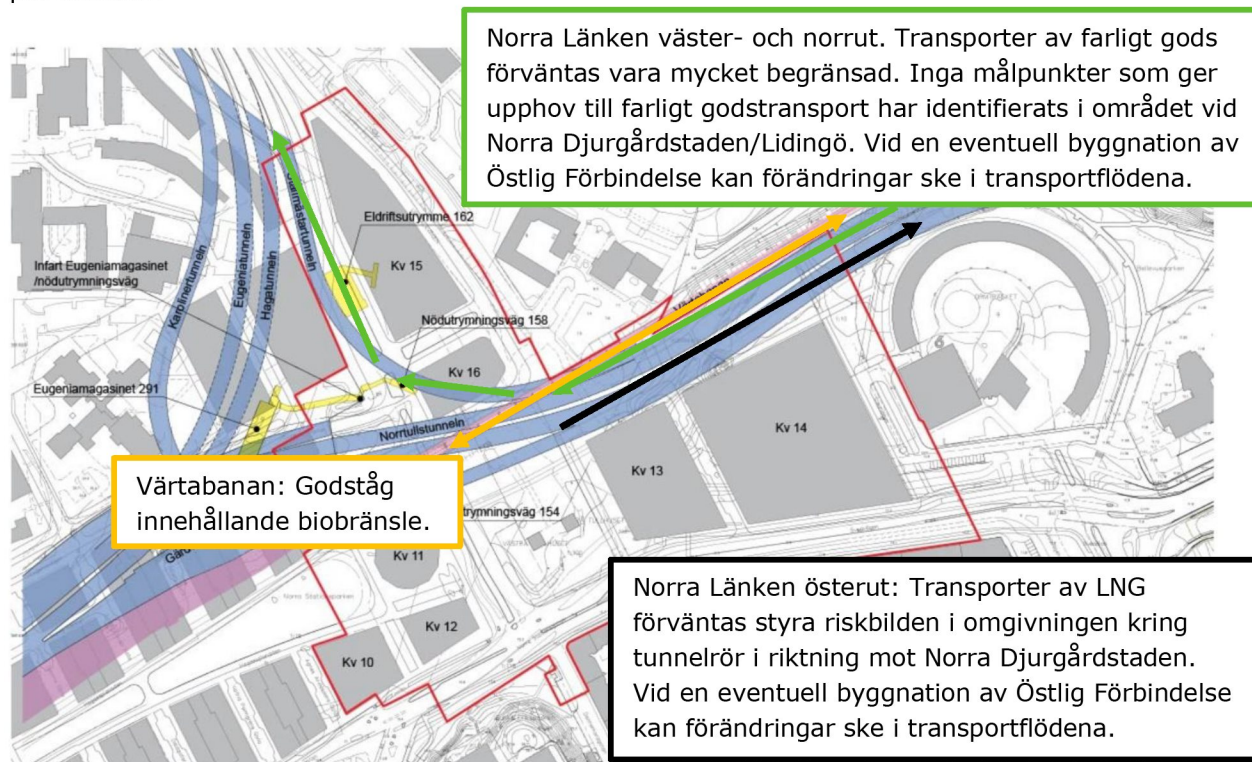
Gällande restriktioner innebär att de farligt godsklasser som är förknippade med större konsekvenser på omgivningen givet olycka t.ex. massexplosiver samt brännbar och giftig gas är förbjudna inom Värtahamnen.

2.3.5 Sammanställning av farligt godsflöden inom planområdet

Utifrån sammanställningen av farligt godsflöden kan följande slutsatser dras:

- Antalet transporter av explosivämnen genom Norra Länkens östra delar kan förutsättas mycket begränsad om inte obefintligt sett till målpunkternas farligt godshantering. Rådande tunnelklassificering inom del av Hagastaden medför ett förbud av genomfartstrafik av större transporter med explosivämnen i riktning som kommer söderifrån.
- Styrande gällande explosionsförlopp som kan ske i tunnelsystemet kan förutsättas vara olyckor involverande LNG. Primärt gäller det i tunnelrör österut i riktning mot Norra Djurgårdsstaden.
- Efter det att bränsledepån i Loudden och containerterminalen i Frihamnen avvecklats förutsätts farligt godstransporterna västerut från Norra Djurgårdsstaden i riktning mot Hagastaden vara mycket begränsad. Inga målpunkter har identifierats som genererar farligt gods i denna riktning från Norra Djurgårdstaden/Lidingö. Endast i det fall att Östlig Förbindelse utförs förväntas denna situation förändras. Det bör noteras att Trafikverket har avvecklat projekt Östlig Förbindelse då den inte längre ingår i den nationella planen samt blivit avvisad finansiering av Sverigeförhandlingen. Tillgängliga trafikprognoser för 2040 beaktar således inte Östlig Förbindelse.
- På järnvägen Värtabanan förväntas i princip inga farligt godstransporter utifrån att det inte finns några målpunkter i hamnområdet som ger upphov till detta. Primärt förväntas biobränsle till Stockholm Exergis verksamhet styra transportantalet på banan. Sett till aktuella målpunkternas verksamhet finns inget som indikerar att det skulle bli förändringar i transportflödet.

I figur 13 presenteras en översiktlig sammanställning av transportflöden i förhållande till föreslagen planstruktur.



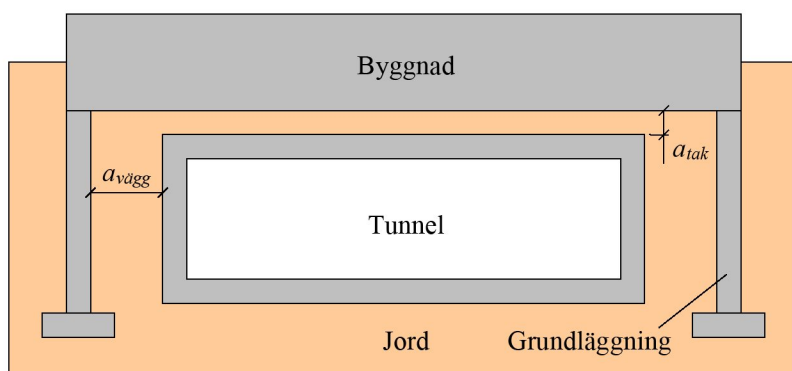
Figur 13. Översiktlig sammanställning av transportflöden på infrastrukturen i planområdet i förhållande till föreslagen infrastruktur.

2.4 Grundläggningsprinciper

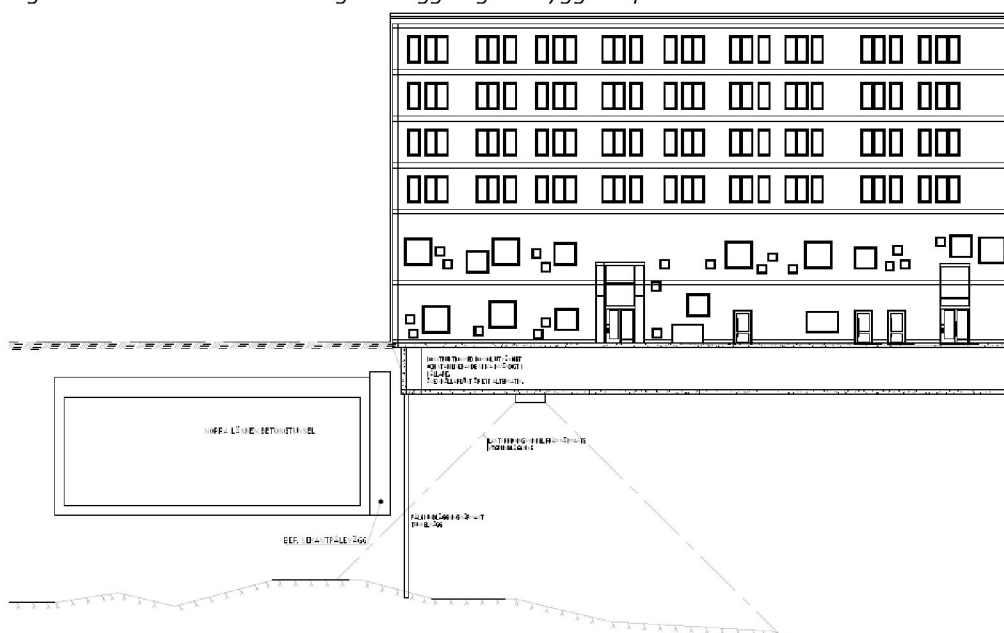
Inom ramen för riskhanteringsprocessen togs tidigt en fördjupad analys fram vad gäller konsekvenser av explosionsförlopp i berörda tunnlar och möjliga skyddsprinciper, se Bilaga A. Belysta skyddsprinciper har sedan legat med som en förutsättning för byggaktörernas skissupdrag för att säkerställa genomförbarheten av föreslagna skyddsprinciper. Detta i kombination med att tunnelkonstruktionerna inte är förberedda för att hantera någon tillkommande last från ovanliggande bebyggelse har mynnat ut i principiellt grundläggningskoncept som grundar sig på följande:

- Grundläggning sker via pålning intill tunnel för att säkerställa att ingen lastöverföring sker
- Grundläggning sker minst 2 meter från tunnelkonstruktionerna.
- Mellan tunneltak och bärande konstruktionsdelar tillskapas en deformationszon för att möjliggöra att de tunnelrörelser som kan uppstå vid explosion ej påverkar byggnadens globala stabilitet.
- Pålarna intill tunnelvägg där jordmassa mellan tunnel och påle understiger 4 meter dimensioneras för att tåla förväntade jordrörelser som analyserade explosionsscenarioer kan ge upphov till.

Grundläggning ovan/intill tunnelsystemet kommer att ske enligt schematisk skiss presenterad i figur 14 och 15.



Figur 14. Schematisk skiss av grundläggning för byggnad placerad direkt ovanför tunnelsektion.



Figur 15. Schematisk skiss av grundläggning för byggnad placerad intill tunnelsektion.

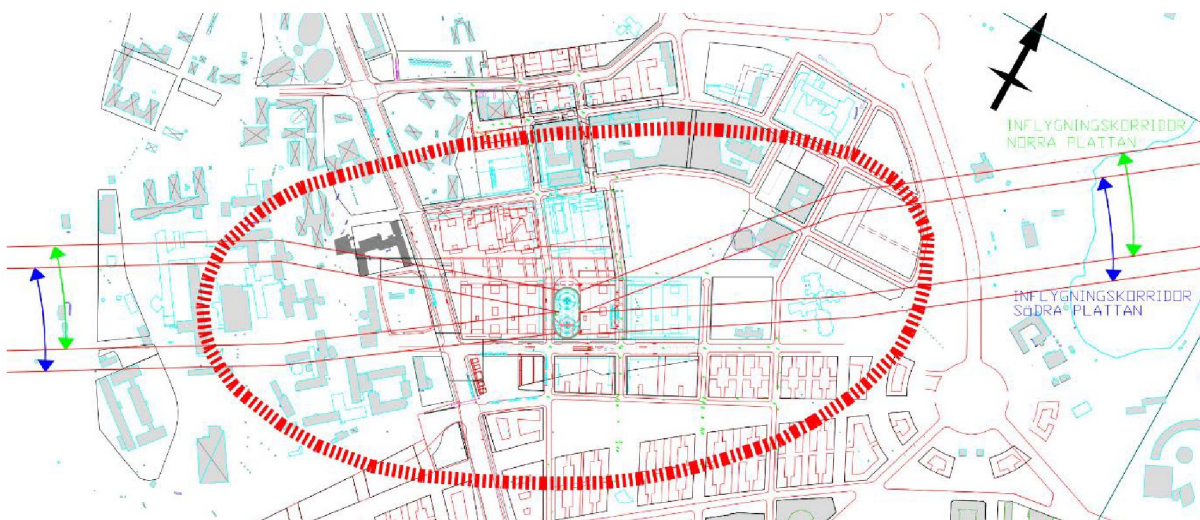
3 Riskanalys

Inom planområdet har följande riskkällor identifierats som relevanta att analysera via riskanalys:

- Suicidrisk
- Helikopterhaveri
- Urspårning, brand och farligt godsolycka på Värtabanan
- Farligt godsolycka på E4/E20
 - i Norra Länken
 - i det fria vid mynning
 - påverkan från avluftstorn

3.1 Helikopterverksamheten inom NKS

Risken exponeringen förknippad med helikopterverksamheten har utretts tidigare inom ramen för ny detaljplan NKS och inför inrättande av ny helikopterflygplats [13]. 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 Hagastaden. Aktuellt planområde ligger vidare på ett relativt stort avstånd från helikopterplattan där risken för olyckor är som störst samt ligger flygkorridoren i stort sett utanför planområdet, se figur 16. Givet förutsättningarna bedöms riskbidraget från helikopterverksamheten inom planområdet vara mycket litet och analyseras därför inte vidare.



Figur 16. Översikt av flygkorridor för helikopterverksamheten inom NKS. Notis: Underlagskartan är gammal och visar ett icke gällande förslag på struktur kring Norrtull.

3.2 Suicidrisk – Eugeniavägens avslut mot Uppsalavägen

Höjdskillnader och brokonstruktioner där människor kan vistas nära trafikanläggningar på en högre höjd innebär generellt en förhöjd risk för suicid. Inom ramen för framtagandet av detaljplanen har ett arbete bedrivits tillsammans med socialstyrelsens specialister vad gäller suicidprevention som input för utformning av allmänplats intill järnvägen Värtabanan samt Bellmansterrassen som angränsar Uppsalavägen och tunnelmynningar till Klarastrandsleden på högre höjd. Allmänplats intill dessa platser med förhöjd risk för suicid kommer gestaltas och utformas med belysning för att skapa en ökad trygghetskänsla. Avskärmande barriärer med fokus på att förhindra/försvara spårspjäll/framförhopp kommer tillskapas mellan terrasserna som ligger på höjd ovan tunnelmynning och vidare längs med Värtabanan där denna går på banvall intill parkmark. Det är

givetvis svårt att helt bygga bort risken för suicid, men inom ramen för planarbetet har aktiva åtgärder vidtagits för att minska riskerna.

3.3 Farligt godsolycka på E4/E20

3.3.1 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 [14]. 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 3 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 3. 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>	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. 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.



Klass 2.1 Brandfarliga gaser <i>Kväve, gasol, vätgas etc.</i>	En olycka med farligt gods i klass 2.1 kan få olika skadeverkan. <i>Jetflamma</i> – En jetflamma bildas om utströmmande gas under tryck antänds direkt. Störst blir olyckseffekten (flammans längd) om utsläppet sker i vätskenivå. Människor kan förolyckas genom hög värmestrålning. <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. <i>BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)</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.

3.3.2 Farligt godsolycka i Norra Länkens tunnelsystemet

E4/E20 löper genom planområdet i Norra Länkens tunnelsystem. Tunnlarna är ej förstärkta på något sätt med hänsyn till planerad bebyggelse utan tunneldelar av Norra Länken inom planområdet är utförda enligt tunnellenormen. Sett till hur tunnlar är utformade kan konstateras att tunnlar medför ett tillfredställande skydd mot påverkan i omgivningen för alla typer av farligt godsolyckor förutom explosionsscenarioer. För att kunna avgöra hur en eventuell explosion till följd av en farligt godsolycka kan påverka planerad bebyggelse har en fördjupad konsekvensanalys av explosionsscenarioer i tunnelsystemet tagits fram, se Bilaga A. Den fördjupade konsekvensanalysen syftar till att analysera konsekvenserna av explosion, med avseende på tunnelomgivande byggnader samt ge vägledning på skyddskoncept av de till tunnelsystemet närliggande byggnaderna. Följande explosionsscenarioer omfattas av analysen:

- Gasmolnsexplosion
- BLEVE
- Detonation från 1 ton TNT

Den fördjupade konsekvensanalysen påvisar att tunnelkonstruktionerna har en hög motståndskraft mot explosionsscenarioer. Sett till tunnelkonstruktionernas utformning förväntas potentiella konsekvenser av större explosioner ha en mycket lokal påverkan i omgivningen. Analysen påvisar vidare att vissa skyddsåtgärder är nödvändiga för att säkerställa att inte byggnader ovan/intill tunnelsystemet riskerar att kollapsa givet explosion. Med utgångspunkt i redogjorda skyddsprinciper har det principiella grundläggningskoncept som presenterats i avsnitt 2.4 tagits fram. Grundläggningskonceptet i kombination med tunnlaras motståndskraft säkerställer ett skydd mot fortskridande ras och kollaps av bebyggelse som planeras ovan/intill Norra Länkens tunnelsystem. Bortsett från att människor i lokaler direkt ovan tunneltaket inom kvarter 16 riskerar att komma till skada vid en explosion om 1 ton TNT (motsvarande 1,6 ton dynamit)/BLEVE som inträffar i höjd med byggnaden skapas ett totalskydd mot påverkan inom planerad bebyggelse.

Värt att tillägga är att det inte förväntas några transporter av klass 1.1 varor i aktuella tunneldelar inom planområdet samt är tunnelsystemet utformat med ett brandbekämpningssystem (en form av vattensprinklersystem). Brandbekämpningssystemet bedöms kraftigt reducera sannolikheten för att en eventuell brand i fordonet sprider sig till den farliga lasten som i tur kan föranleda detonation av den explosiva lasten. Sannolikheten för uppkomst av en farligt godsolycka som leder till detonation är därmed betydligt mindre i en tunnel försedd med ett brandbekämpningssystem i jämförelse med samma transportled i det fira. Sett till ovanstående kan argumenteras att aktuellt grundläggningskoncept är överdimensionerat sett till hotbilden. I och med att grundläggningskonceptet inte medför några betydande begränsningar för utformningen eller funktion inom planerad bebyggelse bedöms det dock vara motiverat utifrån ett riskhanteringsperspektiv. Detta då skyddsprinciperna säkerställer en robust riskbild över tid som är okänslig mot ett eventuellt öppnande av Östlig förbindelse som skulle kunna förändra transportflödet av farligt gods i aktuella tunneldelar. Robustheten i riskbilden bedöms vidare trygga att planerad bebyggelse inte ger upphov till en framtida eventuella omklassificering av Norra Länken.

3.3.3 Farligt godsolycka i det fria

Endast kvarter 15 är riskexponerad av från E4/E20 vid tunnelmynning norrut där farligt godstransport kan förväntas. Från inventeringen av trafikflöden av farligt gods kan vidare konstateras att flödet farligt gods genom Stallmästartunnel är mycket lågt/obefintligt. Kvarter 15 är planerat ca 20 meter från Stallmästartunnelns mynning och 40-80 meter från E4:an där genomfartstrafik av farligt gods kan förväntas.

Sett till byggnadens placering i förhållande till omkringliggande transportleder krävs i princip att en farligt godsolycka uppstår precis utanför tunnelmynning för att risk för påverkan på människor innanför kvarter 15 fasad ska föreligga. Sannolikheten för detta är givetvis mycket låg. Utifrån ett övergripande samhällsriskperspektiv som utgår från att en sträcka om 1 km ska analyseras enligt redogjorda acceptanskriterier kan sägas att bidraget är mindre än en 1/20-del inom planområdet.

För att beakta att transportflödena av farligt gods via Stallmästartunneln kan förändras i det fall Östlig Förbindelse byggs ut har fördjupade konsekvensanalyser, se Bilaga C respektive Bilaga D, genomförts för följande olycksscenarioer:

- Olycka med brännbar gas som föranleder gasmolnsexplosion/BLEVE
- Olycka med brännbar vätska som föranleder en pölbrand

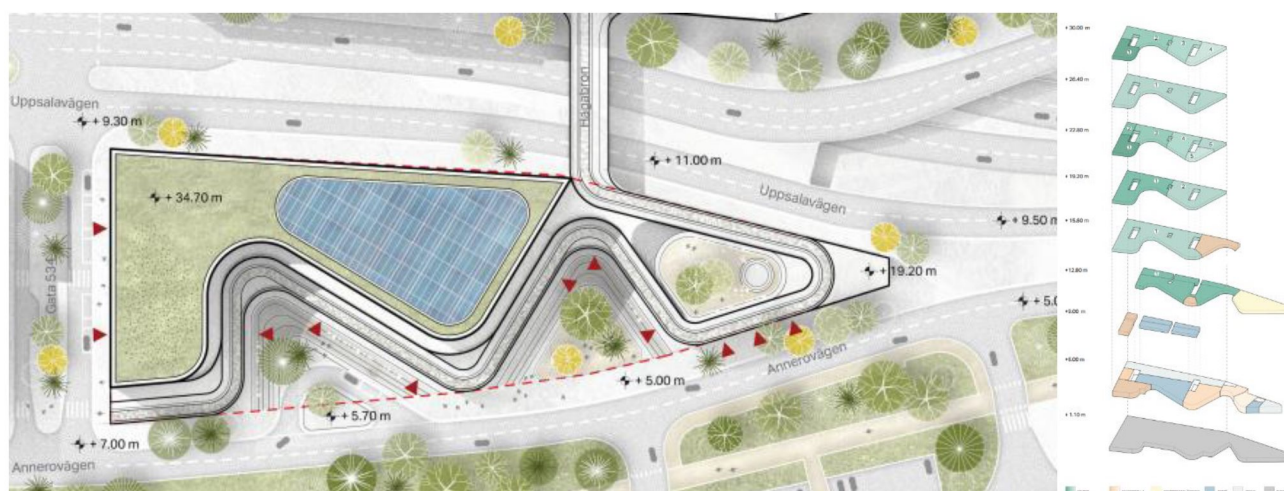
Val av olycksscenarioer grundar sig på att dessa olycksförlopp är de som i störst utsträckning bidrar till samhällsrisknivån i omgivningen kring E4/E20. De fördjupade konsekvensanalyserna syftar till att fungera som underlag för att få en bättre uppfattning om byggnadens bidrag till risknivåerna inom planområdet samt fungera som underlag för att avgöra behov av eventuella skyddsåtgärder. Med bakgrund till att inte finns några trafikprognoser medräknat Östlig Förbindelse genomförs inga detaljerade frekvensberäkningar. Det bör dock tydliggöras att olycksfrekvensen för en farligt godsolycka involverande brandfarlig gas är mycket låg sett till hur robusta ADR-fordonen är utformade. För att få en uppfattning av olycksfrekvensen återges föreslagna ingångsvärden för riskanalys vid överdäckning enligt Trafikverkets vägledningsdokument krav och råd vid överdäckning [5]:

Sannolikheten för en stor gasmolnsantändning eller BLEVE vid en olycka i en vägtransport av ADR klass 2 kan sättas till 1×10^{-11} per ton-km enligt Trafikverkets vägledningsdokument. Bakgrunden till ingångsvärdet är: ca 12 % av transporterad mängd ADR transporter utgörs av klass 2. Enligt Eurostat transporteras ca 80 000 miljoner ton-km ADR transporter per år inom EU, vilket ger ca 9 600 miljoner ton-km av klass 2 per år. På 35 år blir detta 336 000 miljoner ton-km inom EU. Under perioden 1978-2012 har två allvarliga olyckor med klass 2 transporter inträffat inom EU: i Los Alfaques, i Spanien 1978 samt i Palermo, Sicilien 1996. Detta ger en sannolikhet på $5,95 \times 10^{-12}$ per ton-km, ovan avrundat till 1×10^{-11} .

Baserat på dagens flöde av LNG till hamnområdet som uppgår till ca 1200 transporter per år kan olycksfrekvensen för en BLEVE respektive stor gasmolnsexplosion beräknas till $1,3 \times 10^{-11}$ för en studerad sträcka om 1 km. Detta motsvarar en 1 olycka per 75 miljarder år.

Förutsättningar

Mellan byggnaden och E4/E20 finns en positiv höjdskillnad om ca 6 meter. Inga ytor utomhus mellan byggnad och tunnelmynning finns där människor förväntas vistas. Utsatt "spets" som vetter mot transportleden planeras, i enlighet figur 17, att innehålla verksamheter som ej uppmuntrar till stadigvarande vistelse, t.ex. parkering, teknikrum, återvinningsrum, direkt innanför fasad inom byggnadsdelens två lägre våningsplan. Endast på våning 3 och takplan planeras för kontor/konferensrum respektive café som uppmuntrar till stadigvarande vistelse innanför de mest utsatta fasaddelarna som vetter mot tunnelmynning. Detta innebär att skadepotentialen givet en allvarligt olycka som inträffar vid mynningen effektivt har begränsats vid framtagning av byggnadsdispositionen.



Figur 17. Skiss av kvarter 15 i förhållande till omgivningen tillsammans med en dispositionsplan.

Olycka med brandfarlig vätska

För att klargöra riskerna kopplat till olyckor med brandfarlig vätska har strålningsberäkningar genomförts. Beräkningarna syftar till att fungera som underlag för att kunna avgöra om brandspridning kan uppstå till planerad byggnad givet uppkomst av en pölbrand vid Stallmästartunnelns mynning samt för att avgöra om säkra utrymningsförhållanden kan säkerställas för människor innanför fasad. Dimensionerande brandscenario antas 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 bensen, totalskadas vilket föranleder att allt innehåll läcker ut i samband med olycka. Med hänsyn till att aktuell vägbredd uppgår till ca 5 meter och att det föreligger en kraftig lutning ner mot tunneln anses scenariot vara mycket konservativt.

Slutsatsen från analysen är att rådande säkerhetsavstånd om ca 20 meter i kombination med betongtrågets strålningsdämpande funktion medföra ett tillfredställande skydd avseende risken för brandspridning. Resultaten påvisar att glaspardier i fasad inte behöver utföras i brandteknisk klass för att säkerställa ett tillfredställande skydd mot brandspridning. Den förväntade infallande strålningen mot fasad uppgår till ca 5,3 kW/m² för det dimensionerade brandscenario, vilket kan jämföras med acceptanskriteriet 15 kW/m². Belysta strålningsnivåer indikerar vidare att människor direkt inför fasad kan förväntas utrymma på ett betryggande sätt.

För att minska risken för att giftiga brandgaser trycks in i byggnaden via ventilationssystemet rekommenderas att friskluftsintag placeras högt och/eller på sida bort från mynningen. Byggnaden bör vidare utformas med en alternativ utrymningsväg som mynnar bort från tunnelmynning för att säkerställa att människor inte behöver utrymma mot riskkällan i det fall utrymning av byggnaden blir aktuellt. Slutsatsen är att olyckor involverande brandfarlig vätska ej bedöms kunna medföra risk för allvarlig påverkan på människor inom planområdet. Riskbidraget är således noll.

Olycka med brandfarlig gas

Analysen av allvarliga olycksförlopp till följd av en olycka involverande brännbar gas påvisar att skadeomfattningen från en BLEVE/gasmolnsexplosion förväntas begränsas till byggnadsdel närmast tunnelmynningen. Analysen påvisar vidare att risken för att allvarligt påverkas/omkomna primärt är begränsad till ett område om ca 5-8 meter in från utsatt fasad som vetter mot explosionscentrum. Mest utsatta är människor som vistas i lokaler på de undre våningarna vettande direkt mot tunnelmynning. Fasad på byggnadsdel längre bort från mynningen kan förväntas hållas intakt sett till redogjorda laster, varför människor inomhus i dessa delar ej förväntas komma till skada. Det bör noteras att utförda beräkningarna inte tar någon hänsyn till den positiva effekt som erhålls av betongtråget om 6 meter.

Resultaten tillsammans med presenterad byggnadsdispositionen indikerar en låg skadepotentiell. I jämförelse med en byggnadsplacering längs med en farligt godsled helt i det fria är aktuella förutsättningar mycket mer gynnsamma. Beaktat de väldigt låga olycksfrekvenserna för studerade olycksförlopp och de betydande osäkerheterna som föreligger i det framtida transportflödet av farligt gods är slutsatsen att inga särskilda byggnadstekniska åtgärder behöver vidtas för att hantera olyckor med transporter av brännbar gas i ett led att säkerställa godtagbara risknivåer och en robust riskbild inom planområdet. Det bör tydliggöras att det i princip är ogörligt att helt skydda sig mot konsekvenser vid dessa typer av olycksförlopp vid fysisk planering intill farligt godsled.

3.3.4 Utsläpp från avluftstorn

Avluftstorn från Norra Länkens södergående tunnelrör planeras att integreras i en byggnad enligt antagen detaljplan för Vasastaden 1:16. Kompletterande analys av driftdata påvisar att tornet i normalfall fungerar som en tilluftskanal. Endast vid aktiverad mekanisk ventilation, vid t.ex. brand, fungerar tornet som ett avluftstorn. Luftflödet uppgår till ca 300 m³/s. En betydande utspädning till följd av luftinblandning är således att förväntas vid t.ex. brand som genererar rökspridning från tornet. Tornet är tänkt att mynna 5 meter ovan tak. I jämförelse med marknivå inom Östra hagastaden kommer planerat torn mynna över 50 meter från marknivå. Avståndet från tornet och närmsta byggnad inom planområdet uppgår vidare till ca 150 meter. Baserat på rådande förutsättningar är bedömningen att dess bidrag till risknivåerna inom planområdet är obefintlig.

3.4 Järnvägen Värtabanan

Inom planområdet löper järnvägen Värtabanan på bro och på banvall. De tänkbara olyckssituationer som kan uppstå längs den aktuella järnvägssträckningen som är förknippade med omgivningspåverkan bedöms vara urspårning med risk för mekanisk påverkan alternativt 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 tunneln kan 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.

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 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.

För att klargöra riskexponeringen längs med Värtabana har en fördjupad riskanalys genomförts, se Bilaga B. Analysen påvisar att det låga transportantalet tillsammans med aktuella förutsättningar (maximal hastighet om 70 km/h, raksträcka, inga växlar, inga kraftiga sluttningar mot det skyddsvärda) innebär en mycket låg risk för att en farlig urspårning ska uppstå på järnvägssträckan inom planområdet. Analysen påvisar att individrisknivån i direkt anslutning till Värtabanan är att betrakta som acceptabel. Analysen påvisar vidare att järnvägens bidrag till samhällsrisknivåerna inom planområdet kan betraktas som försumbar.

För att ytterligare minimera riskerna kopplat till urspårning har sedan tidigare Hagastadsprojektet förlängt det urspårningsskydd som finns på bro till att även sträcka sig på delen av järnvägen på banvall inom planområdet. Bygga urspårningsrälser ligger strax innanför det ordinarie spåret och syftar till att hålla kvar urspårade hjul inom spårområdet, vilket följaktligen minskar sannolikheten att en urspårad vagn välter som i tur kan ge upphov till en farligt godsolycka. Med avseende på att aktuell sträcka av Värtabanan inom planområdet utgörs av rakspår utan spårväxlar bedöms införandet av urspårningsrälser i avsevärd grad bidra till att minska risken för uppkomsten av en farlig urspårning med stora sidoavvikelser respektive en farligt godsolycka inom planområdet.

Införlivandet av urspårningsskydd längs med banan genom hela planområdet tillsammans med målpunkternas godsbehov innebär att en robust riskbild säkerställs över tid även beaktat att planförslaget medger bebyggelse och parkmark för stadigvarande vistelse inom 25 meter från banan.

3.5 Samlad bedömning

Utifrån beskrivna förutsättningar och genomförd analys av identifierade risker kan konstateras att en acceptabel individ- respektive samhällsrisknivå föreligger inom planområdet. Sett till dagens trafikeringsituation på väg- och järnvägsnätet som berör planområdet kan konstateras att förekomsten av farligt gods som kan medföra olycka med påverkan inom planområdet är mycket begränsad. Norra Länkens robusta tunnlar tillsammans med ett riskanpassat grundläggningsskoncept säkerställer en mycket robust riskbild som är okänslig till förändringar i transportflödet av farligt gods genom tunnelsystemet. Ett nästintill totalskydd tillskapas mot farligt godsolyckor som kan uppstå i tunnelsystemet. Värtabanas låga trafikintensitet i kombination med gynnsamma förutsättningar såsom rakspår utan växlar och låg hastighet samt att Hagastadsprojektet försett banan med urspårningsskydd genom hela planområdet säkerställer en mycket låg riskexponering längs med banan.

4 Diskussion och slutsatser

I denna risksammanställning beaktas inte antalet omkomna eller skadade trafikanter i tunnelsystemen. Detta med avseende på att byggnadernas utformning inte påverkar riskbilden för trafikanterna.

Utredningen påvisar att acceptabla individ- respektive samhällsrisknivåer föreligger inom planområdet. Detta då skyddsprinciperna säkerställer en robust riskbild över tid som är okänslig mot ett eventuellt öppnande av Östlig förbindelse som skulle kunna förändra transportflödet av farligt gods i aktuella tunneldelar. Robustheten i riskbilden bedöms vidare trygga att planerad bebyggelse inte ger upphov till en framtida eventuella omklassificering av Norra Länken.

I denna utredning genomförs ingen mer detaljerad osäkerhetsanalys. Bakgrunden till detta är att utförd analys har tagit höjd för eventuella framtida förändringar i trafiksituationen som skulle kunna påverka riskbilden negativt i framtiden. Givet aktuella förutsättningar har inga andra parametrar som kan påverka riskbilden inom planområdet identifierats.

Oavsett om planläggning sker ovan/intill en tunnel där farligt godstransporter tillåts eller intill en farligt godsled i det fria kan större explosionsscenarioer förväntas föranleda ett stort antal omkomna i en stadsmiljö. En modern byggnad utförd i betong med sammanhållen stomme klarar vanligtvis av ett tryck på ca 40 kPa. För äldre byggnader brukar vanligtvis 15 kPa ansättas som gränsvärde. Vid en explosion av 4-16 ton explosiva ämnen i det fria kan ett tryck överstigande 40 kPa uppnås på en fasad som vetter mot en olycksplats ca 200 meter bort, och för övriga fasader 120 meter bort. Vid en explosion av 0,5-4 ton explosiva ämnen kan detta tryck antas inom ca 70 meter från olycksplatsen [14]. Det krävs således ytterst stora skyddsavstånd alternativt betydande skyddsåtgärder för att tillskapa ett skydd mot större explosioner i det fria. Vid planläggning intill farligt godsled tillkommer även andra olycksscenarioer (stor gasmolnsexplosion, BLEVE, utsläpp av giftiga gaser) som kan förväntas påverka byggnader på långa avstånd från transportleden. Alla dessa olycksscenarioer klara de robusta tunnlarna att effektivt skydda omgivningen från. Redogjort grundläggningskoncept säkerställer vidare att byggnader ovan/intill tunnlarna ges ett skydd mot en explosion om 1 ton TNT (motsvarande 1,6 ton dynamit). I jämförelse med planläggning i det fria enligt Länsstyrelsen rekommenderade skyddsavstånd kan konstateras att planläggning enligt planförslaget är säkrare.

Konsekvenserna av en explosion i tunneln kan översättas till att ett lokalt brott/brott i ovanförliggande byggnads bärande stomme uppstår vilket riskerar att påverka byggnadens integritet. I Eurocode² finns vägledning avseende dimensionering av bärverk och hantering av exceptionella dimensioneringssituationer såsom en explosion. Exempelvis så anges att en allvarlig skada kan definieras som plötslig kollaps av bärverket med stor risk för skador och förluster av liv, vilket stämmer bra överens med de förväntade konsekvenserna vid en explosion i tunneln. I Eurocode 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} . I Eurocode finns även klass CC3 där vissa byggnadstyper hamnar och där den årliga brottsannolikheten ska vara mindre än 10^{-7} . Tunnelnarnas påvisade motståndskraft i kombination med redogjorda grundläggningsprinciper säkerställer att planläggning sker i enlighet med Eurocode.

Slutsatsen är att planerad utbyggnad kan utföras i enlighet med planförslaget utifrån ett riskperspektiv. Utförd riskbedömning påvisar att planläggning kan ske i enlighet med Trafikverkets vägledningsdokument avseende krav och råd vid överdäckning.

² Tillämpliga delar av SS-EN 1991-1-7:2006 (Sv), SS-EN 1990 samt EKS 10

För att säkerställa förutsättningar enligt riskanalysen rekommenderas att följande skyddsåtgärder inarbetas i planhandlingarna/beaktas i det fortsatta planarbetet:

- Kvarter 15 utformas med friskluftsintag som placerat högt och/eller på sida bort från E4/E20:s tunnelmynningar.
- Inga personintensiva lokaler planeras direkt innanför kvarter 15:s fasad som vetter mot E4/E20:s tunnelmynningar. Med personintensiv lokal avses här samlingslokal innehållande mer än 150 personer.
- Byggnadsdel inom kvarter 15 som vetter mot E4/E20:s tunnelmynningar utformas med en obrännbar fasad.
- Byggnadsdel inom kvarter 15 som vetter mot E4/E20:s tunnelmynningar utformas med en alternativ utrymningsväg bort från trafiklederna.
- En skyddszon om minst 20 meter som ej utformas för att uppmuntra till stadigvarande vistelse tillskapas mellan E4/E20:s tunnelmynningar och kvarter 15.
- En skyddszon om minst 10 meter som ej utformas för att uppmuntra till stadigvarande vistelse tillskapas längs med järnvägen Värtabanan och dess tunnelmynning. Gång/cykelstråk kan accepteras inom skyddszon då detta inte anses uppmuntra till stadigvarande vistelse.
- Bebyggelse utmed Värtabanan utformas med friskluftsintag som placeras på sida bort från Värtabanan samt med en alternativ utrymningsväg bort från järnvägen.
- Grundläggning av byggnader ovan/intill tunnel ska ske minst 2 meter från tunnelkonstruktionerna. Ingen lastöverföring får ske mot tunnelkonstruktionerna. Pålar intill tunnelvägg där jordmassa mellan tunnel och påle understiger 4 meter ska dimensioneras för att tåla en horisontell deformation om 200 mm.
- Mellan tunneltak och bärande konstruktionsdelar ska en deformationszon om 1 meter säkerställas. Ej bärande konstruktionsdelar tillåts inom deformationszon.

I samband med fortsatt gestaltning och utformning av allmänplatsmark rekommenderas att hänsyn tas till möjligheterna att reducera suicidrisken med hänsyn till framförhopp från Bellmansterassen och spårspring.

För att inte påverka säkerhetsnivån negativt i del av kvarter 25 som ingår i aktuell detaljplan men som är planlagd i detaljplan för del av Vasastaden 1:16 m.fl. (Norra Station) ska relevanta skyddsbestämmelser i gällande detaljplan för byggrätten inarbetas i planhandlingar för Östra Hagastaden. Följande skyddsbestämmelser är av vikt att inarbeta i plankartan:

- Krafter från ovanliggande konstruktioner får föras ned genom tunnelväggar. Inga huslaster från konstruktioner får föras ned på tunneltak.
- Inga bärande konstruktioner får placeras närmare än ca 0,6 m från väg- och järnvägstunnel. Denna buffertzona får ingå i garage, parkmark och vägar.
- Friskluftsintag ska vändas ifrån frånluftstorn från Norra länken.

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] Trafikverket, Krav och råd för överdäckning och säkerhet vid användning, TRV 2014/7297
- [6] Räddningsverket, Boverket, Vägverket, Farligt Gods på vägnätet - Underlag för samhällsplanering, Räddningsverket, Karlstad, 1998.
- [7] SRV, Kartläggning av farligt godstransporter, september 2006, Statens Räddningsverk, 2006.
- [8] Analyser av transporter med farligt gods – Mätningar utförda i stockholm under maj och oktober 2015, WSP, 2016.
- [9] Bunkerförsörjning till färjetrafik mm i Stockholms Hamn samt försörjning av bränsle och drivmedel till skärgården, Mälaren och sjömackar, Stockholm Hamnar AB, 2013.
- [10] 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.
- [11] Avtal gällande omledningsvägnät för Norra Länken delen Norrtull och Tomtebodan, Trafikverket Region Stockholm, Stockholm stad Trafikkontoret & Solna stad, daterat 2015-02-11.
- [12] http://www.stockholmshamnar.se/siteassets/om-oss/tilltrade--sakerhet/bilagor-driftföreskrifter/bilaga9_farligt_gods_kvalitetsbegransningar.pdf
- [13] Detaljplan för nytt universitetssjukhus mm, Solna stad – Miljökonsekvensbeskrivning Nya Karolinska Solna, antagandehandling 2009.
- [14] 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 A – Konsekvensanalys - explosionsscenarier i Norra Länken

Föreliggande bilaga är framtagen av explosions- och konstruktionsexpert Morgan Johansson på uppdrag av Hagastadsprojektet.

A.1 Bakgrund

I projekt Hagastaden, Stockholm, planeras det att uppföras byggnader i nära anslutning till Norra länkens tunnelsystem. Dessa tunnlar är dimensionerade utgående från den då rådande tunnelnormen, vilken tar viss höjd för last från explosion. Uppförandet av anslutande byggnader som människor kommer att vistas stadigvarande i medför dock att konsekvenser av en eventuell explosion inne i tunnel måste riskbedömas.

Föreliggande utredning syftar till att analysera konsekvenserna av explosion, med avseende på tunnelomgivande byggnader samt ge vägledning på skyddskoncept av de till tunnelsystemet näraliggande byggnaderna. Resultat av utförda överslagsberäkningar presenteras för att grovt bedöma inverkan som olika typer av explosionslaster inne i tunneln har på denna konstruktion samt vilken konsekvens detta kan tänkas få på näraliggande byggnad. Särskilt fokus läggs på koncept för lämplig utformning av sådana byggnader.

A.2 Skyddsprinciper

A.2.1 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 eller en jordspalt – 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 i väggen. 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 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.

A.2.2 Skyddsavstånd

Det effektivaste sättet att skydda sig mot en explosion är att inte vara där 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 (Norra länkens tunnelsystem) redan är byggd och ny bebyggelse ska uppföras i dess närhet.

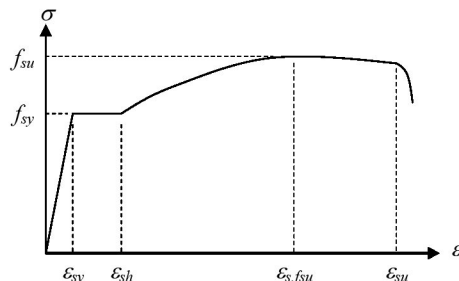
A.2.3 Säkerställande av en god deformationsförmåga

A.2.3.1 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 0 till 0 ges en sammanställning av dessa.

A.2.3.2 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 18, har en avgörande betydelse för betongkonstruktionens förmåga att uppvisa en god deformationsförmåga.



Figur 18. Schematisk figur av armeringens arbetskurva definierande flytspänning f_{sy} , brottspänning f_{su} samt flyttöjning ε_{sy} , töjning vid hårdnande ε_{sh} och brottöjning $\varepsilon_{s,fsu}$.

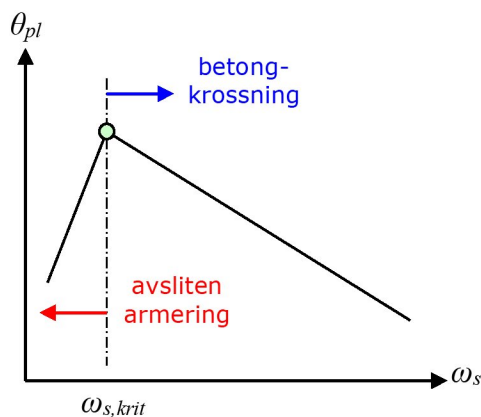
Viktiga förutsättning för att uppnå en god deformationsförmåga i en armerad betongkonstruktion är att armeringens arbetskurva uppvisar en flytplatå, har en hög seghetskvot

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

mellan armeringens brottspänning f_{su} och flytspänning f_{sy} samt har en hög brottöjning $\varepsilon_{s,fsu}$. Utgående från den armering som används i Sverige idag uppfylls dessa krav bäst av den armering som i Eurokod 2, SIS (2008b), 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 flytplatå men med lägre värden på seghetskvot och brottöjning. 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.

A.2.3.3 Armeringsutformning

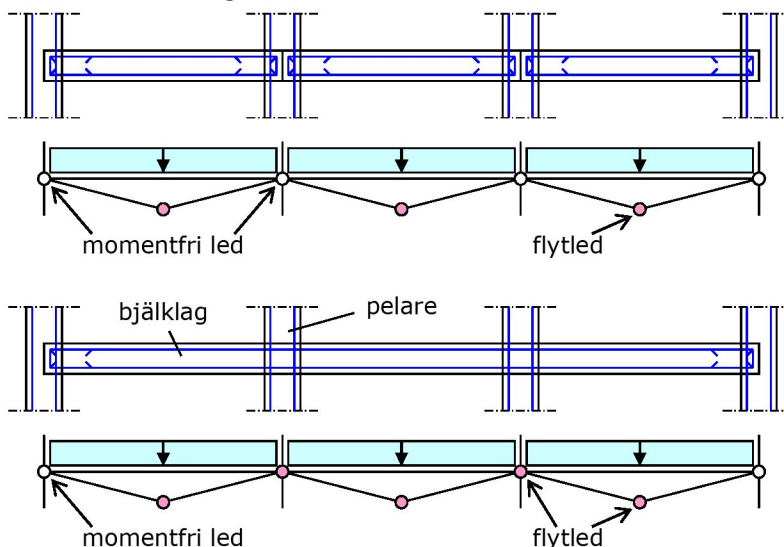
Allmänt gäller att små armeringsmängder i en betongkonstruktion resulterar i bättre deformationsförmåga än stora armeringsmängder. Detta förutsätter dock att brott inte erhålls i armeringen – slits denna av minskar rotationskapaciteten, och därmed deformationsförmågan, drastiskt – utan att det är den tryckta betongen som utgör tvärsnittets svaga punkt, se schematisk illustration i figur 19. 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 19 Schematisk illustration av tillåten plastisk rotationsförmåga θ_{pl} som funktion av den mekaniska armeringskvoten ω_s samt effekt av olika brottkriterier.

A.2.3.4 Kontinuitet hos byggnadsdelar

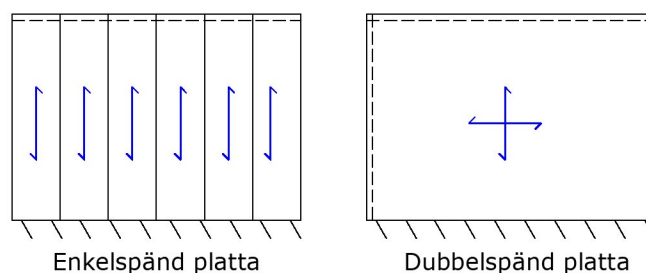
Genom att utföra väggar och bjälklag med momentinspända kopplingar, såsom schematiskt visas i figur 20, säkerställs en ökad motståndsförmåga mot explosionslast hos en byggnad. En kontinuerlig dragen armering genom bjälklagen resulterar i en ökad möjlighet till kraftomlagring i konstruktionen eftersom det då kan uppstå fler flytleader än vad som är fallet när bjälklaget enbart läggs upp på respektive pelarupplag. 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 20. Schematisk bild av bjälklag med enskild respektive kontinuerlig uppläggning av balk.

A.2.3.5 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 flytleder 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 21.



Figur 21 Bjälklag med bäring i en respektive två riktningar. Bäring i två riktningar ökar bjälklagets redundans.

Med begreppet redundans åsyftas här dock inte primärt på 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.

A.2.3.6 Stål och trä som konstruktionsmaterial

I en stålkonstruktion kan tvärsnitten hos ingående konstruktionsdelar enligt Eurokod 3, SIS (2008c), 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.

A.3 Last från explosion

A.3.1 Orientering

I detta kapitel görs en jämförelse av explosionslaster av olika typer. Dessa lastdata ligger sedan till grund för en grov bedömning av hur stor skada som kan förväntas uppstå i en explosionsutsatt tunnel. För en explosion skiljs här mellan detonation respektive deflagration:

- En detonation utmärks av att dess förbränningsförlopp går i överkljudsart, vilket medför att detonationen resulterar i ett högre tryck än om motsvarande explosion hade skett som en deflagration. Militära sprängämnen (t.ex. TNT) exploderar via detonation och det är även möjligt att få gas att ge upphov till en detonation. Det senare är dock svårt och kräver flera särskildt (ogynnsamma) omständigheter för att det ska kunna bli en realitet.
- En deflagration har en långsammare utveckling än en detonation, vilket medför att dess styrka också blir lägre. Karakteristiskt för en deflagration är förhållandevis låga tryck (i jämförelse med en detonation) men längre varaktighet. En deflagration är också mer komplex än en detonation i den meningen att den, beroende på olika omständigheter, kan utvecklas med olika styrkor. Ofta syftas det på någon form av deflagration när det är tal om en gasexplosion.

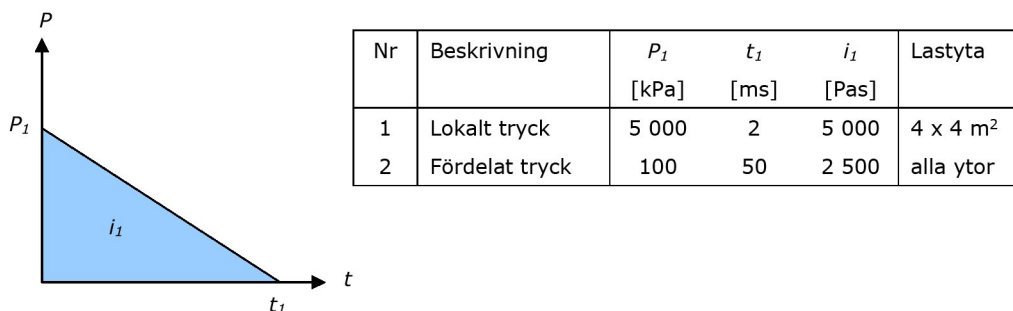
De explosionsfall som behandlas i detta dokument är:

- Detonation från 1 ton TNT, tidigare framtagen för studier av explosion i tunnel under Hagastaden, se Reinertsen (2015).
- Explosionslast enligt TRVK Tunnel 11, Trafikverket (2011), nuvarande tunneldokument med samma lastunderlag som har använts vid dimensionering av Norra länkens tunnelsystem.
- Explosionslast enligt Eurokod 1, del 1-7, SIS (2008a), innehållande anvisningar om bland annat explosionslast i väg- och järnvägstunnlar.
- Explosionslast enligt Weerheijm et al (2016) baserat på ett detonationsliknande förlopp hos gas i flytande form som plötsligt övergår i gasform (BLEVE).

A.3.2 Förutsättningar, TRVK Tunnel 11

Enligt Trafikverkets regelverk för tunnlar, TRVK Tunnel 11 (Trafikverket, 2011), ska en tunnel dimensioneras gentemot en invändig explosion för laster enligt figur 22. Denna lastdefinition har använts sedan 1999 och det kan således utgå ifrån att samtliga tunnlar i Norra länkens tunnelsystem är anpassade för att motstå dessa laster.

Bakgrunden till lastvärdena i TRVK Tunnel 11 laster är något oklar även om en vägledning ges i Freiholtz (2001). I denna framgår att målnivån med valda laster var att täcka in den mest sannolika typen av explosion, vilket bedömdes vara en gasexplosion i anslutning till en brand. Vidare skulle lasterna täcka in en explosion från 30 kg dynamex med förutsättning att explosionen sker 3 m från vägg och 2 m över vägbana. Enligt Freiholtz (2001) hörde valet av 30 kg dynamex sannolikt från att det var den största mängden sprängmedel som, vid tillfället, fick transporteras i Stockholm utan några särskilda restriktioner.



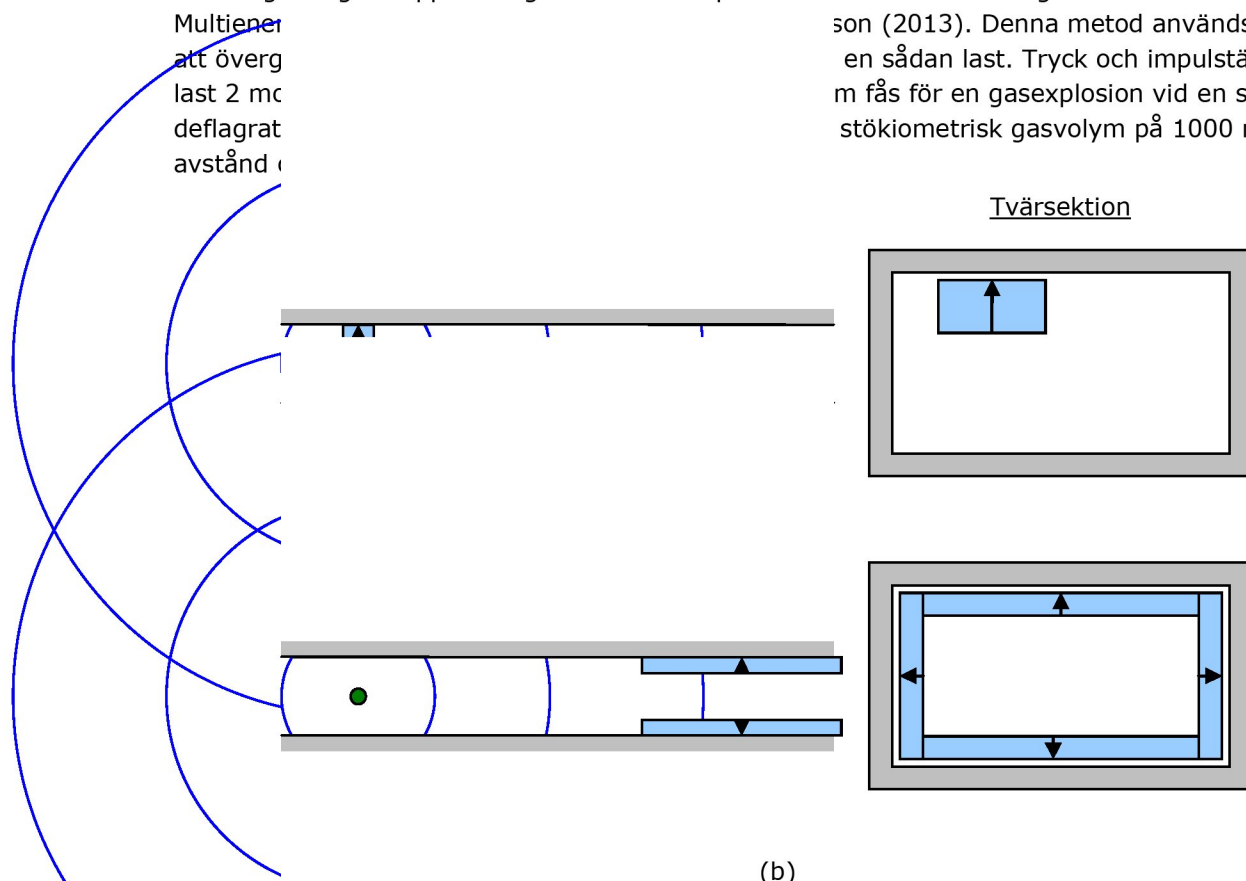
Figur 22 Definition av impulslaster för dimensionering av tunnlar med hänsyn till explosion. Baserat på TRVK Tunnel 11, Trafikverket (2011).

Lasterna i figur 22 är mycket olika till sin karaktär och benämns här som last 1 och last 2, se figur 23 för en schematisk illustration av en möjlig lastsituation. Baserat på informationen i Freiholtz (2001) tolkas det här som att last 1 simulerar en reflekterad stötvåg som uppstår nära en sprängladdning på 30 kg TNT på avstånd 2 m medan last 2 täcker in de lastvärden som uppstår av den oreflekterade stötvåg som fås på långt avstånd från samma explosionskälla, alternativt av en gasexplosion.

Last 2 i 23 har en, i sammanhanget, lång varaktighet och motsvarar lasten från en gasexplosion. För att ge en grov uppfattning om vad för explosion detta motsvarar utgås här från TNO

Multien
att överg
last 2 m
deflagrat
avstånd

son (2013). Denna metod används här för en sådan last. Tryck och impulstäthet för m fås för en gasexplosion vid en stark stökiometrisk gasvolym på 1000 m³ och ett



Figur 23 Schematisk illustration av en möjlig lastsituation för impulslast enligt figur 22 för (a) last 1 och (b) last 2.

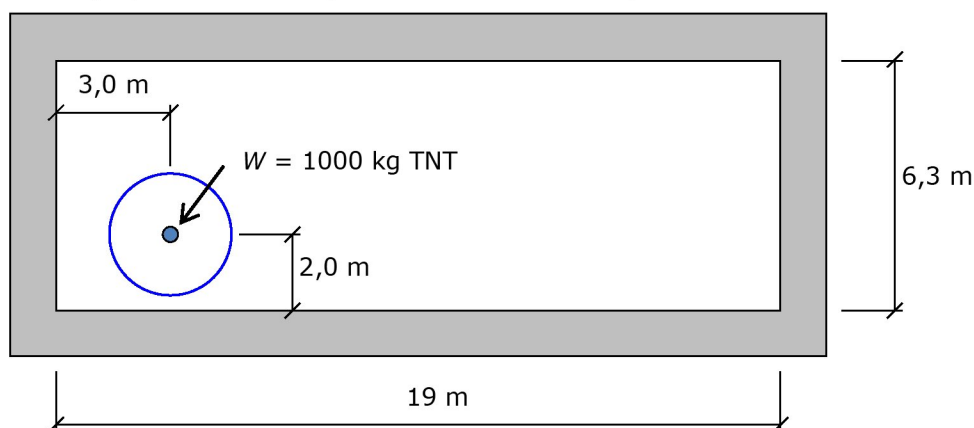
A.3.3 Explosionslast i tunnel under Hagastaden

Explosion i tunnel kan uppstå av olika orsaker och möjliga explosionsförlopp härrörs till olika klassificeringar för transport av farligt gods, se utdrag i tabell 5. Här ligger fokus på explosion från ämnen i klass 1 och klass 5 och en sådan explosion bedöms här som mest motsvara en laddning på 1 ton TNT.

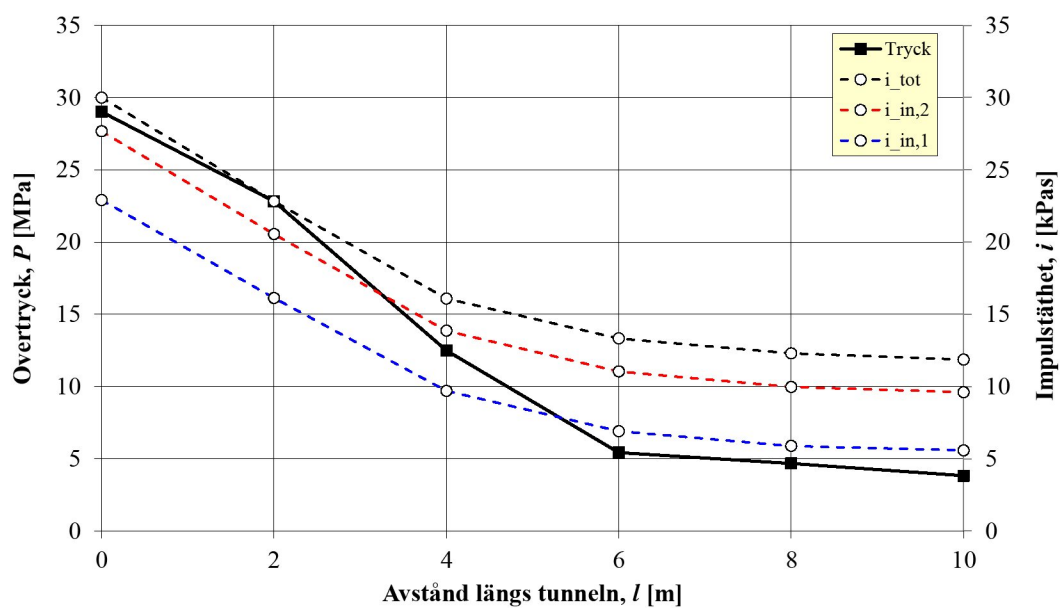
Tabell 4 Klassificering för transport av farligt gods av explosiva ämnen.

Klass	Ämne
1	Explosiva ämnen och föremål
2	Gaser
3	Brandfarliga vätskor
5	Oxiderande ämnen, organiska peroxider

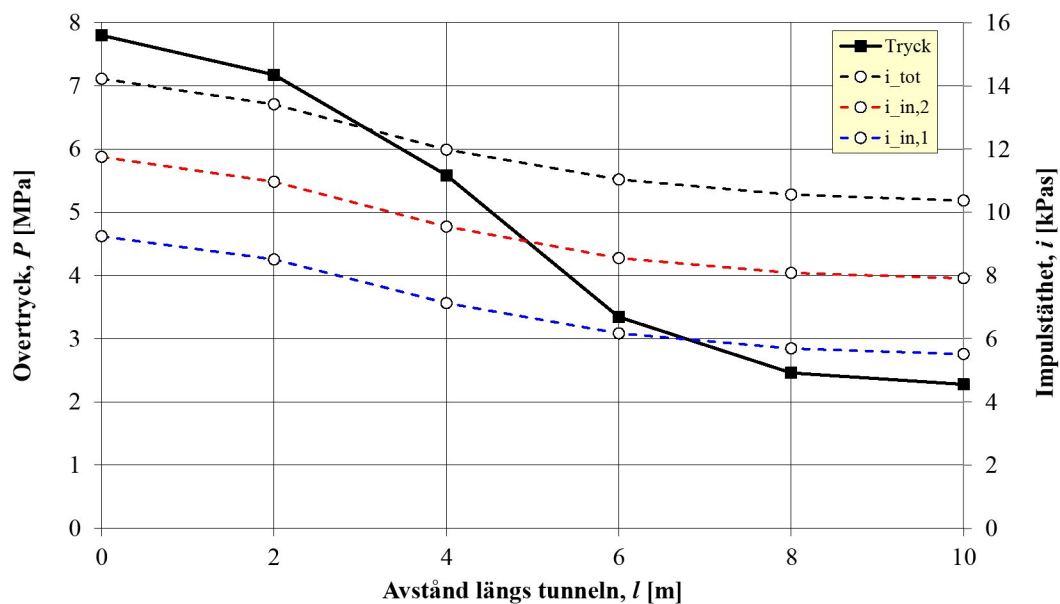
Representativa lastvärden för aktuell last har hämtats från Reinertsen (2015) där tunnelgeoemtri och lastplacering enligt figur 24 har använts. Resultterande laster har beräknats som medelvärden över närliggande vägg och tak och presenteras i figur 25 respektive figur 26. Dessa laster är egentligen tämligen komplexa eftersom de beaktar reflexioner från närliggande konstruktionsdelar men här visade värden sammanställer enbart maximalt tryck samt resulterande impulstäthet vid olika tidsintervall (25, 50 och 100 ms) och avstånd från lastlinje.



Figur 24 Invändiga mått i tunnelsektion samt antagen placering hos laddning. Baserat på Reinertsen (2015).



Figur 25 Medelvärden av maximalt tryck och impulstäthet (vid varaktighet 25, 50 och 100 ms) för last verkande mot hitre vägg på varierande avstånd från det snitt i tunneln där explosionen sker. Från Reinertsen (2015).

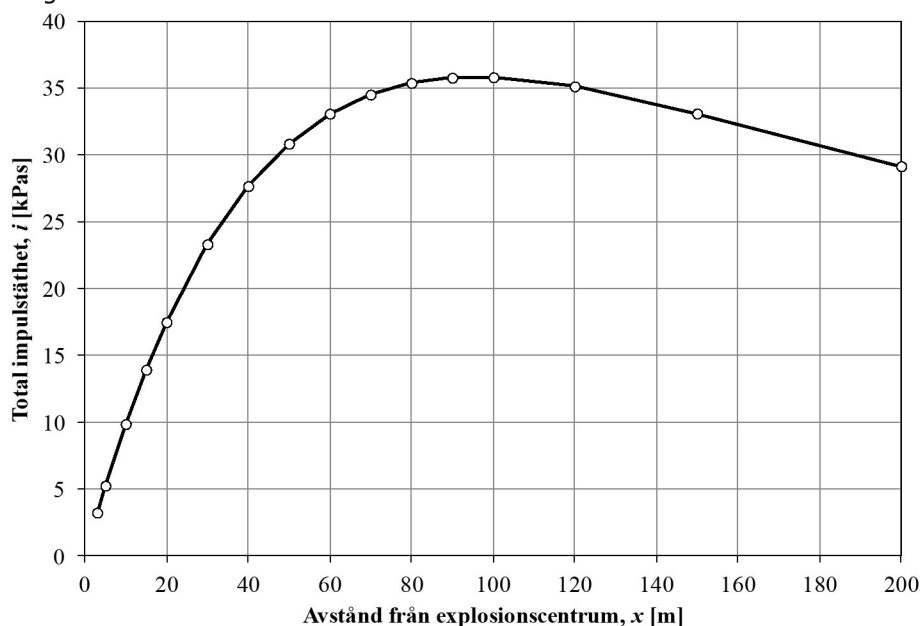


Figur 26 Medelvärden av maximalt tryck och impulstäthet (vid varaktighet 25, 50 och 100 ms) för last verkande mot tak på varierande avstånd från det snitt i tunneln där explosionen sker. Från Reinertsen (2015).

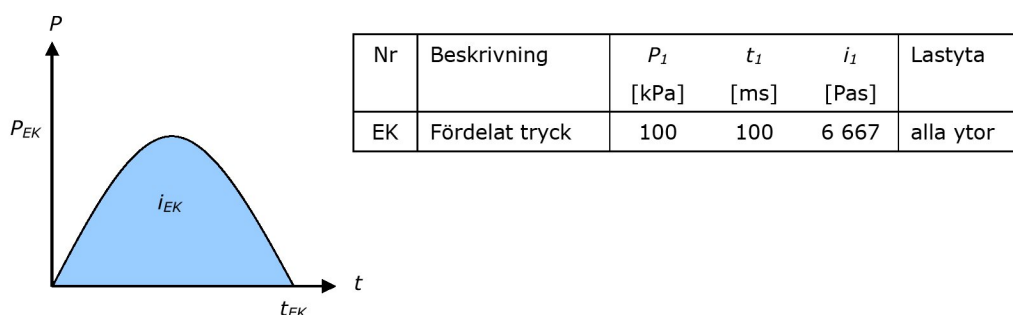
A.3.4 Eurokod 1, del 1-7

I Eurokod 1, del 1-7, SIS (2008a), ges anvisningar för hur last från explosion i väg- och järnvägstunnlar bör beaktas. Dessa anvisningar berör dels last vid en detonation och dels last från en deflagration. Last från detonation bedöms som mest komma upp till ett tryck på omkring 2000 kPa medan dess varaktighet blir en funktion av avståndet till explosionscentrum (impulstätheten ökar med ökande avstånd). I Eurokod 1 anges att det maximala trycket från en detonation är konstant med avståndet men att kurvans form gradvis ändras. Detta medför att impulsen blir låg nära explosionscentrum samt att dess maximala värde nås på ett avstånd av omkring 100 m, se figur 27. Denna last antas verka som en utbredd last mot alla ytor, på samma sätt som last 2 i figur 23. Den resulterande impulstätheten är dock betydligt större än den som ges i TRVK Tunnel 11. På grund av sin form samt storleken på den resulterande impulstätheten är denna last även svår att direkt jämföra med vad som ges i TRVK Tunnel 11 – känslan är att last definierad i Eurokod 1 enbart syftar till att beskriva lasten på en längre sträcka från explosionscentrum och inte i en närliggande punkt. Denna osäkerhet som finns för detonationslasten i Eurokod 1 gör också att andra lastvärden slutligen har använts för att beskriva lasten från en gasdetonation.

Den resulterande lasten från en deflagration svarar även den mot last 2 i figur 23 och beskrivs i Eurokod 1 så som illustreras i figur 28. En jämförelse mellan dessa laster ger att det maximala trycket i Eurokod 1 visserligen är samma som i TRVK Tunnel 11 men att lastens form och varaktighet skiljer sig. Sammantaget fås en impulstäthet som är omkring 2,7 gånger större i Eurokod 1 och även om lastkurvans form är mer gynnsam i Eurokod 1 blir denna last ändå farligare än den som ges i TRVK Tunnel 11. Baserat på detta kan därför konstateras att en särskild kontroll behöver därför göras för effekt av denna last.



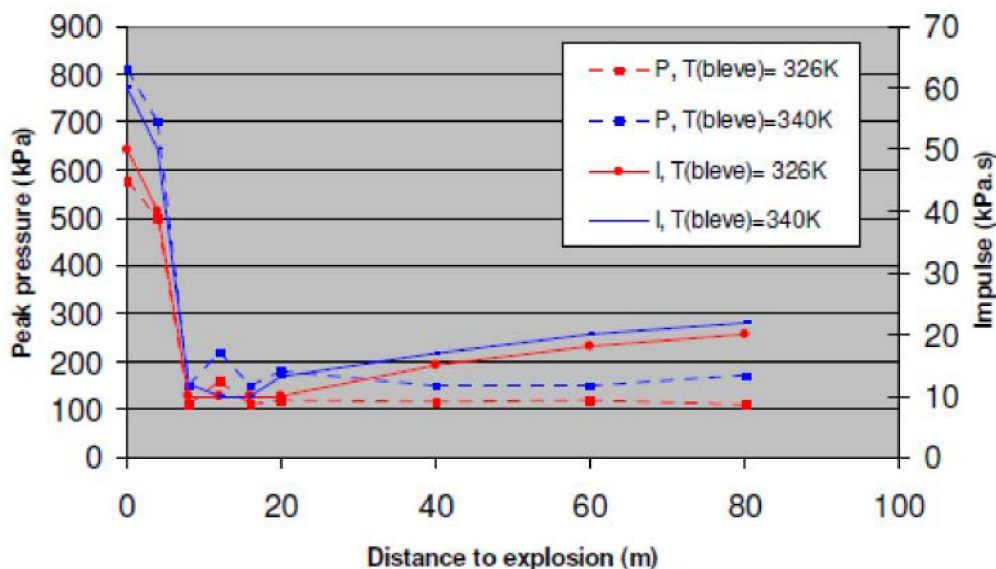
Figur 27. Resultande impulslast som funktion av avstånd till explosionscentrum för dimensionering av tunnlar med hänsyn till en gasdetonation (baserat på ett tryck på 2000 kPa). Baserat på TRVK Tunnel 11, Trafikverket (2011).



Figur 28 Definition av impulslaster för dimensionering av tunnlar med hänsyn till en gasdeflagration. Baserat på TRVK Tunnel 11, Trafikverket (2011).

A.3.5 TNO, BLEVE

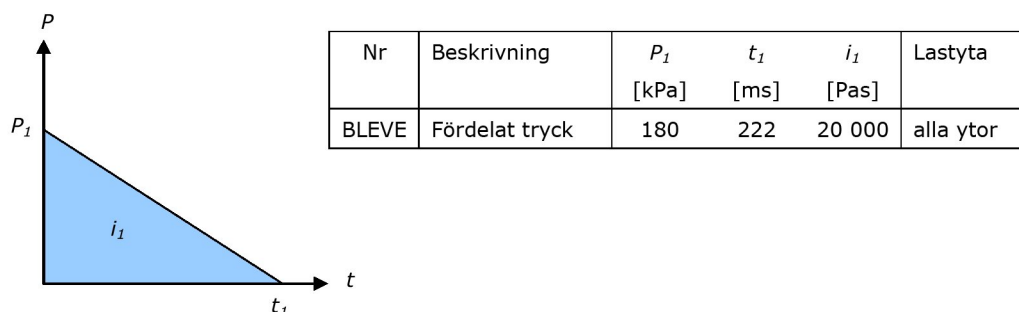
Som en ytterligare jämförelse med en möjlig explosion inne i tunneln utgås här från en sammanställning av TNO, se Weerheijm *et al.* (2016), av kokande vätska som under en kort tidsperiod expanderar till ånga, så kallad BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*). I denna referens behandlas olika typer av explosioner som kan orsakas av brandfarliga gaser i vätskeform. Enligt Weerheijm *et al.* kan resulterande övertryck vid en gasexplosion uppgå till 1500-2000 kPa, dvs. i linje med vad som anges för en detonation i Eurokod 1, se tidigare avsnitt. Resultat från ett beräkningsexempel visas i figur 29 för en tunnel med tvärsnittsarea 72 m² och 60 m³ gasol i vätskeform. En sådan situation bedöms vara representativt för de tunnelsektioner som är aktuella i Norra länken där tvärsnittsarean varierar mellan omkring 60-130 m² och här utgås därför från dessa lastvärden.



Figur 29. Exempel på impulslaster från BLEVE med 60 m³ gasol i vätskeform i tunnel med tvärsnittsarea 72 m². Från Weerheijm *et al.* (2016).

Av figur 29 framgår att höga tryck och impulstätheter uppstår nära explosionscentrum men att dessa på ett avstånd om 10 m minskar betydligt. För längre avstånd (>20 m) är trycket mer eller mindre konstant medan impulstätheten ökar något med ökande avstånd. Det senare är i linje med vad som anges om last från detonation i Eurokod 1. Till skillnad mot vad som anges där fås i figur 28 dock även en betydande lasttopp för korta avstånd. Baserat på givna tryck och impulstätheter, samt antagande en triangelformad last, kan lastens varaktighet uppskattas till omkring 150-250 ms, beroende på avstånd från explosionscentrum (ökad varaktighet med ökat avstånd). Här bedöms explosionslasten som verkar på ett avstånd inom 10 m från explosionscentrum, motvaras av den last som fås från en explosion på 1 ton TNT som behandlas i annat avsnitt och

berörs därför inte mer här. Fokus läggs istället på den last som verkar på avstånd > 10 m, se figur 30. Dessa lastvärden är märkbart högre än vad som ges i Eurkod 1 för en gasdeflagration och används här för att beskriva effekten på lite längre avstånd från en gasdetonation inne i tunneln. Dessa värden ersätter således de som fås för detonation i Eurokod 1.



Figur 30 Impulsbelastning orsakad av BLEVE enligt **Fel! Hittar inte referenskälla.** för avstånd > 10 m.

A.4 Effekt av tunnelexplosion på närliggande byggnader

A.4.1 Orientering

Om tunneln har otillräcklig bärförmåga för att motstå en explosion inne i tunneln medför detta att någon form av ett lokalt brott uppstår. Beroende på hur stor skillnaden är mellan erforderlig och tillgänglig bärförmåga kommer ett sådant brott också få olika karaktär.

För en lastsituation från 1 ton TNT som inträffar i en tunnel som är dimensionerad med lastförutsättningar enligt TRVK Tunnel 11, är det rimligt att förvänta sig att storleken på det lokala brottet kan bli relativt omfattande medan det för last från en gasexplosion kommer uppstå betydligt mindre effekter. Det är dock svårt att generellt uttala sig om konsekvensen utan att mer i detalj först undersöka hur befintliga tunnelsektioner är dimensionerade. Det kan dock konstateras att den verkande impulsen är av storleksordningen 4-5 gånger större än vad som anges i TRVK Tunnel 11, vilket innebär att den resulterande rörelseenergi som ska tas upp av tunnelsektionen blir 16-25 gånger större än vad tunneln är dimensionerad för med hänsyn till explosion. Detta är en betydande skillnad och även om explosionslastfallet inte är vad som ursprungligen har dimensionerat tunneltvärsnittets utformning är det rimligt att det uppstår omfattande skador i tunneln nära explosionscentrum.

En övergripande kontroll av representativa tunnelsektioner för Norra länkens tunnelsystem görs i avsnitt nedan för de explosionslaster som berörs i kapitel A.3. Baserat på detta ges i avsnitt A.4.3 en beskrivning av vilka praktiska konsekvenser uppskattad tunnelrespons kan få på närliggande byggnader och i avsnitt A.4.4 presenteras koncept på hur sådana byggnader därför bör utformas.

A.4.2 Lastkapacitet hos befintliga tunnlar

För att kunna göra en grov bedömning om vilken effekt som uppkomna explosionslaster i kapitel 0 kan ha på befintliga tunnlar har ett antal överslagsberäkningar gjorts för att bedöma lastkapaciteten på befintliga tunnlar.

Baserat på ritningsunderlag kan det konstateras att ytterväggar och tak i aktuella betongtunnlar har en tjocklek på 0,8 m medan bottenplatta har en tjocklek på 1,2 m. Mellan Gärdestunneln och Norrtullstunneln finns även dubbla innerväggar med tjocklek 0,5 m – dessa väggar bedöms kunna erhålla lokalt brott och innefattas därför inte av övergripande kontroll utförd här. Väggarnas spännvidd är omkring 7 m och för tak varierar dessa mellan omkring 9-19 m.

Armeringsmängden i vägg/tak uppgår som minst till $\phi 20$ s150 K500 i utsida vägg/ovankant tak och baserat på detta kan det visas att väggens bärförmåga, för en fritt upplagd vägg med längd 7 m, approximativt motsvarar tillåtna impulstätheter enligt tabell 6. I dessa beräkningar har gynnsam inverkan av varierande utanpåliggande jordmassor beaktats i form av extra massa samt ett mothållande tryck baserat på passivt jordtryck ($K_0 = 3$). Motsvarande tillåtna impulstätheter presenteras i tabell 7 för takplatta med längd 19 m där inverkan av täckande jordlager beaktas i form av extra massa samt sin egentynghd. För kortare spännvidder fås för samma last en minskad skadeomfattning.

Tabell 5 Tillåten impulstäthet i_{Rd} hos fritt upplagd vägg (längd 7 m) med minimiarmering samt gynnsam inverkan av mothållande jordmassor. Parametern $a_{vägg}$ anger avstånd mellan tunnelvägg och angränsande konstruktion och $x_{vägg,brott}$ anger på vilket avstånd från explosionscentrum som brott i vägg kan förväntas. För $a_{vägg} = 0$ m fås inget bidrag från mothållande jordmassor.

$a_{vägg}$	i_{Rd}	$x_{vägg,brott}$
[m]	[kPas]	[m]
0	9	4-10
2	17	3-4
4	20	2-3
6	22	1-2

Tabell 6 Tillåten impulstäthet i_{Rd} hos fritt upplagt tak (längd 19 m) med minimiarmering samt gynnsam inverkan av mothållande jordmassor. Parametern a_{tak} anger tjocklek hos ovanliggande jordmassor och $x_{tak,brott}$ anger på vilket avstånd från explosionscentrum som brott i tak kan förväntas. För $a_{tak} = 0$ m fås inget bidrag från mothållande jordmassor.

a_{tak}	i_{Rd}	$x_{tak,brott}$
[m]	[kPas]	[m]
0	9	> 10
1	12	0-4
2	15	0
3	19	0

I tabell 6 och 7 visas även en uppskattning på vilket avstånd från explosionscentrum som brott kan förväntas i tunnelvägg och tunneltak (för total storlek på brottzonen dubblas angivet värde). Av detta framgår att närvaron av jordmassor utanför vägg/tak är väldigt gynnsamt, framförallt gäller detta för tunneltaket. Detta ger därmed också en grov uppfattning om vilken gynnsam effekt på tunnelkonstruktionens bärighet som omgivande jordmassor har. Med antagande om 2 m jord på utsida vägg samt 1 m jord ovanför taket så innebär detta att tunneln rimligen har tillräcklig lastkapacitet på ett avstånd om omkring 4 m från explosionscentrum, dvs. inom ett område på omkring 8 m bedöms det uppstå någon form av brott i tunnelns vägg/tak vid en explosion på 1 ton TNT.

För en gasexplosion är det avgörande för den resulterande lastens storlek om explosionen utgörs av en detonation eller en deflagration. För deflagration är lasten betydande lägre än vad som är fallet vid en detonation av 1 ton TNT, se kapitel 0. Detsamma gäller också för det maximala trycket vid en BLEVE. För last som verkar mot tunneltaket fås dock en större impulstäthet med BLEVE än från 1 ton TNT. Den stora skillnaden i lastens varaktighet omöjliggör dock en direkt jämförelse mellan dessa båda lasttyper och enskilda kontroller görs därför för last mot BLEVE respektive gasdeflagration.

För last från BLEVE fås lastkapacitet visas i tabell 8 tillåten impulstäthet i_{Rd} när trycket är låst till $P_1 = 180$ kPa och varaktigheten har varierats. Detta tryck motsvarar det som fås för BLEVE på avstånd > 10 m och tillåten impulstäthet ska jämföras med $i_1 = 20$ kPas. Av detta framgår att kapaciten med god marginal är tillräcklig i tunnelns vägg. För tunneltaket krävs dock mothållande jordmassor på lite mer än 2 m för att tillräcklig kapacitet ska kunna påvisas.

Tabell 7. Tillåten impulstäthet i_{Rd} hos fritt upplagd vägg (längd 7 m) och tak (längd 19 m) med minimiarmering samt gynnsam inverkan av mothållande jordmassor. Parametrarna $a_{vägg}$ och a_{tak} anger storleken på omgivande jordmassor. Tillåtet värde är beräknat med förutsättning att $P_1 = 180$ kPa.

$a_{vägg}$	i_{Rd}	Kapacitet		a_{tak}	i_{Rd}	Kapacitet
[m]	[kPas]			[m]	[kPas]	[m]
0	40	Ok		0	10	Ej ok
2	> 40	Ok		1	14	Ej ok
4	> 40	Ok		2	19	Ej ok
6	> 40	Ok		3	25	Ok

Baserat på en konservativt vald last enligt Eurokod 1 så kan med samma förutsättningar som ovan visas att aktuella tunnelsektioner klarar lasten från en gasdeflagration, dvs. en sådan last innesluts helt inne i tunneln.

En del av tunnlar i Norra länkens tunnelsystem utgörs av bergstunnlar där bergstäckningen varierar med omkring 5-10 m. En övergripande kontroll har gjorts för hur en bergstäckning med spännvidd 9-19 m klarar lasten från en tunnelexplosion på 1 ton TNT och detta visar att bärförmågan är tillräcklig. De resulterande deformationerna för dessa fall är i sammanhanget små och bedöms inte överstiga 5 cm.

Slutsats: För en explosionslast från 1 ton TNT kommer det i väggen uppstå ett lokalt brott även om den medverkande jordmängden är stor. Redan vid 2 m jord fås dock en betydande gynnsam inverkan. För tak räcker det med 2 m täckande jordskikt för att lokalt brott ska undvikas. En betydande gynnsam inverkan fås redan vid 1 m jordlager. Totala deformationer vid brott uppgår till 0,2 m i vägg och 0,8 m i tak (vid spännvidd 19 m, mindre deformation för kortare spännvidder). För last från BLEVE (motsvarar gasdetonation) har kontroll gjorts på ett avstånd > 10 m från explosionscentrum som visar att väggarna klarar av att motstå explosionslasten oavsett storlek på omgivande jordmassor. För tak krävs dock en jordtäckning på drygt 2 m för att klara av att innesluta en sådan explosion.

För last från gasexplosion (stark deflagration) kan det påvisas att tunneln har tillräcklig bärförmåga att innesluta lasten och resulterande totaldeformation för en sådan last understiger 0,1 m i vägg samt 0,4 m i tak.

För tunnlar i berg som har en bergstäckning på 5-10 m kan det påvisas att explosionslasten från 1 ton TNT innesluts i tunneln samt att totaldeformationen för en sådan last begränsas till 5 cm.

A.4.3 Konsekvens av explosionslast

I avsnitt A.4.2 presenteras uppskattade storlekar på de brottzoner som kan förväntas i tunnelvägg och tunneltak vid en explosion från 1 ton TNT. Att tunneln når brott innebär dock inte nödvändigtvis att det skapas ett hål av samma storlek som indikerad brottzon. Dessa brottzoner ska snarare tolkas som att väggens/takets bärförmåga inom detta område är uttömd. Det "hål" som eventuellt skapas kommer vara mindre än så, gissningsvis 1-2 m i varje riktning, dvs. en brottzon som mäter $2 \cdot 3 = 6$ m kan förmodligen få ett hål som mäter omkring 2-4 m i storlek. För en tunnelvägg med jordmassor på utsidan kommer ett sådant "hål" även att begränsas ytterligare eftersom de losslitna tunneldelarna förhindras av jordmassorna att kastas iväg någon längre sträcka.

I avsnitt A.4.2 presenteras även förväntad respons hos tunnelsketion av last från BLEVE. Till skillnad mot last från 1 ton TNT så verkar den här antagna lasten över hela tunnelns längd (bortom 10 m från explosionscentrum), vilket medför att en otillräcklig kapacitet hos tunneln innebär att brott kan uppstå över hela denna längd. Det blir därför också av ökad vikt att denna last från BLEVE kan hanteras av tunneln.

Det ska dock även poängteras att en tillräcklig lastkapacitet hos tunneln inte innebär att omkringliggande konstruktioner automatiskt förblir opåverkade av explosionen. För här utförda beräkningar gäller att lastkapaciteten är uttömd vid en total deformation på cirka 0,2 m i vägg samt 0,8 m i tak, dvs. ur statiskt perspektiv stora deformationer. Om det utanför vägg/tak finns en tillgänglig deformationszon, i form av ett luftfyllt tomrum, som den utbuktande konstruktionsdelen fritt kan deformera i kommer det inte uppstå några extra laster mot omgivningen (detta är konceptet för överdäckning ovan mark i detaljplan 1 inom Hagastaden). För de befintliga tunnlar i Norra länken är detta dock normalt inte fallet – här finns det istället oftast någon form av jordmassor i direkt anslutning till tunnelns vägg/tak som förhindrar en sådan fri deformation av den aktuella konstruktionsdelen. Detta medför att en del last ofrånkomligen kommer att föras vidare från tunneln till omgivningen, även i de fall där tunneln har tillräcklig bärförmåga. Hur stor last som förs vidare beror på resulterande deformation, avstånd till intilliggande byggnadsdel samt egenskaper hos påverkade jordmassor.

A.4.4 Principiell utformning av närliggande byggnader

Vid händelse av en explosion från 1 ton TNT är det rimligt att det, beroende på omgivande mängd jordmassor, uppstår en brottzon med någon form av lokal öppning i både väggar och tak i tunneln. Eventuella byggnader som är placerade nära en sådan brottzon riskerar därför att skadas och en viktig målsättning blir att reducera effekterna av en sådan eventuell skada så att fortskridande ras av byggnaden kan förhindras. Konceptuellt finns det två olika sätt att hantera detta på:

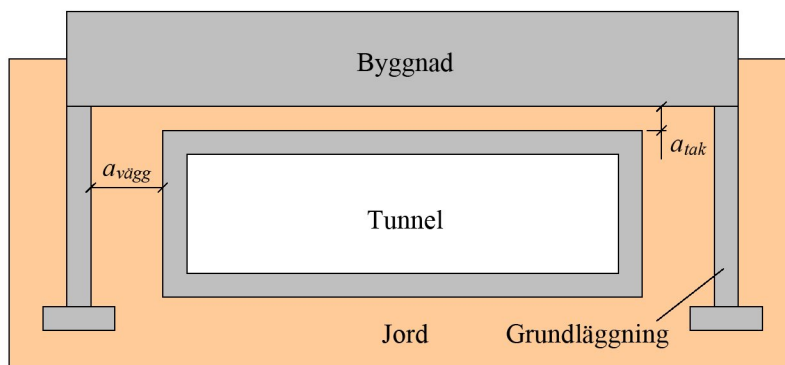
- Förhindra uppkomsten av brottzon genom att säkerställa att tunnelkonstruktionen klarar av att helt innesluta effekten av aktuella explosionslaster.
- Tillåt lokalt brott i tunnel men utforma omkringliggande byggnader så att de klarar av att motstå den last som "läcker" ut från tunneln utan risk för fortskridande ras.

I och med att aktuella tunnlar redan är byggda är det svårt att i detta skede göra något med det första alternativet. Det andra alternativet är dock fortfarande möjligt att påverka och fokus därför här i detta dokument. Utformning/dimensionering av omkringliggande byggnader kan i sin tur göras med inriktning mot två olika koncept:

- Dimensionera samtliga ingående bärande konstruktionsdelar så att de klarar av att motstå effekterna av den "utläckande" lasten från en explosion inne i tunneln.
- Utforma det bärande systemet i omkringliggande byggnader på ett sådant sätt att inverkan av en tunnelexplosion kan hanteras utan risk för fortskridande ras. Detta kan göras på olika sätt:
 - Utforma byggnaden så att "utläckande" last får svårt att påverka dess bärande system, t.ex. genom att placera grundläggning på ett tillräckligt avstånd från tunneln samt skapa deformationszoner intill bärande delar.
 - Utforma byggnaden med en sådan redundans att delar av det bärande systemet kan slås ut av en explosionslast utan att riskera fortskridande ras, t.ex. genom att lastupptagningen i en bärande balk/pelare kan tas upp på ett alternativt sätt i omkringliggande konstruktionsdelar.

Vilket av dessa alternativ som bör användas för en given situation är svårt att generellt uttala sig om – dessa koncept kan vara olika optimala i olika situationer. Det första alternativet kan dock vara vanskligt att utgå ifrån, dels på grund av svårigheter att bestämma hur stora laster som "läcker" ut från tunneln och dels för att byggnaden som helhet kan bli onödigt överstark. Det andra alternativet är inte heller problemfritt men kan ändå vara att föredra eftersom strävan här är att minimera den kritiska lastpåverkan mot byggnaden. Detta alternativ drar i högre grad nytta av att den energiupptagning, som behövs för att motstå en explosion, härrör från deformationsförmåga snarare än från en hög lastkapacitet och medför därför generellt minskade dimensioner. I praktiken kan det bli aktuellt att använda sig av en kombination av ovanstående alternativ för att finna en bra lösning för en given situation.

I här föreslaget grundläggningskoncept utgås från att ovanliggande byggnader inte tar stöd mot tunneln, dvs. grundläggning sker aldrig mot själva tunnelkonstruktionen. Istället förutsätts det att byggnaden utformas på ett sådant sätt att den sträcker sig över själva tunneln och grundläggs vid sidan om, på ett givet minsta avstånd från tunneln, se figur 31 för en schematisk skiss.



Figur 31 Schematisk skiss av grundläggning för byggnad placerad ovanför tunnelsektion.

Den främsta anledningen till detta är att befintliga tunnelkonstruktioner inte är anpassade till att bära last från ovanliggande byggnader. En ytterligare anledning är dock även att en sådan konceptuell lösning skapar ett skyddande avstånd mellan tunnelkonstruktion och ovanliggande byggnad. Därmed undviks en direkt lastöverföring från tunneln till byggnaden vid händelse av en explosion inne i tunneln. Eftersom de aktuella tunnelsektionerna kan vara tämligen breda kan detta medföra utmanande spännvidder för de ovanpåliggande balkar som ska föra ner lasten från byggnaden i marken.

Vid sidan av tunnelsektionen placeras byggnadens grundläggning i form av plintar/pelare/väggar på ett avstånd $a_{vägg}$ från tunnelsektionens utsida. Därmed skapas en möjlighet för en fallerande tunnelvägg att deformeras utan att automatiskt komma i kontakt med grundläggningen. På motsvarande sätt placeras byggnadens bärande balkar med ett visst avstånd a_{tak} från tunneltaket för att därmed möjliggöra en viss rörelsemöjlighet för taket samtidigt som det även ökar dess motståndsförmåga mot en explosion. Baserat på resultat i avsnitt 0 bör omgivande jordmassor minst uppfylla villkoren $a_{vägg} \geq 2$ m och $a_{tak} \geq 2$ m för att skapa förutsättningar för att hantera explosion från 1 ton TNT eller BLEVE.

Längs de delar av Norra Länkens betongtunnlar där en sekantpålevägg om 1,3 m återfinns mellan tunnel och kvarter kan avståndet enligt ovan krympas. Den pålevägg som finns kommer framförallt ha en gynnsam inverkan på grund av att dess massa är högre än vad jorden skulle haft i motsvarande volym. Det tillskott i lastkapacitet som kan tillgodoräknas motsvarar approximativt en jordbredd på 2 m.

A.5 Sammanställning

Baserat på utförd studie kan följande sammanställning ges:

Tunnelns lastkapacitet

- Aktuella tunnelsektioner av betong bedöms inte klara av att innesluta explosionslasten från 1 ton TNT. Storleken på förväntad brottszon beror på mängden jordmassor som kan tillgodoräknas som effektivt mothåll, se **Fel! Hittar inte referenskölla.** och **Fel! Hittar inte referenskölla.**
- Aktuella tunnelsektioner bedöms klara av att innesluta explosionslasten från en BLEVE på avstånd 10 m från explosionscentrum om jordmängden ovan tak uppgår till drygt 2 m. Förväntad totaldeformation understiger 0,1 m i vägg och 0,8 m i tak.
- Aktuella tunnelsektioner bedöms klara av att innesluta explosionslasten från en stark deflagration orsakad av en gasexplosion. Förväntad totaldeformation understiger 0,1 m i vägg och 0,4 m i tak.
- Sammantaget innebär detta att det bör finnas 2-4 m jord utanför tunnelvägg och drygt 2 m jord ovanför tunneltak för att säkerställa en acceptabel motståndsförmåga hos tunneln mot en invändig explosion från 1 ton TNT eller BLEVE. Större jordmängder än så medför ytterligare gynnsamma effekter, särskilt gentemot en explosion orsakad av 1 ton TNT.
- Tunneln i berg, med bergstäckning 5-10 m, klarar av att innesluta samtliga aktuella laster. Resultande deformationer i berget bedöms understiga 5 cm.

Utformning av närliggande byggnader

De vägledningar som ges nedan främst är avsedda att hantera effekt mot närliggande byggnad från en explosion på 1 ton TNT samt BLEVE inom 10 m från explosionscentrum. Last från gasexplosion bedöms medföra förhållandevis begränsade rörelser hos tunnelkonstruktionen – maximalt 0,1 m i tunnelvägg och 0,4 m i tunneltak.

- Betongkonstruktioner som kan utsättas för explosionslast ska utföras så att de får en god plastisk deformationsförmåga. En viktig förutsättning för detta är att armeringen har goda seghetsegenskaper och nyttjad böjarmering ska därför genomgående bestå av armering av klass C.
- Motsvarande gäller för stålkonstruktioner och för att säkerställa en god plastisk deformationsförmåga hos dessa bör aktuella stålkonstruktioner utföras med tvärsnitt av klass 1.
- För grundläggningen hos intilliggande byggnader bör en deformationszon mellan vägg (som vetter mot tunnel) och bärande system (t.ex. pelare) anordnas. Om inget annat visas i en särskild utredning bör denna deformationszon uppgå till minst 1,0 m.
 - Om en sådan deformationszon inte kan säkerställas bör grundläggningen dimensioneras så att bärande konstruktionsdelar på en längd (godtyckligt placerad) om 10 m antas slås bort av en deformerande tunnelvägg.
- Ovanför takplatta accepteras att omfattande lokala skador kan uppstå i ovanliggande byggnad. Detta innebär att det bedöms vara acceptabelt att människor som befinner sig i utrymme direkt ovanför tunnel skadas allvarligt vid händelse av en explosion inne i tunneln så länge som fortskridande ras av byggnad förhindras.
 - För att reducera inverkan av en häftig deformation i tunneltak bör bärande väggar och pelare i ovanliggande byggnad ej placeras över tunnelns takplatta.
 - Om detta inte är möjligt bör byggnaden dimensioneras så att samtliga sådana väggar/pelare kan slås ut inom hela tunnelns bredd över en längd av 10 m i tunnelns längdriktning.

Referenser för bilaga A

- 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.
- 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.
- Johansson M. (2013): Gasexplosion i det fria. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, B02-121, 2013-03-11, Karlstad.
- Reinertsen (2015): Hagastaden, Explosion i tunnel. Reinertsen Sverige AB, Dokument 12101300-01/1, 2015-02-02, Göteborg.
- SIS (2008a): Eurokod 1 – Laster på bärverk – Del 1-7: Allmänna laster – Olyckslast. SIS, SS-EN 1991-1-7:2006, Stockholm.
- SIS (2008b): Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader. SIS, SS-EN 1992-1-1:2005, Stockholm.
- SIS (2008c): Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader. SIS, SS-EN 1993-1-1:2005, Stockholm.
- Trafikverket (2011): TRVK Tunnel 11, Trafikverkets tekniska krav Tunnel. Trafikverket, TRV publ nr 2011:087, november 2011, Borlänge.
- Weerheijm J., Verreault J., van den Voort M. (2016): Tunnel safety and quantitative risk analysis of gas explosions. *Proceedings from the 7th International Symposium on Tunnel Safety and Security ISTSS 2016*.

Samtliga dokument utgivna av MSB kan laddas ner gratis på www.msb.se/skyddsrum.

Bilaga B – 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 alternativt 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.

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. Med avseende på rådande säkerhetsavstånd mellan planerade byggnader och järnvägsspåret kan konstateras att krav enligt Eurokoderna innehålls. 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:

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

$$e_r = \begin{array}{l} \text{urspårningsfrekvens per tågkm, } 0,25 \times 10^{-8} / \text{tågkm (persontåg) resp.} \\ 2,5 \times 10^{-8} / \text{tågkm (godståg)} \end{array}$$

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

$$Z_d = \text{antal tåg per dygn}$$

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 1400 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 växlers förväntande påverkan på urspårningsfrekvensen. Jämförelsen anses påvisa att metod presenterad av UIC återger verklighetstroga resultat.

Med hjälp av ekvation framtagen av UIC beräknas urspårningsfrekvensen till:

$F_{1 \text{ godståg}} = 2,5^{-8} \times \frac{70^2}{80} \times 10 \times 0,5 \text{ (aktuell sträcka genom planområdet är 500)} \times 365 \times 10^{-3} = 2,8 \times 10^{-6}$, vilket motsvarar ca 1 urspårning på 357 142 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.

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, inga växlar, inga kraftiga sluttningar mot det skyddsvärda) inom planområdet är bedömningen att resultatet enligt UIC:s presenterade samband kan anses tillförlitligt.

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 hårgjord 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 kan antas att kemikalier på Värtabanan kommer transporteras i tunnväggiga tankvagnar.

Frekvensen för att en farligt godsolycka ska uppstå kan med ovanstående indata och antaganden beräknas till 3×10^{-8} , vilket motsvarar ca en olycka på 34 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 $1,5 \times 10^{-9}$, vilket motsvarar en frekvens om ca händelse på 1 miljard år. Det bör även noteras att olyckor involverande andra farligt godsklasser, exempelvis oxiderande ämnen klass 5, är förknippade med längre och komplexa händelsekedjor varför sannolikheten för att en sådan olycka ska leda till allvarlig omgivningspåverkan är ännu lägre.

Ovanstående redovisade frekvensberäkningar avseende risk för urspårning och farligt godsolycka beaktar inte inverkan av det urspårningsskydd som järnvägsspåret inom planområdet kommer att förse med. Urspårningsräler ligger strax innanför det ordinarie spåret och syftar till att hålla kvar urspårade hjul inom spårområdet, vilket följaktligen minskar sannolikheten att en urspårad vagn välter som i tur kan ge upphov till en farligt godsolycka. Det är vidare oklart hur effektiva urspårningsräler är som befinner sig framför och bakom växlar, då det finns risk att vagn välter vid passage genom växel. Med avseende på att aktuell stäcka av Värtabanan utgörs av rakspår utan spårväxlar kan införandet av urspårningsräler i avsevärd grad⁴ antas förhindra uppkomsten av en farlig urspårning med stora sidoavvikelser respektive en farligt godsolycka inom planområdet.

Utan att genomföra några fördjupade konsekvensbedömningar av potentiella händelseförlopp kan det, med utgångspunkt från Stockholm Hamnars stipulerade restriktioner avseende farligt godshantering samt Stockholms Exergis och Cementas transportbehov, även konstateras att skadezonen⁵ av en potentiell farligt godsolycka är relativt begränsad. Med hänsyn till detta och den extremt låga sannolikheten för urspårning givet införlivandet av urspårningsskydd längs med hela banan genom planområdet konstateras att risknivån i direkt anslutning till Värtabanan är acceptabel. Järnvägens bidrag till samhällsrisknivåerna inom planområdet kan betraktas som försumbara.

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.

⁴ Det finns ingen tillförlitlig statistik/väglösning avseende en kvantitativ uppskattning av urspårningsrälers effektivitet, men i andra riskbedömningar [6] har införandet antagits minska sannolikheten för en farlig urspårning med 90 %.

⁵ Med skadezon avses det område där risk för allvarliga personskador alternativt dödsfall föreligger.

Referenser Bilaga B

- [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 C – Konsekvensanalys - olycka med brännbar gas i det fria

C.1 Orientering

I figur 33 kan planerade byggnader i förhållande till E4/E20 i det fria åskådliggöras. Aktuell del av vägnetet i det fria ligger nedsänkt i ett betongtråg som är ca 6 meter högt. Störst hot för människor inom planområdet är om en olycka inträffar i höjd med Stallmästartunnels tunnelmynningen, vilket är utgångspunkten för denna fördjupade konsekvensanalys. Till E4:an uppgår avståndet till 40-80 meter.



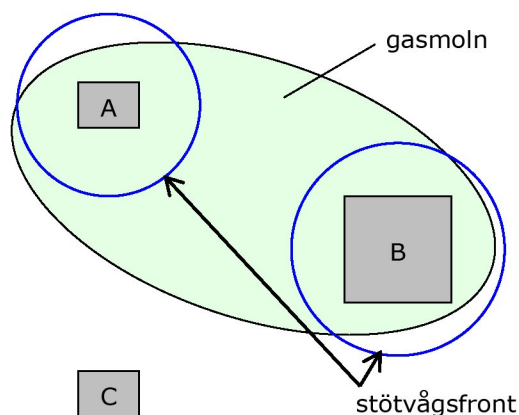
Figur 32. Planerade byggnader i förhållande till Norra Länken och värsta tänkbara explosionscentrum.

C.2 Teori

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) som utgör en av flera delrapport i utgiven rapportserie från MSB som finns tillgänglig www.msb.se/skyddsrum.

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 34 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

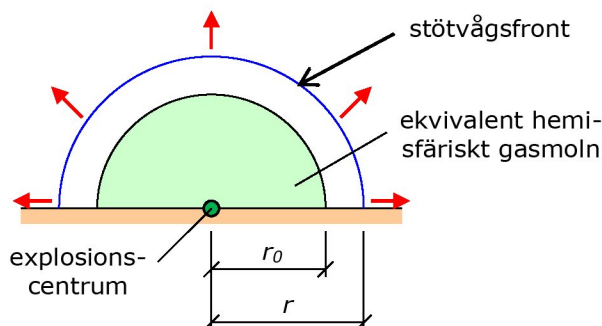
men då med en lägre styrka. En sådan explosion baseras då på den totala gasvolym som befinner sig utanför område A och B.



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 35. 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.

C.3 Förutsättningar

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 och styrkefaktor

Utgångspunkten för beräkningarna är att en olycka inträffar vid tunnelmynning till Norra Länken. Storleken på en blockerad gasvolym, som kan ge upphov till en kraftig gasexplosion, utgår härifrån att ansamling sker i tråget framför tunnelmynning. Trågets höjd är ca 6 meter och infarten till norra Länken består av två körfält om 3,5 meter per körfält. Total bredd i tråget uppgår till ca 8 meter. Med en ansatt utbredning i längdled om ca 20 meter från mynningen kan en uppskattad blockerad gasvolym beräknas till ca 1000 m³. Detta scenario bedöms motsvara en form av worse case scenario sett till potentiell skadeomfattning inom planområdet.

Följande styrkefaktor tillämpas i beräkningar:

- En styrkefaktor på $s = 5$ motsvarar en gasexplosion i en **blockerad volym**.
 - Scenariot grundar sig på att tråget ger upphov till en form av två dimensionell blockering av gasvolymen.

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 %. Gastransporterna förbi planområdet bedöms i princip uteslutande utgöras av naturgas (LNG – *Liquefied Natural Gas*). 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 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 kPa).

För det fall att en gasexplosion uppstår så utgår här använd beräkningsmetod från ett energiinnehåll som motsvarar en stökiometrisk 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 $s = 5$ är ett högt ansatt värde sett till möjlig blockerad volym samt för att LNG (metan) utgör en lågreaktiv gas. Beräkningarna bör därmed ses som konservativa.

Avstånd

I de framtagna laster som presenteras i detta dokument har utgått från ett minst avstånd på $r = 25$ m mellan explosionscentrum och byggnadsfasad. Detta avstånd grundar sig på att det som lägst är 20 meter från tunnelmynning till närmsta byggnadshörn, vilket ger ett närmsta explosionscentrum om ca 25 meter.

Beräkningarna tar ej någon hänsyn till den positiva effekt tråget har för att skydda planområdet vid en explosion med explosionscentrum på Norra Länken.

C.4 Beräkningsresultat

I tabell 9 återfinns en samanställning av resulterande last från studerad gasexplosion. Last presenteras för reflekterad stötvåg på olika avstånd från explosionscentrum. Angivna värden beaktar enbart normalreflexion.

Tabell 8. Resulterande last från reflekterad luftstötvåg orsakad av gasexplosion på avstånd 60-90 m från explosionscentrum.

Beskrivning	r [m]	V [m ³]	s [-]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [Pas]
Gasexplosion, blockerad - NL mynning	25	1 000	5	33,75	66	1108
Gasexplosion, blockerad - NL mynning	30	1 000	5	27,84	66	917
Gasexplosion, blockerad - NL mynning	35	1 000	5	23,69	66	782
Gasexplosion, blockerad - NL mynning	40	1 000	5	20,61	66	682
Gasexplosion, blockerad - NL mynning	45	1 000	5	18,24	66	604
Gasexplosion, blockerad - NL mynning	50	1 000	5	16,36	66	542
Gasexplosion, blockerad - NL mynning	55	1 000	5	14,83	66	492

Sett till redogjorda laster 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 riskerar ej att falla. Glaspartierna i fasad kan emellertid förväntas brista och kastas in i byggnaden. 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 ger en grov uppskattning om på vilka avstånd glaspartier kan förväntas brista. Människor innanför byggnaden kan således komma att skadas till följd av inkastat glas. 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) och som åskådliggörs i figur 36, 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 35. 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 som representerar lite tjockare glastyper (totalt glastjocklek > 8 mm).

Resultat av utförda beräkningar redogörs i tabell 10.

Tabell 9. Dödlighet innanför fasad baserat på last från studerad gasmolnexplosion. Avstånd från explosionscentrum varierar från 60 – 90 meter.

γ	r	i	v	s_h	Inom s_h
[kg/m ³]	[m]	[Pas]	[m/s]	[m]	dödlighet
50	25	1108	22,17	12,3	50%-100%
75	25	1108	14,78	8,2	1%-50%
50	35	782	15,64	8,7	1%-50%
75	35	782	10,43	5,8	1%-50%
50	45	604	12,08	6,7	1%-50%
75	45	604	8,06	4,5	1%-50%
50	55	492	9,84	5,4	1%-50%
75	55	492	6,56	3,6	1%-50%

Av utförda beräkningar kan konstateras att människor innanför den mest utsatta fasaden placerad ca 20 meter från mynning är tämligen säkra vid studerad gasmolnsexplosion. Risken för att allvarligt påverkas/omkomna begränsas till ett område om max ca 5-8 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 mynningen där risken för allvarlig påverkan primärt bedöms föreligga i de undre våningarna. Inom lokaler längre bort från mynningen förväntas människor vara säkra. Det bör noteras att beräkningarna inte tar någon hänsyn till den positiva effekt som erhålls av träget om 6 meter.

Det bör vidare noteras att lasten från studerad gasmolnexplosion täcker in skadeomfattning från förväntat tryckvåg till följd av en BLEVE som kan antas motsvara en explosion om ca 60 kg TNT. 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. I tabell 4 återfinns en sammanställning av resulterande last från studerad explosion om 60 kg TNT som inträffar på

körbana, d.v.s. på marken. Last presenteras för reflekterad stötvåg på olika avstånd från explosionscentrum. Angivna värden beaktar enbart normalreflexion. Vid jämförelse av dessa värden med lastvärden från studerad gasmolnsexplosion som återfinns i tabell 11 kan konstateras att studerad gasmolnsexplosion även täcker in skadorna från förväntad tryckvåg vid en BLEVE.

Tabell 10. Resultaterande last från reflekterad luftstötvåg orsakad av explosion motsvarande 60 kg TNT (innefattar BLEVE) på avstånd 60-90 m från explosionscentrum.

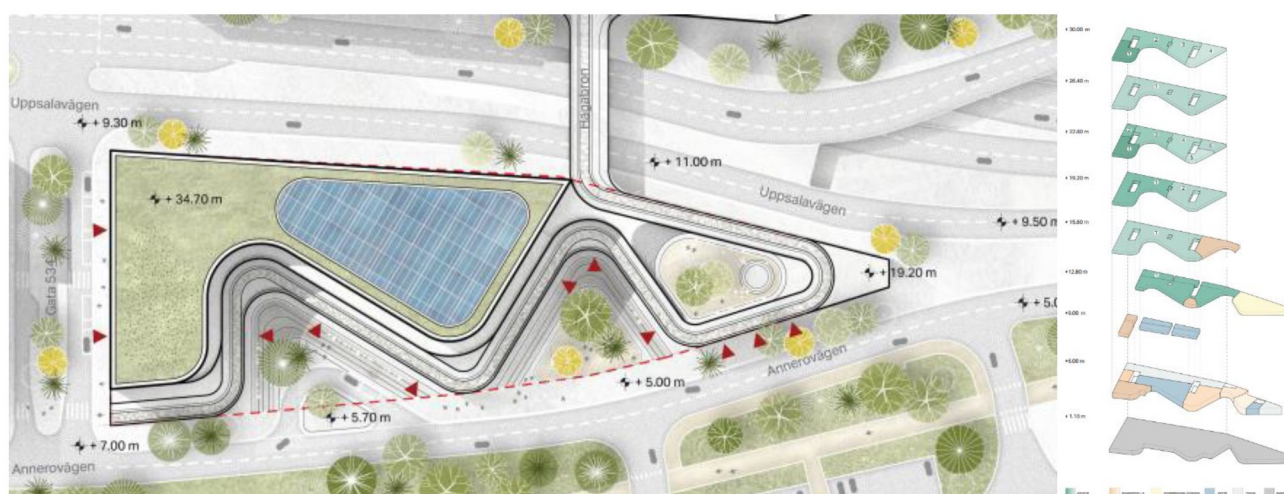
Beskrivning	r [m]	W_{mod} [kg]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [Pas]
60 kg TNT (innefattar BLEVE)	25	108	65,0	11,6	377
60 kg TNT (innefattar BLEVE)	30	108	46,7	13,3	310
60 kg TNT (innefattar BLEVE)	35	108	36,6	14,4	263
60 kg TNT (innefattar BLEVE)	40	108	30,2	15,1	229
60 kg TNT (innefattar BLEVE)	45	108	25,5	16,0	204
60 kg TNT (innefattar BLEVE)	50	108	21,8	16,7	182
60 kg TNT (innefattar BLEVE)	55	108	19,1	17,2	165

Beräkningar tar ingen hänsyn till den skyddande effekt som betongtråget om ca 6 meter förväntas ge upphov till. Skadorna till följd av inkastade glaspartier vid händelse av en BLEVE kan på samma sätt som för studerad gasexplosion betraktas som ringa. Vid en BLEVE innebär dock uppkommit eldklotet, med en radie om ca 200 m, det största hotet mot omgivningen. Störst risk att omkomma löper människor utomhus som blir direkt exponerade av den intensiva värmeeffekten från eldklotet. Människor inomhus bedöms tämligen skyddade så länge byggnadens fasad är intakt, d.v.s. så länge eldklotet förhindras ta sig in i byggnaden. Sett till redogjorda laster från en karakteristisk tryckvåg vid en BLEVE (tabell 11) kan konstateras att skadeomfattningen inomhus förväntas bli begränsad till byggnadsdel närmast tunnelmynningen. Fasad på byggnadsdel längre bort från mynningen kan förväntas hållas intakt.

C.5 Slutsatser

I princip krävs att en olycka med brännbar gas inträffar i höjd med tunnelmynningen för att konsekvenser ska uppstå inom planområdet, vilket givetvis är högst osannolikt. Aktuell markanvändning och tänkt utformning av byggnad i förhållande till Norra Länken innebär att ett bra skydd skapas mot att förhindra allvarliga konsekvenser vid en olycka med brännbar gas som leder till ett explosionsscenario, även i det fall en olycka inträffar i höjd med tunnelmynningen.

Utsatt "spets" som vetter mot transportleden planeras i enlighet med figur 36 att innehålla verksamheter som ej uppmuntrar till stadigvarande vistelse, t.ex. parkering, teknikrum, återtinningsrum, direkt innanför fasad inom byggnadsdelens två lägre våningsplan. Detta innebär att skadepotentialen givet en allvarlig olycka som inträffar vid mynningen begränsas. Inga övriga byggnadsdelar förväntas allvarligt kunna påverkas vid en allvarlig olycka vid tunnelmynningen.



Figur 36. Översikt av kvarter 15 och dess byggnadsdisposition.

I jämförelse med en byggnadsplacering längs med en farligt godsled helt i det fria innebär aktuella förutsättningar mycket gynnsamma förutsättningar. Inga särskilda åtgärder för att hantera olyckor med transporter av brännbar gas bedöms vara nödvändigt för att säkerställa godtagbara risknivåer inom planområdet. Det bör tydliggöras att det i princip är ogörligt att helt skydda sig mot konsekvenser vid dessa typer av olycksförlopp vid fysisk planering intill farligt godsled.

Referenser för Bilaga C

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): Våldautsläpp 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.

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

Planas-Cuchi E., Gasulla N., Ventosa A., Casal J. (2004): Explosion of a road tanker containing liquefied natural gas. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 17 (2004), sida 315-321.

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.

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

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

Bilaga D – Konsekvensanalys - olycka med brandfarlig vätska i det fria

D.1 Acceptanskriterier

Byggnadens utformning ska ge godtagbart skydd mot brand- och brandgasspridning vid olycka på intilliggande vägar. Byggnadens utformning ska möjliggöra en säker utrymning i händelse av sådan olycka.

Med utgångspunkt i kriterier enligt BBRAD görs tolkningen att detta anses uppfyllt om följande påvisas:

- För att förhindra brandspridning in i aktuell byggnad ska strålningsnivåer på den sida av fönster som ej vetter mot branden, dvs. på insidan, ej överstiga 15 kW/m².
- Utrymmande personer får utsättas för max 2,5 kW/m² eller en kortvarig strålning på max 10 kW/m² i kombination med max 60 kJ/m² utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m².

D.2 Beräkning av infallande strålning

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.

D.3 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.

Dimensionerande brandscenario antas 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 ca 5 meter och det föreligger en kraftig lutning ner mot tunneln vid Stallmästatunneln mynningen anses scenariot vara mycket konservativt.

Avståndet mellan det antagna läget för pölen på vägbanan och fasad kommer att varieras i beräkningarna.

Som känslighetsanalys analyseras även effekten från en cirkulär pölbrand om 200 m².

D.4 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 [1] 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 [2] 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 strålande 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. Som känslighetsanalys studeras även strålningsnivåer på 50 respektive 70 kW/m².

D.5 Synfaktor (Φ)

Synfaktorn bestäms genom att branden approximeras till en rektangulär strålande 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:

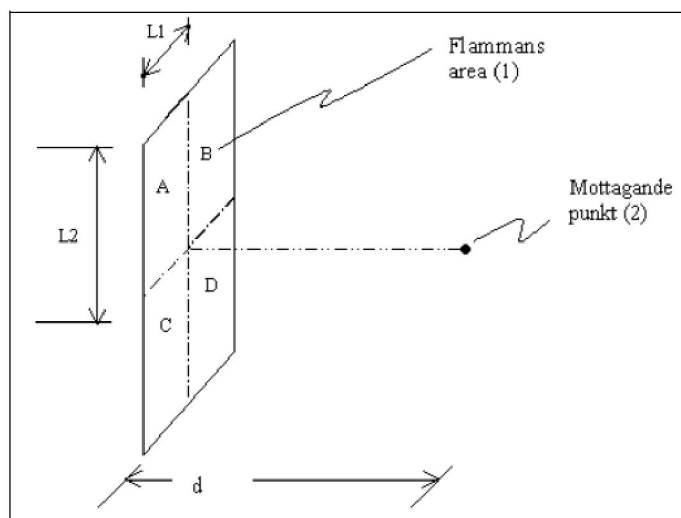
$$H_f = 0.23 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1.02D$$

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

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

För bensin är förbränningshastighet ($\dot{m}''$) 0.055 kg/m²s, förbränningsvärme (ΔH_c) 43.7 MJ/kg och förbränningseffektiviteten (χ) 0.7 [4].

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 37.



Figur 37. Synfaktor

Synfaktorer beräknas enligt ekvationer i The SFPE Handbook [3].

D.6 Beräkningsresultat

Den infallande strålningsintensiteten mot fasad ($\dot{q}''_{max}$) beräknas med följande uttryck, enligt [4]:

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

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 tabeller nedan.

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

Avstånd till brand	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 50$ kW/m ²	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 60$ kW/m²	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 70$ kW/m ²
10	18,10	21,72	25,34
15	10,32	12,39	14,45
20	6,45	7,75	9,04
25	4,36	5,23	6,10
30	3,12	3,74	4,37
35	2,33	2,80	3,27
40	1,81	2,17	2,53

Pölstorlek om 200 m², $H_f = 21.1$ m och $D = 16.0$ m

Avstånd till brand	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 50$ kW/m ²	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 60$ kW/m²	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 70$ kW/m ²
10	24,99	29,99	34,99
15	15,75	18,90	22,04
20	10,39	12,47	14,54
25	7,23	8,68	10,12
30	5,27	6,33	7,38
35	3,99	4,79	5,59
40	3,12	3,75	4,37

D.7 Den naturliga barriärens strålningsdämpande funktion

Ovanstående beräkningsresultat tar ingen hänsyn till det naturliga strålningsskydd som aktuell barriär ger upphov till. Förenklat (utan hänsyn till att majoriteten av den utsända strålningen sker från den nedre delen av flamman) kan sägas att barriären om ca 6 meter kommer att reducera den potentiella strålande ytan motsvarande flamhöjden (H_f) minus 6 meter.

Infallande strålningsintensitet på olika avstånd till branden med hänsyn till trågets strålningsdämpade funktion presenteras i tabeller nedan.

Pölstorlek om 100 m², $H_f = 16.8 - 6 = 10.8$ m och $D = 11.3$ m

Avstånd till brand	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 50$ kW/m ²	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 60$ kW/m²	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 70$ kW/m ²
10	13,81	16,58	19,34
15	7,31	8,77	10,23
20	4,41	5,29	6,17
25	2,92	3,50	4,08
30	2,06	2,48	2,89
35	1,53	1,84	2,15
40	1,18	1,42	1,66

Pölstorlek om 200 m², $H_f = 21.1 - 6 = 15.1$ m och $D = 16.0$ m

Avstånd till brand	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 50$ kW/m ²	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 60$ kW/m²	Infallande strålning [kW/m ²] givet $E = 70$ kW/m ²
10	21,31	25,57	29,83
15	12,56	15,08	17,59
20	7,98	9,58	11,17
25	5,43	6,52	7,61
30	3,91	4,69	5,47
35	2,94	3,52	4,11
40	2,28	2,74	3,19

D.8 Sammanfattade diskussion och slutsatser

Beräkningar avseende infallande strålningsnivå på planerad byggnads södra fasad som vetter mot Stallmästartunnelns har genomförts för att bestämma hur brandskyddet ska utformas med hänsyn till risken för olycka involverande farligt gods ADR-S klass 3. Infallande strålning är beräknat för den punkt på fasaden som utsätts för högst strålning, dvs. vinkelrätt från flammans centrum. Att sticklågor från en pölbrand skulle nå fasad på detta avstånd bedöms inte vara troligt.

För det dimensionerande scenariot (pölstorlek om 100 m²) påvisar beräkningarna att trågets strålningsdämpande funktion innebär en reduktion av den infallande strålningsnivån om ca 33 %. Med hänsyn till trågets strålningsdämpande funktion beräknas den infallande strålningen mot fasad på ett avstånd 20 meter bort från körbanan till ca 5,3 kW/m² för det dimensionerande brandscenariot (pölstorlek om 100 m², med en utsänd strålning om 60 kW/m²). Känslighetsanalysen påvisar att det för en pölbrand om 200 m² inte heller föreligger risk för brandspridning till planerad byggnad.

I beräkningar har ingen hänsyn tagits till vindpåverkan, som vid ofördelaktig vind skulle kunna medföra att flammen tilar mot byggnaden. Med hänsyn till att den naturliga barriären förväntas minimera vindens potentiella påverkan på flammen samt den goda säkerhetsmarginalen som finns mellan beräknad infallande strålning på fasad och gränsvärdet för acceptabel strålningsnivå (15 kW/m²) i enlighet med utförd känslighetsanalys bedöms inte en ofördelaktig vindriktning påverka slutsatserna av beräkningsresultaten.

Slutsatsen är att rådande säkerhetsavstånd om ca 20 meter i kombination med barriärens strålningsdämpande funktion medföra ett tillfredställande skydd avseende risken för brandspridning i händelse av pölbrand till följd av en olycka involverande farligt gods ADR-S klass 3 på E4/E20 i det fria. Resultaten påvisar att glaspartier i fasad inte behöver utföras i brandteknisk klass för att säkerställa ett tillfredställande skydd mot brandspridning.

Icke brandklassade fönster har en viss strålningsreducerande effekt (ca 30-50 % beroende på utförande av antal glasskikt) som kommer att medverka i att ytterligare reducera strålningen innanför fasaden [7]. För att kunna tillgodose vanliga oklassade fönsters strålningsreducerande effekt behövs säkerställas att dessa förblir intakta under brandförloppet. Försök har visat att vanligt oklassat glas (floatglas) kan gå sönder till följd av uppkomna dragspänningar i fönsterkanterna vid en strålningspåverkan om ca 10 kW/m² [5]. Härdat och laminerat glas har påvisats kunna tåla en värmepåverkan om ca 20 kW/m² [4 & 5]. Sett till att den förväntade infallande strålningen mot fasad uppgår till ca 5,3 kW/m² för det dimensionerade brandscenariot samt med hänsyn till resultaten av utförd känslighetsanalys är bedömningen att glaspartier i fasad kan utformas utan särskild hänsyn till brandmotstånd.

Med hänsyn till glaspartiernas strålningsreducerande effekt förväntas strålningsdoserna mot människor direkt innanför fasad understiga 3-4 kW/m². 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 kW/m² eller en kortvarig strålning på max 10 kW/m² i kombination med max 60 kJ/m² utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m². För att säkerställa möjligheterna till en trygg utrymning bör byggnaden utföras med en alternativ utrymningsväg som mynnar åt sida bort från mynningen, detta för att säkerställa att utrymmande kan ta sig till det fria på ett betryggande avstånd från en pölbrand på transportleden.

För att minska risken för att brandgaser trycks in i byggnaden via ventilationssystemet rekommenderas att friskluftsintag placeras högt eller på sida bort från mynningen.

Referenser för Bilaga D

- [1] Shokri, M. & Beyler, C.L., Radiation from large pool fires, J. of Fire Prot. Engr., 1 (4), pp 141–150, 1989.
- [2] Hägglund, B & Persson, L.E. The heat radiation from petroleum fires, FOA, rapport C30126-D6, 1976.
- [3] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association 2nd ed. Quincy, MA, 1995.
- [4] Brandteknik (2005). Brandskyddshandboken. Rapport 3134, Lund Tekniska Högskola, Lund.
- [5] PM Brandskydd glasad fasadkonstruktion, Park 1, Nybyggnad av Samverkancentral mm, ACC Glasrådgivare AB, 2013.