

Rapport

Handläggare
Sohrab Nassiri
Oscar Lindén
Tel
010 505 32 42
Mobil
0702 52 99 02
E-post
Sohrab.nassiri@afry.com
Oscar.linden@afry.com

Datum
2021-01-22

Projekt ID
763254

Rapport-ID
784301
Kund
Göteborgs Stad

Riskanalys Norr om Nordstan

Intern kvalitetsgranskning: Veronica Lindbom

| Ver | Typ | Datum | Framtagen av | Granskad av |
|-----|-------------|------------|--------------------------------|-------------------|
| 3 | Slutversion | 2021-01-22 | Sohrab Nassiri Oscar Lindén | Veronica Lindblom |
| 2 | Utkast 2 | 2020-11-13 | Sohrab Nassiri Oscar Lindén | Veronica Lindblom |
| 1 | Utkast 1 | 2020-08-26 | Sohrab Nassiri Oscar Lindén | Veronica Lindblom |

Innehållsförteckning

| | | |
|-------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Inledning..... | 5 |
| 1.1 | Bakgrund och syfte..... | 5 |
| 1.2 | Avgränsningar | 5 |
| 2 | Metod | 6 |
| 2.1 | Allmänt..... | 6 |
| 2.2 | Genomförande och workshop..... | 7 |
| 2.3 | Riskvärdering | 7 |
| 3 | Beskrivning av detaljplanen | 9 |
| 4 | Resultat | 11 |
| 4.1 | Riskidentifiering | 11 |
| 4.2 | Riskvärdering | 12 |
| 4.2.1 | Händelse 1 & 2 - Urspårning och elolycka västlänken-tunneln.... | 12 |
| 4.2.2 | Händelse 4 – Utrymning från Västlänken-uppgångar | 13 |
| 4.2.3 | Händelse 6 – Gasbussar / elbussar genom byggnadstunnel | 13 |
| 4.2.4 | Händelse 7 – spårvagnstrafik genom byggnadstunnel | 14 |
| 4.2.5 | Händelse 9 – Påkörning av Hisingsbrons pelare..... | 14 |
| 4.2.6 | Händelse 20 – Läckage med antändning gasregleringsstation | 14 |
| 4.3 | Rekommendationer | 15 |
| 5 | Slutsats..... | 17 |

Bilagor

Bilaga A.....Grovanalys protokoll

Bilaga B..... Riskbedömning gas- och elbussar genom Norr om Nordstan

Sammanfattning

Stadsbyggnadskontoret i Göteborgs stad har fått i uppdrag att ta fram en detaljplan för bostäder, verksamheter och uppgångar för Västlänken norr om Nordstan inom stadsdelarna Nordstan och Gullbergsvass. Planområdet är beläget nordväst om Göteborgs Centralstation, norr om gallerian Nordstan. Området ingår i stadsutvecklingsprojektet Älvstaden, delområde Centralenområdet.

Då aktuell detaljplan angränsar till flertalet potentiella riskobjekt behöver personrisker avseende människors liv och hälsa utredas, vilket görs som en del av MKB (Miljökonsekvensbeskrivningen). Syftet med denna utredning är därför att identifiera risker inom detaljplanen med fokus på personers hälsa. Identifierade risker dokumenteras tillsammans med dess orsaker och konsekvenser samt värderas med hjälp av en riskmatris. Åtgärdsförslag samt riskreducerande åtgärder ges där så är relevant. Målet med riskutredningen är att göra en grov inventering av skadehändelser, som sedan kan tas vidare genom andra analyser om behov för detta finns.

Riskutredningen har identifierat och riskvärderat ett 20-tal skadehändelser. Av dessa är inga skadehändelser oacceptabla (röda), tre skadehändelser är gula (kräver åtgärd eller utredas ytterligare) och resterande är antingen acceptabla eller har av olika anledningar inte värderats i detta skede. Riskvärderingarna förutsätter att de listade planerade åtgärderna / befintliga skydd som beskrivs i bilaga A kommer att finnas när detaljplanen realiserar.

De tre skadehändelser som fortsatt är gula:

- Gasbussar / elbussar genom byggnader (händelse 6)
- Spårvagnstrafik genom byggnader (händelse 7)
- Gasregleringsstationen (händelse 20)

För dessa skadehändelser föreslås följande:

- Händelse 6 – Detaljutredning har genomförts i Bilaga B och följande rekommendationer ges:
 - o Generiska trafiksäkerhetshöjande åtgärder bör övervägas, såsom adekvat hastighetsbegränsning, vägräcken och mittseparering.
 - o Bärverk dimensioneras för 60 minuter eller högre enligt kolvätekurvan i standarden SS-EN 1363-2. Notera att även integritet och röktäthet ska uppfylla motsvarande kravnivå.
 - o Byggnadsfasader och fönster över tunnelmynningarna ska upp till 20 meters höjd över broramp vara brandklassade EW30 eller högre.
 - o Inom 80 meter från respektive tunnelmynning bör splitterfritt glas övervägas.
 - o Friskluftsintag placeras på tak eller fasad minst 15 meter över marknivå.
 - o Fönster för byggnaderna över tunnarna bör, på höjd upp till 15 meter över mark, utformas ej öppningsbara.
 - o Åtminstone de fem nedersta våningarna av byggnaderna över tunnarna bör allokeras för kontor.
 - o Vid en explosion i tunneln kommer tunnelns väggar och tak att utsättas för en potentiellt stark tryckvåg. En CFD-simulering (3d-

modell) ska genomföras i projekteringsfas för att säkerställa att adekvata riskreducerande åtgärder för explosionslaster vidtas. Konsekvensreducerande byggnadstekniska åtgärder ska vidtas för att säkerställa konstruktionens integritet i händelse av en explosion i tunneln eller tunnelmynningen, baserat på resultaten av CFD-beräkningar. Nedan anges avstånd som i dagsläget bedöms gälla, men som i framtiden kan justeras av CFD-beräkningar i projekteringskedet:

- Inom 80 meter från respektive tunnelmynning bör splitterfritt glas övervägas.
 - Ett minsta avstånd om 40 meter erfordras mellan hållplatser och respektive tunnelmynning.
 - Inom 80 meter från tunnelmynning utförs hållplatskurernas glaspartier splitterfria.
- Händelse 7 - Säkerställ kollisionsskydd (t.ex. mittseparering) samt hastighetsbegränsning.
 - Händelse 20 - Så länge skyddsavstånd och påkörningsskydd följer det som anges i MSBFS 2009:7 kap. 4 § 4 för MR-stationer, så bedöms den identifierade risken som acceptabel.

Om förslagna säkerhetshöjande åtgärder tas i beaktande i detaljplanen bedöms föreslagen exploatering vara möjlig och acceptabel ur ett personriskperspektiv.

1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

Stadsbyggnadskontoret i Göteborgs stad har fått i uppdrag att ta fram en detaljplan för bostäder, verksamheter och uppgångar för Västlänken norr om Nordstan inom stadsdelarna Nordstan och Gullbergsvass. Planområdet är beläget nordväst om Göteborgs Centralstation, norr om gallerian Nordstan. Området ingår i stadsutvecklingsprojektet Älvstaden, delområde Centralenområdet.

Då aktuell detaljplan angränsar till flertalet potentiella riskobjekt behöver personrisker avseende människors liv och hälsa utredas, vilket görs som en del av MKB (Miljökonsekvensbeskrivningen). Syftet med denna utredning är därför att identifiera risker inom detaljplanen med fokus på personers hälsa. Identifierade risker dokumenteras tillsammans med dess orsaker och konsekvenser samt värderas med hjälp av en riskmatris. Åtgärdsförslag samt riskreducerande åtgärder ges där så är relevant. Målet med riskutredningen är att göra en grov inventering av skadehändelser, som sedan kan tas vidare genom andra analyser om behov för detta finns.

1.2 Avgränsningar

Utredningen omfattar endast plötsligt inträffade händelser med potentiella konsekvenser inom planområdets gränser. Händelser som relaterar till långvarig exponering (exempelvis buller/vibrationer, luft- och markföroreningar, påverkan på miljö samt geotekniska förutsättningar) ingår ej i riskutredningen utan tas om hand i andra delar av MKB:n.

2 Metod

2.1 Allmänt

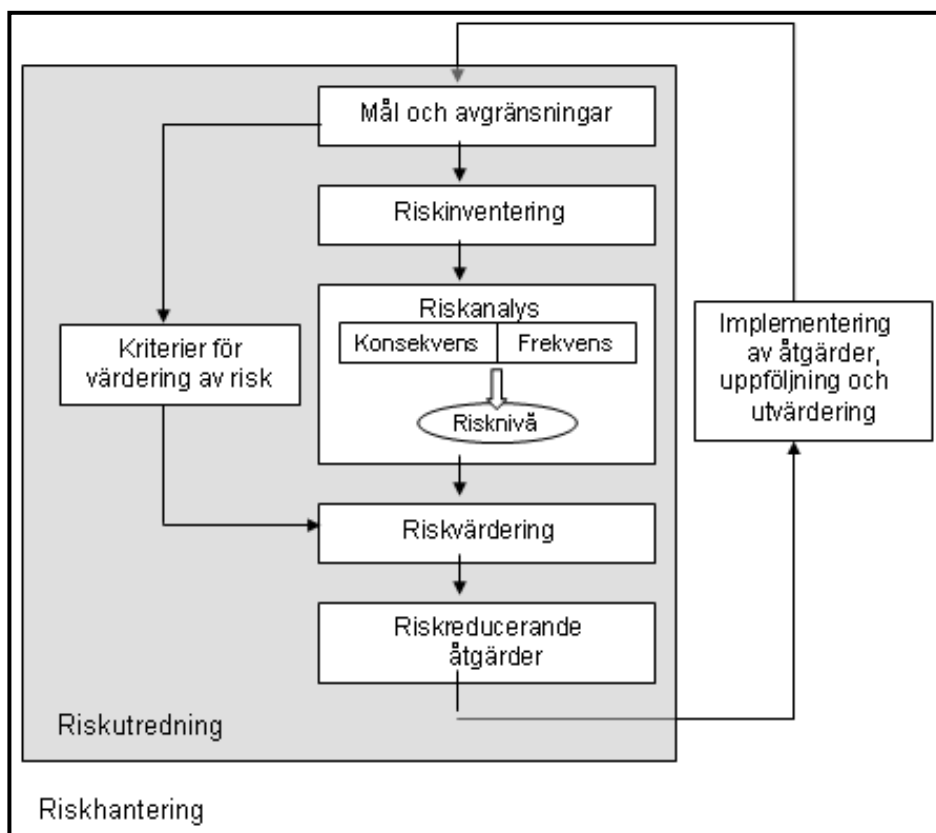
Att genomföra en riskutredning innebär i sig flera olika delmoment. Inledningsvis bestäms de **mål och avgränsningar** som gäller för den aktuella riskutredningen. Även principer för hur risken värderas ska fastställas.

Därefter tar **riskinventeringen** vid, som syftar till att förstå vilka risker som påverkar riskbilden för det aktuella objektet. Aktuella olycksscenario presenteras i en så kallad olyckskatalog.

I **riskanalysen** analyseras sedan de identifierade olycksscenarioerna avseende deras konsekvenser och sannolikhet. Riskanalysen kan göras kvalitativt eller kvantitativt beroende på omfattningen av riskutredningen.

I **riskvärderingen** jämförs resultatet från riskanalysen med principer för värdering av risk för att avgöra om risken är acceptabel eller ej. Utifrån resultatet av riskvärderingen undersöks behovet av **riskreducerande åtgärder**.

Riskutredningen är en regelbundet återkommande del av den totala riskhanteringsprocessen där en kontinuerlig implementering av riskreducerande åtgärder, uppföljning av processen och utvärdering av resultatet är utmärkande. Processen åskådliggörs i Figur 2-1 nedan.



Figur 2-1. Riskhanteringsprocessen.

2.2 Genomförande och workshop

Arbetet har utförts genom att AFRY tillsammans med intressenter i detaljplanen har genomfört en grovanalys. I grovanalysen har en erfarenhetsmässig bedömning av sannolikheten och konsekvenserna för de identifierade skadehändelserna sedan genomförts. Målet med analysen har varit att ta fram en grov riskbild. Där det finns behov för ytterligare förfining av denna bild, har detta uppmärksammats genom förslag till fördjupande studier.

Den 19:e maj 2020 genomfördes en grovanalys av detaljplan Norr om Nordstan som en virtuell workshop (pga rådande situation med Covid 19-pandemin). AFRY ledde och dokumenterade mötet. Följande personer deltog på workshop:

Tabell 2-1 Deltagare virtuell workshop, grovanalys.

| Namn | Bolag | Funktion |
|---------------------|--------------------|-----------------------------|
| Emir Aganovic | Göteborgs Stad | Projektledare detaljplan |
| Catharina Migell | Trafikkontoret | Funktion: Plansamordnare TK |
| Jeanette Strandelin | Fastighetskontoret | |
| Davor Senohradski | Trafikverket | |
| Martin Lindfred | Trafikverket | |
| Sohrab Nassiri | AFRY | Analysdokumentation |
| Oscar Lindén | AFRY | Analysledare |

Protokoll från workshop återfinns i sin helhet i bilaga A.

2.3 Riskvärdering

Identifierade skadehändelser i detaljplanen med potentiell påverkan på tredje person har värderats utifrån sannolikhet och konsekvens:

$$\text{Risk} = \text{Sannolikhet} \times \text{Konsekvens}$$

I riskmatrisen i Figur 2-2 har sannolikhet och konsekvens delats in i fem delsteg, där 5 är maximum (högsta sannolikheten och värsta konsekvens/skada) och 1 är minimum (lägst sannolikhet och lindrigaste konsekvens/skada).

Sannolikheten för att en skada skall inträffa anges i skadetillfällen per år. Här måste beaktas att skalan för sannolikhet är en exponentiell skala, där 5 motsvarar en händelse som bedöms inträffa mer än en gång per år, medan sannolikheten 1 motsvarar en händelse som bedöms inträffa mindre än en gång per tusen år. Uppskattning av sannolikheten för en olycka baseras på ingenjörsmässig erfarenhet av den aktuella verksamheten och dess olyckshändelser och tillbud. Konsekvenserna anges i en relativ skala för människors liv och hälsa.

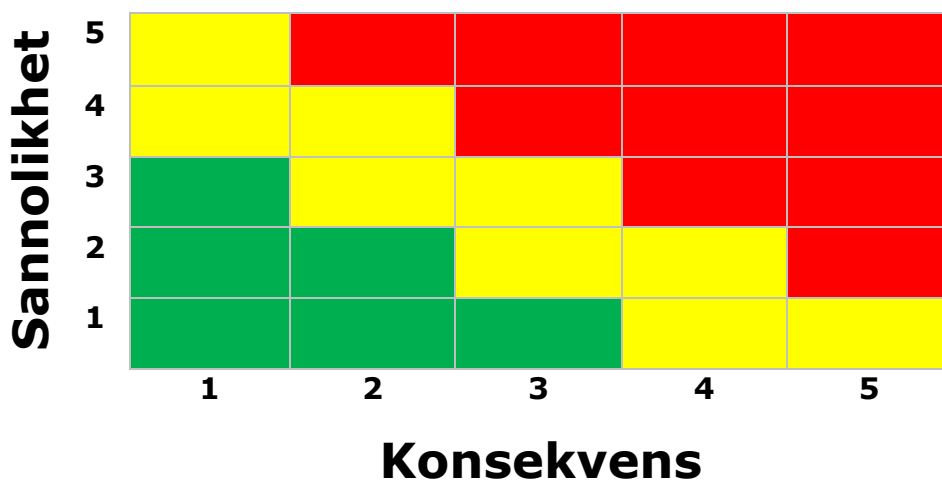
Konsekvens- och sannolikhetsvärderingarna har tagit hänsyn till befintliga skyddsåtgärder, i den mån det har varit möjligt. Då detaljplanen befann sig i ett tidigt skede, och mycket inte var känt, skall riskvärderingen behandlas som en första initial bedömning.

Riskmatrisen i Figur 2-2 fungerar också som denna utrednings riskkriterier, dvs. vad som definieras som låg/acceptabel respektive oacceptabel risknivå.

Skadehändelser inom det gröna området anses som acceptabla/låga utan att vidare skyddsåtgärder krävs.

Det gula området i riskmatrisen kallas ALARP (As Low As Reasonably Practicable). Skadehändelser inom det område kan behöva vidare analys för varje enskilt fall. Baserat på denna kan eventuella åtgärder sättas in utifrån en rimlighetsbedömning. Om åtgärden är ekonomiskt försvarbar och enkel bör den genomföras. Skadehändelser inom denna kategori värderas som tolerabla/acceptabla om alla rimliga åtgärder är vidtagna.

Skadehändelser som återfinns inom det röda området är höga/oacceptabla och skall åtgärdas för att sänka risknivån. En ny riskvärdering efter åtgärden är därför lämplig att göra.



Figur 2-2 Riskmatris med riskkriterier

Tabell 2-2. Definition av sannolikhets- och konsekvenskriterier

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Sannolikhet | < 1 ggr per 1000 år | 1 per 100-1000 år | 1 ggr per 10 - 100 år | 1 ggr per 1 - 10 år | mer än 1 ggr per år |
| Konsekvens-Personskada | Lindriga obehag | Tydliga obehag lokalt; enstaka i behov av läkarvård | Svåra obehag; enstaka i behov av sjukhusvård | Enstaka dödsfall; flera i behov av sjukhusvård | Flera dödsfall; många i behov av långvarig sjukhusvård |

3 Beskrivning av detaljplanen

En kort beskrivning av detaljplanen ges i detta avsnitt, för utförlig beskrivning se MKB:n.

Aktuell detaljplan ligger inom Centralenområdet i Göteborgs stadskärna och är ett av Göteborgs största utvecklingsområden, se Figur 3-1. Idag domineras området av olika trafiklösningar men planer för ny bebyggelse, platser och stråk ska bidra till utveckling av stadens centrala kärna. Idag pågår flera stora infrastrukturprojekt inom Centralenområdet; tågtunnel för Västlänken, Nya Hisingsbron och nedsänkning och överdäckning av E45. Dessa projekt kommer att ha en genomgripande påverkan, inte bara på området utan även på staden i sig. Området kommer att utgöras av ett antal detaljplaner, flera av dessa planprocesser pågår redan parallellt. Utgångspunkten för området är stadsbebyggelse med blandade funktioner; bostäder, verksamheter och handel samt utrymme för kommunikation, kultur, grönområden och ett rikt folkliv.



Figur 3-1 Detaljplanens lokalisering (blå markering) samt Centralenområdets utbredning (orange markering) i centrala Göteborg.

Syftet med föreslagen detaljplan är att möjliggöra utbyggnad av de västra uppgångarna för Västlänkens station Centralen. Planen omfattar också två brorämper för kollektivtrafik som ansluter till nya Hisingsbron. I öst-västlig riktning planeras ett stråk för kommunikationer, utformat som en boulevard, vilket bidrar till att stadsdelen Gullbergsvass kopplas samman med de västra delarna av staden. Detaljplanen innebär även att ny bebyggelse möjliggörs i form av tre kvarter norr om den framtida boulevarden och en tillbyggnad till Nordstan söder om boulevarden. Byggnaderna planeras bland annat innehålla bostäder, verksamheter och hotell.

Planområdet avses bli central nod med starka kopplingar till befintlig innerstad och vattnet. Platserna och bebyggelsen ska ge området en urban karaktär och

stadskvaliteter som främjar liv och rörelse. Samtidigt kommer området att bli en viktig kommunikationsnod i och med entréerna till Västlänkens station Centralen samt nya hållplatslägen för spårvägs- och busstrafik.

4 Resultat

4.1 Riskidentifiering

Nedan sammanfattas de identifierade skadehändelserna från grovanalysen. Protokollet från grovanalysen i bilaga A ger en mer utförlig beskrivning av respektive skadehändelse.

Tabell 4-1 Sammanfattning av identifierade skadehändelser samt riskvärdering.

| ID | Skadehändelse | Personskada | |
|-----|--------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
| | | Konsekvens | Sannolikhet |
| 1. | Urspårning Västlänken | 3 | 1 |
| 2. | Elolycka i Västlänken-tunneln | 2 | 2 |
| 3. | Förhöjda elektromagnetiska fältnivåer på trafikytor i detaljplanen | 1 | 2 |
| 4. | Utrymning från Västlänken uppgångar | - | - |
| 5. | Påkörning spårvagn | | |
| 6. | Gasbussar / elbussar genom byggnader | 4 | 1 |
| 7. | Spårvagnstrafik genom byggnader | 3 | 2 |
| 8. | Obehöriga på rampen / Västlänkentunneln | - | - |
| 9. | Påkörning av Hisingsbrons pelare | 3 | 1 |
| 10. | Bilbrand under Hisingsbron | 2 | 2 |
| 11. | Otrygghet / suicidrisker i närheten av Götatunneln | 2 | 2 |
| 12. | Fordonsbrand i Götatunneln | 2 | 2 |
| 13. | Tillgänglighet för RTJ | - | - |
| 14. | Skyfall / översvämning | 2 | 2 |
| 15. | Hårda vindar | - | - |
| 16. | Geotekniska risker | - | - |
| 17. | Otrygghet vid parkeringshuset | - | - |
| 18. | Insatser i höga hus | - | - |
| 19. | Pågrävning av befintliga ledningar (AV, FV, osv) | 2 | 2 |
| 20. | Läckage med antändning i gasregleringsstationen | 3 | 2 |
| 21. | Antagonism/sabotage | - | - |

Många identifierade händelser är antingen värderade som acceptabla eller har inte riskvärderats av olika anledningar (detta anges i bilaga A). Riskvärderingen har tagit höjd för de planerade åtgärder/befintliga skydd som anges i bilaga A, därför är det viktigt att det säkerställs att dessa åtgärder finns när detaljplanen realiserar.

I nästföljande avsnitt diskuteras de analyserade händelserna. Rekommendationer för riskreduktion ges för de händelser som är riskvärderade som gula och för de händelser som kräver en uppföljning.

4.2 Riskvärdering

4.2.1 Händelse 1 & 2 - Urspårning och elolycka västlänken-tunneln

Händelse 1 och 2 behandlas tillsammans i detta avsnitt då de båda hanterats av Trafikverket inom ramen för Västlänken.

Västlänkenprojektet har genomfört flertalet riskanalyser där ett stort antal händelser har identifierats och hanterats. De två händelser som identifierats i denna grovanalys, med ursprung i Västlänken-tunneln men med potentiella konsekvenser inom planområdet, har tidigare hanterats av Västlänkenprojektet. Av denna anledning beskrivs denna hantering kortfattat i detta avsnitt. Fullständiga detaljer finns i de analyser som genomförts inom ramen för Västlänken, bland annat Säkerhetsvärdering AKF03-01-024-00_014, Stationsriskanalys AKF03-01-024-00_007 och Västlänken övergripande riskanalys AKF03-01-024-00_031.

Urspårning av persontåg har studerats i säkerhetsvärderingen enligt BVH 585.30 med hjälp av händelseträdsteknik i driftskedet. Åtgärder med avseende på urspårning är en mittbarriär i tunneln som ska hindra urspårande tåg att komma i konflikt med det andra spåret. Tunneln är dimensionerad för en urspårning och det kommer inte att ge någon påverkan ovan jord.

Ett antal identifierade olyckshändelser ska bevakas vid den fortsatta projektering av Västlänken. Dessa är händelser som fortsatt är relevanta, samt kan få en signifikant påverkan på resande och tågpersonal, men som inte har särskilt värderats med händelseträdsteknik i säkerhetsvärderingen av Västlänkens tunnlar. Bland dessa händelser ingår elolyckor (en orsak till händelse 2 i denna grovanalys), som hanteras i stationsriskanalysen AKF03-01-024-00_007. Föreslagna åtgärder för dessa och andra åtgärder redovisas i Plan för säkerhet

(https://www.trafikverket.se/contentassets/706fe9ece1264f3a9f2d969ae0df2541/vastlanken_plan_for_sakerhet.pdf)

Avseende elolycka som leder vidare till brand beskrivs den i stationsriskanalysen enligt nedan:

Teknikutrymmen och liknande inom tunnelsystemet kommer inom Västlänken att utföras brandtekniskt avskilda mot spårområdet. Detta, i kombination med ytskiktsskrav på kablage etc. bedöms innebära att den potentiella brandutvecklingen blir begränsad i förhållande till potentiella tågbränder. Effekterna på plattform bedöms i första hand vara i form av rökdis under utrymningsförloppet.

Vad gäller åtgärder för att hantera konsekvenserna av en brand, så är stationerna försedda med ett brandgasventilationssystem som kan ventilera ut rök.

Utsläppspunkter för brandgasventilationssystemen finns i gatuplan (dvs inom planområdet). Utsläppspunkter är placerade så att inte fara eller olägenhet uppstår för personer som befinner sig i närheten samt så att inte brandgaser sugts tillbaka in i anläggningen. Rök skulle även kunna spridas via de ordinarie uppgångarna, dessa är dock övertrycksatta vilket minimerar risken för att röken sprids denna väg.

Vad gäller den fortsatta hanteringen av risker inom Västlänkenprojektet så analyseras ändringar kontinuerligt för att tillse att anläggningens säkerhetsnivå bibehålls och för att föreslå nya skyddsåtgärder om det är nödvändigt för att bibehålla säkerheten. Ändringar under detaljprojekteringen redovisas i samlad bedömning. Hitintills har det inte projekterats några ändringar som påverkar risken för elolycka eller urspårning.

4.2.2 Händelse 4 – Utrymning från Västlänken-uppgångar

I samrådsyttranden tar Länsstyrelsen upp frågan om det mellanplan som tillkommit i Västlänken-uppgången sedan utrymningssimuleringar genomfördes. I aktuell workshop framkom det att Trafikverket genomfört flertalet utrymningssimuleringar inkluderande det tillkomna mellanplanet.

I fall av utrymning från tunneln säkerställs en uppställningsplats för räddningstjänsten och ambulansen inom boulevard lika som andra stationer inom Västlänkensprojekt.

4.2.3 Händelse 6 – Gasbussar / elbussar genom byggnadstunnel

Dagens planerade utformning medger möjlighet för gas- och elbussar att köra igenom de två korta tunnlar (ca 45 m långa) som går igenom byggnadskonstruktioner. Vid en eventuell olycka i tunneln med dessa fordon är det därför viktigt att beakta möjliga konsekvenser. I bilaga B redogörs i detalj för potentiella olycksscenario, inträffade olyckor konsekvensberäkningar, riskvärdering och åtgärdsbehov för att hantera riskerna med gas- och elbussar genom byggnadstunnlarna. Nedan redovisas slutsatser från Bilaga B:

- Vid en bussbrand eller jetflamma från en flaska med fordonsgas kommer vägtunnelns tak och eller väggar att utsättas för direkt flampåverkan.
- En bussbrand kan förväntas vara under kontroll efter ungefär 30 minuter och en jetflamma från en flaska med fordonsgas pågår i 2-5 minuter.
- Det allvarligaste explosionsscenario som kan inträffa med fordonsgasbussar är en flaskexplosion. Skador på ytterväggar på uppemot 40 meter och fönstersplitter på avstånd uppemot 80 meter från explosionen kan förekomma.
- Varken sotande brandgaser eller brand i elbuss med utveckling av giftig HF kan sägas utgöra en tydligt förhöjd risk för aktuellt planområde i jämförelse med övriga delar av centrala Göteborg. Beräkningar visar dock att farliga koncentrationer kan erhållas på höjd uppemot 15 meter över mark.

Följande rekommendationer ges från Bilaga B:

- Generiska trafiksäkerhetshöjande åtgärder bör övervägas, såsom adekvat hastighetsbegränsning, vägräcken och mittseparering.
- Tunnelns tak och väggar utförs i betong och ska uppfylla brandteknisk klass A60 eller högre.
- Vid en explosion i tunneln kommer tunnelns väggar och tak att utsättas för en potentiellt stark tryckvåg. En CFD-simulering (3d-modell) ska genomföras i projekteringsfas för att säkerställa att adekvata riskreducerande åtgärder för explosionslaster vidtas. Konsekvensreducerande byggnadstekniska åtgärder ska vidtas för att säkerställa konstruktionens integritet i händelse av en explosion i tunneln eller tunnelmynningen, baserat på resultaten av CFD-beräkningar.
- Inom 80 meter från respektive tunnelmynning bör laminerat glas övervägas.
- Friskluftsintag placeras på tak eller fasad minst 15 meter över marknivå.
- Fönster för byggnaderna över tunnlar bör, på höjd upp till 15 meter över mark, utformas ej öppningsbara.
- Åtminstone de fem nedersta våningarna av byggnaderna över tunnlar bör allokeras för kontor.
- Ett minsta avstånd om 40 meter erfordras mellan hållplatser och respektive tunnelmynning.
- Inom 80 meter från tunnelmynning utförs hållplatskurernas glaspartier laminerade.

4.2.4 Händelse 7 – spårvagnstrafik genom byggnadstunnel

Dagens planerade utformning medger möjlighet för spårvagnstrafik genom den korta tunneln (ca 45 m) som går igenom byggnadskonstruktioner. Vid en eventuell olycka i tunneln med dessa fordon är det därför viktigt att beakta möjliga konsekvenser.

I workshop identifierades risken för urspårning av spårvagnar inom byggnadstunneln. Ett antal planerade åtgärder finns på plats som troligtvis reducerar sannolikheten för denna händelse samt den eventuella konsekvensen vid en kollision med byggnadsstommen:

- Krav för signalanläggning pga begränsad sikt
- Åtgärder för kontaktledningsstolpar samt belysning ska tas fram
- 2,5 m skyddsavstånd åt båda håll
- 6 m skyddsavstånd uppåt
- Konstruktion av ramp genomförd för att minska risk för urspårning (högkapacitetsräcke)

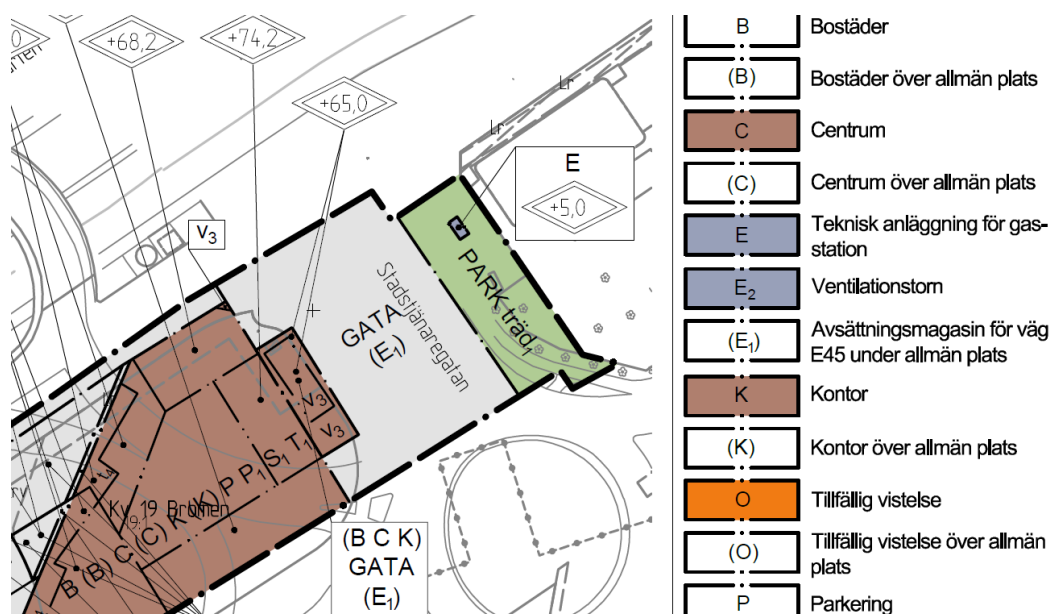
Vad effekten av en kollision med byggnaden blir är svår att bedöma utan en detaljutredning. Dock kan det ur ett riskperspektiv vara motiverat att även inkludera kollisionsskydd av något slag för att reducera eventuella konsekvenser av en kollision mellan en spårvagn och byggnadsstommen. Hur dessa ska dimensioneras bör utredas om nödvändigt. Likaså bör hastighetsbegränsningar tillämpas för att reducera risk för urspårning samt effekten av en kollision.

4.2.5 Händelse 9 – Påkörning av Hisingsbrons pelare

Påkörning av en av Hisingsbrons pelare i synnerhet av ett tyngre fordon (t.ex. buss eller lastbil) har identifierats och värderats som en grön risk i grovanalysen. Konsekvensen av denna händelse kan bli att pelaren blir obrukbar. Planerade åtgärder är i dagsläget hastighetsbegränsning samt att man inom ramen för Hisingsbronprojektet kommer att definiera och dimensionera skydd för samtliga pelare. Av denna anledning bedöms både sannolikhet och konsekvens av händelsen låg, men inom ramen för aktuellt projekt är det viktigt att följa upp och säkerställa skyddet.

4.2.6 Händelse 20 – Läckage med antändning gasregleringsstation

Läckage i gasregleringsstationen med påföljande antändning (eller så kallad mät- och reglerstation) har identifierats som en gul risk. Stadsgas består av till största del metan och vid ett eventuellt läckage finns risk för brand / explosion med påverkan på detaljplanen. Stationens permanenta placering har bestämts enligt Figur 4-1. Så länge skyddsavstånd och påkörningsskydd följer det som anges i MSBFS 2009:7 kap. 4 § 4 för MR-stationer, så bedöms den identifierade risken som acceptabel.



Figur 4-1 Placering av gasregleringsstation inom detaljplanen

4.3 Rekommendationer

Tabell 4-2 sammanfattar samtliga rekommendationer från bilaga A.

Tabell 4-2 Sammanfattning av rekommendationer.

| ID | Skadehändelse | Rekommendation |
|----|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Urspåring Västlänken | |
| 2. | Elolycka i Västlänken-tunneln | |
| 3. | Förhöjda elektromagnetiska fältnivåer på trafikytor i detaljplanen | |
| 4. | Utrymning från Västlänken uppgångar | <p>R: LSt har yttrat sig om utrymningssimuleringar från uppgångarna. Säkerställ kommunikation med LSt så att de får till sig att TRV genomfört de simuleringar som efterfrågas.</p> <p>R: Säkerställ uppställningsplats för räddningstjänsten och ambulansen inom boulevard i händelse av utrymning från Västlänken-uppgången, liksom andra stationer inom Västlänkensprojekt</p> |
| 5. | Påkörning spårvagn | <p>K: Riskvärderas ej då detaljer inte fanns vid genomförande. När trafiksäkerheten har setts över kan en värdering göras. Det bedöms dock att risknivån inte är förhöjda i jämförelse med resten av staden.</p> |

| ID | Skadehändelse | Rekommendation |
|----|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 | Gasbussar / elbussar genom byggnader | R: Undersök risk för brand/explosionspåverkan på byggnader samt om det bör finnas några krav på konstruktionerna med avseende på att gasbussar och elbussar färdas på ramp och igenom byggnadstunnel. Detta görs i Bilaga B. |
| 7 | Spårvagnstrafik genom byggnader | R: Säkerställ kollisionsskydd (t.ex. mittseparering) samt hastighetsbegränsning |
| 8 | Obehöriga på rampen / Västlänkentunneln | R: Bör riskvärderas under projekteringen då detaljutformning är känd. |
| 13 | Tillgänglighet för RTJ | R: Tydliggör vilka ytor som man ämnar att använda som uppställningsplats för RTJ |
| 16 | Geotekniska risker | R: Säkerställ att samordning gällande geotekniska risker sker med kringliggande grannprojekt. |
| 17 | Otrygghet vid parkeringshuset | R: Bör riskvärderas under projekteringen då detaljutformning är känd. |
| 18 | Insatser i höga hus | R: Brand i höga hus tas om hand i projektering/ bygglovsskede. |
| 20 | Läckage med antändning gasregleringsstationen | R: Säkerställ skydd (t.ex. påkörningsskydd) runt regleringsstation i enlighet med standard. |
| 21 | Antagonism/sabotage | R: Säkerställ påkörningsskydd / avskiljningar / skalskydd i GFSen. R: Betongöar och andra skydd ska ses över. |

5 Slutsats

Syftet med denna riskutredning har varit att identifiera risker inom detaljplanen med fokus på personers hälsa. Målet med riskutredningen har varit att göra en grov inventering av skadehändelser, som sedan kan tas vidare genom andra analyser om behov för detta finns.

Riskutredningen har identifierat och riskvärderat ett 20-tal skadehändelser. Av dessa är inga skadehändelser oacceptabla (röda), tre skadehändelser är gula (kräver åtgärd eller utredas ytterligare) och resterande är antingen acceptabla eller har av olika anledningar inte värderats i detta skede. Riskvärderingarna förutsätter att de listade planerade åtgärderna / befintliga skydd som beskrivs i bilaga A kommer att finnas när detaljplanen realiserar.

De tre skadehändelser som fortsatt är gula:

- Gasbussar / elbussar genom byggnader (händelse 6)
- Spårvagnstrafik genom byggnader (händelse 7)
- Gasregleringsstationen (händelse 20)

För dessa skadehändelser föreslås följande:

- Händelse 6 – Detaljutredning har genomförts i Bilaga B och följande rekommendationer ges:
 - o Generiska trafiksäkerhetshöjande åtgärder bör övervägas, såsom adekvat hastighetsbegränsning, vägräcken och mittseparering.
 - o Bärverk dimensioneras för 60 minuter eller högre enligt kolvätekurvan i standarden SS-EN 1363-2. Notera att även integritet och röktäthet ska uppfylla motsvarande kravnivå.
 - o Byggnadsfasader och fönster över tunnelmynningarna ska upp till 20 meters höjd över broramp vara brandklassade EW30 eller högre.
 - o Inom 80 meter från respektive tunnelmynning bör splitterfritt glas övervägas.
 - o Friskluftsintag placeras på tak eller fasad minst 15 meter över marknivå.
 - o Fönster för byggnaderna över tunnarna bör, på höjd upp till 15 meter över mark, utformas ej öppningsbara.
 - o Åtminstone de fem nedersta våningarna av byggnaderna över tunnarna bör allokeras för kontor.
 - o Vid en explosion i tunneln kommer tunnelns väggar och tak att utsättas för en potentiellt stark tryckvåg. En CFD-simulering (3d-modell) ska genomföras i projekteringsfas för att säkerställa att adekvata riskreducerande åtgärder för explosionslaster vidtas. Konsekvensreducerande byggnadstekniska åtgärder ska vidtas för att säkerställa konstruktionens integritet i händelse av en explosion i tunneln eller tunnelmynningen, baserat på resultaten av CFD-beräkningar. Nedan anges avstånd som i dagsläget bedöms gälla, men som i framtiden kan justeras av CFD-beräkningar i projekteringsskedet:
 - Inom 80 meter från respektive tunnelmynning bör splitterfritt glas övervägas.
 - Ett minsta avstånd om 40 meter erfordras mellan hållplatser och respektive tunnelmynning.

- Inom 80 meter från tunnelmynning utförs hållplatskurernas glaspartier splitterfria.
- Händelse 7 - Säkerställ kollisionsskydd (t.ex. mittseparering) samt hastighetsbegränsning.
- Händelse 20 - Så länge skyddsavstånd och påkörningsskydd följer det som anges i MSBFS 2009:7 kap. 4 § 4 för MR-stationer, så bedöms den identifierade risken som acceptabel.

Om förslagna säkerhetshöjande åtgärder tas i beaktande i detaljplanen bedöms föreslagen exploatering vara möjlig och acceptabel ur ett personriskperspektiv.

Author
Sohrab Nassiri
Oscar Lindén

Phone
+46 10 505 32 42

Mobile
+46 702 52 99 02

E-mail
Sohrab.nassiri@afry.com
Oscar.linden@afry.com

Date
22/01/2021

Project
Norr om Nordstan

Report ID
763254

Client
Göteborgs Stad

Bilaga A - Grovanalys protokoll

| Ver | Typ | Datum | Framtagen av | Granskad av |
|-----|-------------|------------|--------------------------------|-------------------|
| 3 | Slutversion | 2021-01-22 | Sohrab Nassiri Oscar Lindén | Veronica Lindblom |
| 2 | Utkast 2 | 2020-11-13 | Sohrab Nassiri Oscar Lindén | Veronica Lindblom |
| 1 | Utkast 1 | 2020-08-26 | Sohrab Nassiri Oscar Lindén | Veronica Lindblom |

1 Protokoll

| System: Detaljplan Norr om Nordstan | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------|---|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ID | Händelse | Orsak | Påverkan | P | | Planerade åtgärder / befintliga skydd | Kommentar / rekommendation |
| | | | | K | S | | |
| 1. | Urspårning Västlänken | Tekniskt fel Antagonism | Urspårning av tåg med eventuell påverkan på tunnel | 3 | 1 | Inga byggnader ovanpå spår eller plattformar Konstruktion av Västlänkentunneln är dimensionerad för explosion/urspårning Spårskild konstruktion med mellanliggande balk som förhindrar att tåget hamnar utanför spår Hastighetsgräns, STH 80 km/h | K: Västlänkens tunnel under hela planområdet K: Pelare för Hisingsbron ligger ovanpå tunneln K: Detta scenario har studerats i detalj som en del i Västlänkenprojektet. Detaljer ges i huvudrapporten. |
| 2. | Elolycka i Västlänken- tunneln | Elfel | Tunnelbrand, spridning i uppgångar till detaljplanen | 2 | 2 | Brandcellsgränser Minimering av brännbart material Avledning av brandgaser, utsläpp utanför detaljplan (västra hörnet Bergsslagsparken) Övertryckssättning i uppgångar som ska förhindra att brand och gaser ska spridas i uppgångar (redundant och avbrottsfritt) | K: Detta scenario har studerats i detalj som en del i Västlänkenprojektet. Detaljer ges i huvudrapporten. |
| 3. | Förhöjda elektromagnetiska fältnivåer på trafikytor i detaljplanen | Elfel | Ingen större påverkan | 1 | 2 | Sektionerad kontaktskena i taket i tunneln ska minska risk för elektromagnetiska fält | K: Troligt att fältet avtar snabbt, intelligande detaljplaner har hanterat denna fråga |

| System: Detaljplan Norr om Nordstan | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ID | Händelse | Orsak | Påverkan | P | | Planerade åtgärder / befintliga skydd | Kommentar / rekommendation |
| | | | | K | S | | |
| 4. | Utrymning från Västlänken uppgångar | Simuleringar har tidigare genomförts, LSt yttranden säger att ett våningsplan (mellanplan) har tillkommit sedan simuleringar genomfördes | | - | - | TRV har genomfört flertalet utrymningssimuleringar inkl med mellanplanet | R: LSt har yttrat sig om utrymningssimuleringar från uppgångarna. Säkerställ kommunikation med LSt så att de får till sig att TRV genomfört de simuleringar som efterfrågas. R: Säkerställ uppställningsplats för räddningstjänsten och ambulansen inom boulevard i händelse av utrymning från Västlänken-uppgången, liksom andra stationer inom Västlänkensprojekt |
| 5. | Påkörning spårvagn | Handhavande fel | Risk för personskada, men risken bedöms vara i samma nivå som resten av staden | - | - | Nya ramper är endast kollektivtrafik (bilar, cyklisterna och fotgängare har egna ramper). Låga hastigheter Trafiksäkerhet map spårvagnstrafik ska ses över | K: Spårvagnstrafik sätts igång innan Västlänken är klar. Västlänkentaket görs först och förbereds för spårvagnstrafik därefter genomförs resterande delar av Västlänken K: Riskvärderas ej då detaljer inte fanns vid genomförande. När trafiksäkerheten har setts över kan en värdering göras. Det bedöms dock att risknivån inte är förhöjda i jämförelse med resten av staden |

| System: Detaljplan Norr om Nordstan | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ID | Händelse | Orsak | Påverkan | P | | Planerade åtgärder / befintliga skydd | Kommentar / rekommendation |
| | | | | K | S | | |
| 6 | Gasbussar / elbussar genom byggnadstunnel | Läckande gasbussar / brand i elbussar | Brand/explosion i ramper med påverkan på byggnader | 4 | 1 | Kort tunnel för att minska risk för exponering (ca 45 m) | R: Undersök risk för brand/explosionspåverkan på byggnader samt om det bör finnas några krav på konstruktionerna med avseende på att gasbussar och elbussar färdas igenom tunnel. Detta görs i detalj i Bilaga B. |
| 7 | Spårvagnstrafik genom byggnadstunnel | Begränsad sikt | Otillräcklig trafiksäkerhet genom byggnader, risk för kollision med byggnader | 3 | 2 | <p>Krav för signalanläggning pga begränsad sikt</p> <p>Åtgärder för kontaktledningsstolpar samt belysning ska tas fram</p> <p>2,5 m skyddsavstånd åt båda håll, därefter börjar byggnader</p> <p>6 m skyddsavstånd uppåt</p> <p>Konstruktion av ramp genomförd för att minska risk för urspårning (högkapacitetsräcke)</p> | R: Säkerställ kollisionsskydd (t.ex. mittseparering) samt hastighetsbegränsning |
| 8 | Obehöriga på rampen / Västlänkentunneln | - | Risk för personskada | - | - | <p>CCTV övervakning</p> <p>Sensorövervakning likt Chalmerstunneln övervägs att implementeras.</p> <p>SKA/BKA har genomförts</p> <p>Avskiljning av spår och bussar kommer sannolikt att implementeras.</p> <p>Trafikstudier genomförs för tillfället.</p> | R: Bör riskvärderas under projekteringen då detaljutformning är känd. |

| System: Detaljplan Norr om Nordstan | | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| ID | Händelse | Orsak | Påverkan | P | | Planerade åtgärder / befintliga skydd | Kommentar / rekommendation |
| | | | | K | S | | |
| 9 | Påkörning av Hisingsbrons pelare | Handhavande fel av spårvagn / buss / lastbilar | Vid kollision med pelare kan denna bli obrukbar | 3 | 1 | Påkörningsskydd av Hisingsbrons pelare ska ses över i GFS, i from av både omfattning och kapacitet. Hastighetsbegränsning max 20-30 km/h | K: Hisingsbronsprojektet kommer att definiera skydd för pelare |
| 10 | Bilbrand under Hisingsbron | Motorfel, elfel | Brandlast på Hisingsbron | 2 | 2 | Bilbrand på lastgatan under Hisingsbron har studerats och klarats inom ramen för Hisingsbronsprojektet Räddningstjänstens insatstid är relativt kort | |
| 11 | Otrygghet / suicidrisker i närheten av Götatunneln | | Risk för personskada | 2 | 2 | Götatunnelns mynning är otillgänglig för allmänheten i dagsläget och ska fortsatt vara så i framtiden Sannolikt med höga skärmar i syfte att förbättra luftkvalité kan också göra det svårare för personer att ta sig till mynningen. | |
| 12 | Fordonsbrand i Götatunneln | Motorfel, elfel | Brandpåverkan på detaljplanen genom öppningar (mynning / hålet) | 2 | 2 | ca 15m från körfält mynningen / hålet till bebyggelse i väst och ca 20 m i öst Befintlig del av Götatunneln har kompletterats med nytt sprinklersystem | |

| System: Detaljplan Norr om Nordstan | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|---------------------------|---|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| ID | Händelse | Orsak | Påverkan | P | | Planerade åtgärder / befintliga skydd | Kommentar / rekommendation |
| | | | | K | S | | |
| 13 | Tillgänglighet för RTJ | Uppställningsplatser för RTJ ej bestämda | | - | - | Hisingsbron ska bli huvudled för RTJ Leder för RTJ är förhöjda (för att motverka översvämning) Brandposter, brandvattenförsörjning och uppställningsplats (500 m ²) för RTJ tas om hand i GFS 2 uppställningsplatser för fordon ska finnas för Västlänken | R: Tydliggör vilka ytor som man ämnar att använda som uppställningsplats för RTJ |
| 14 | Skyfall / översvämning | Extremt väder | Ohanterliga vattenmängder | 2 | 2 | Skyfallsutredning för hela området genomförd. Gemensam lösning fördjupad översynsplan för Centrum inkl Gullbergsvass (dagvatten, skyfall, avledning) är på gång. Höjd ska bli 2,8 m Älvkanten ska höjas till 2,7-2,8 Entréer till Västlänken ska vara 2,8 m Lågpunkt runt bron har utretts, avledning av vatten ska genomföras Norra sjöfarten ska användas som avledning (Kretslopp och vatten har genomförd studie) | |
| 15 | Hårda vindar | Extremt väder | | - | - | Vindstudie ska genomföras som del av MKB-arbetet | |

| System: Detaljplan Norr om Nordstan | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ID | Händelse | Orsak | Påverkan | P | | Planerade åtgärder / befintliga skydd | Kommentar / rekommendation |
| | | | | K | S | | |
| 16 | Geotekniska risker | | | - | - | PM Geoteknik har genomförts och ingår i planen för Götatunneln och överdäckningen. Dessa ska biläggas till granskningshandling. PM för detaljplanen finns också. | R: Säkerställ att samordning gällande geotekniska risker sker med kringliggande grannprojekt. |
| 17 | Otrygghet vid parkeringshuset | Droghandel runt Nordstan | Risk för personskada | - | - | Illustrationsgrönska, gröna tak samt planteringslådor övervägs. Parken vid regionens hus utökas. Träd vid Nordstan ska bevaras (2-3 måste avverkas). | K: SDN yttrat att man inte utrett detta, Naturvårdsverket vill ha mer grönska. K: Plantering ovan Västlänken är inte möjligt. R: Bör riskvärderas under projekteringen då detaljutformning är känd. |
| 18 | Insatser i höga hus | RTJ yttrat sig om insatser i höga hus | | - | - | | R: Brand i höga hus tas om hand i projektering/ bygglovsskede. |
| 19 | Pågrävning av befintliga ledningar (AV, FV, osv) | Pågrävning under byggnation | Läckage av Fjärrvärme, fjärrkyla, avlopp, osv. | 2 | 2 | Flytt av ledningar pågår för tillfället, TRV håller i arbetet med diskussion med ledningsägare. Ny struktur för ledningar för hela området eftersträvas. Ledningar ovanför Västlänken får inte finnas. Ledningsstråk ska ingå i GFSen. | K: Gbg Energi har distributionsledningar för stadsgas. |

| System: Detaljplan Norr om Nordstan | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ID | Händelse | Orsak | Påverkan | P | | Planerade åtgärder / befintliga skydd | Kommentar / rekommendation |
| | | | | K | S | | |
| 20 | Gasregleringsstationen | Läckage i samband med regleringsstation | Risk för brand / Explosion i området (explosion inte troligt i öppna ytor endast om stadsgasen blir inestängd) | 3 | 2 | Placering av gasregleringsstationen i planen i tar höjd för skyddsavstånd. Lokaliseringsalternativ för gasregleringsstationen har genomförts som del av överdäckningsprojektet | R: Säkerställ skydd (t.ex. påkörningsskydd) runt regleringsstation i enlighet med standard. |
| 21 | Antagonism/sabotage | | | - | - | TRV har separat grupp gällande antagonism/sabotage som jobbar med frågor i Västlänkentunneln (säkra stationsrummet). Placering av fläktar har setts igenom map intrång. | R: Säkerställ påkörningsskydd / avskiljningar / skalskydd i GFSen. R: Betongöar och andra skydd ska ses över. |

Bilaga B

Handläggare
Oscar Lindén
Tel
010 505 84 94
Mobil
0730 74 87 74
E-post
Oscar.linden@afry.com

Datum
2021-01-22
Projekt ID
763254

Kund
Göteborgs Stad

Bilaga B – Riskbedömning gas- och elbussar genom Norr om Nordstan

| Ver | Typ | Datum | Framtagen av | Granskad av |
|-----|-------------|------------|--------------------------------|------------------|
| 2 | Slutversion | 2021-01-22 | Oscar Lindén Sohrab Nassiri | Johan Hellstrand |
| 1 | Utkast | 2020-11-13 | Oscar Lindén Sohrab Nassiri | Johan Hellstrand |

Denna bilaga beskriver input och definition av utsläppsscenario samt resultat av konsekvensberäkningar från olyckor med gas- och elbussar inom planområdet Norr om Nordstan.

1 Inledning

I huvudrapporten identifierades att två scenarion skulle utredas mer i detalj. Dels scenariot jetflamma från gasbuss och dels spridning av giftig fluorvätesyra (HF) i händelse av en batteribrand i en elbuss. För både gasbussar och elbussar är en bussbrand den vanligaste orsaken, varför även detta olycksscenario inkluderas.

1.1 Scenariobeskrivningar

Sammantaget kommer scenarion i tabellen nedan att beskrivas och analyseras mer i detalj.

| Scenario | Typ av analys |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Bussbrand | Kvalitativ analys |
| Gasbuss (jetflamma från säkerhetsventil) | Kvantitativ beräkning och kvalitativ analys |
| Gasbuss (utsläpp och fördröjd antändning) | Kvantitativ beräkning och kvalitativ analys |
| Gasbuss (flaskeexplosion till följd av upphettning och icke-fungerande säkerhetsventil) | Kvantitativ beräkning och kvalitativ analys |
| Elbuss (utsläpp av HF till följd av batteribrand) | Kvantitativ beräkning och kvalitativ analys |

1.2 Beräkningsprogram

Konsekvensberäkningarna i denna utredning utförs med programvaran Effects (TNO Effects, 2018) som är framtaget av TNO i Nederländerna och marknadsförs av Gexcon. Programmet använder vetenskapliga och branschvedertagna spridnings- och effektmodeller enligt 'Yellow Book' (TNO, 2005a) samt vägledande riktlinjer för kvantitativ riskanalys från 'Purple book' (TNO, 2005b).

1.3 Avgränsning

Inom ramen för detta uppdrag görs konsekvensberäkningar och kvalitativ riskbedömning av ovan nämnda scenarion (avsnitt 1.1). Kvantitativ riskanalys görs ej. Vidare analyseras endast konsekvenser för tredje person inom planområdet. Passagerare och chaufför på bussar inkluderas ej.

Explosionstrycksberäkningarna har i detta skede genomförts med ett tvådimensionellt verktyg som i begränsad omfattning kan inkludera tredimensionella effekter (såsom områdets täthet och luftflöden).

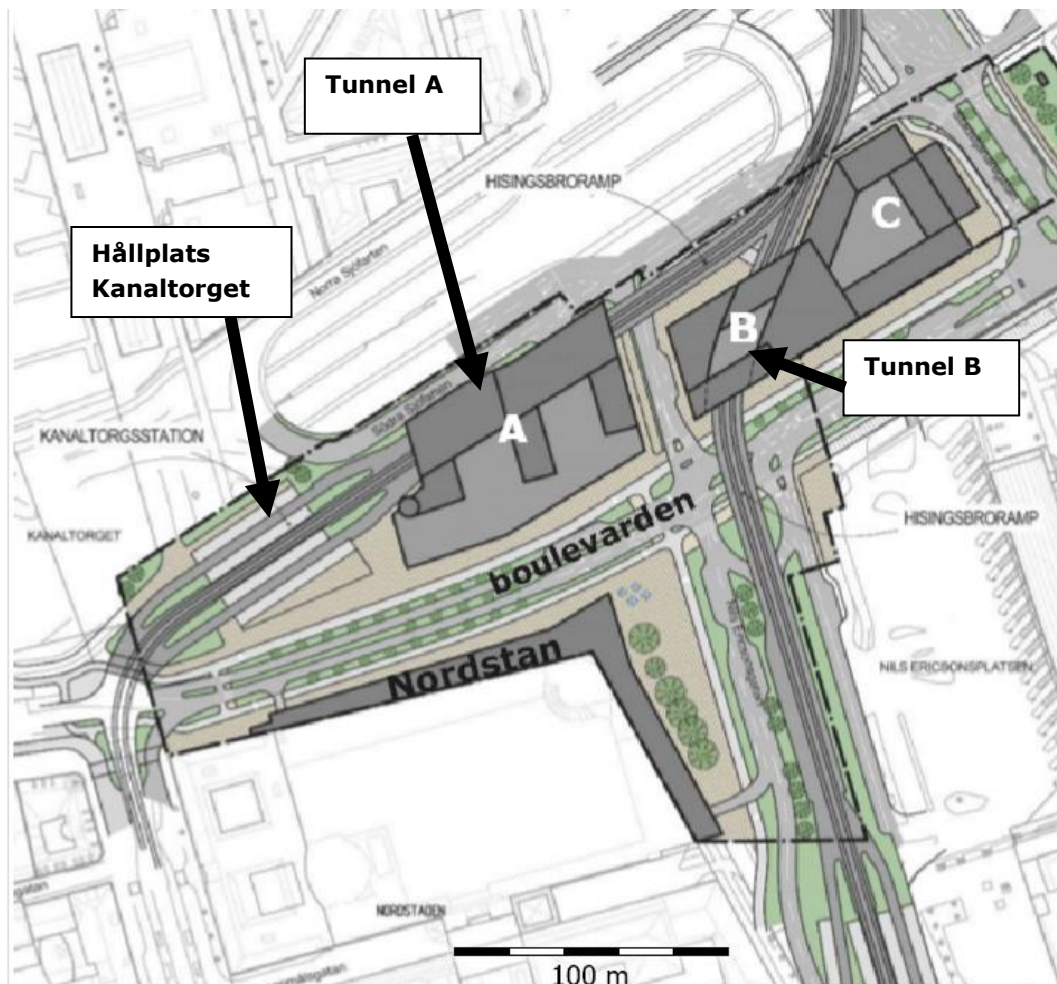
Alla olycksscenarion i beräkningarna förväntas inträffa i någon av de två 45 meter långa vägtunnlarna eller vid någon av tunnelmyningarna då det är vid dessa platser som risknivån kan anses vara förhöjd i jämförelse med övriga platser i centrala Göteborg.

För scenariot flaskeexplosion redovisas resultatet för både helt fylld flaska och halvt fylld gasflaska. Övriga fordonsgasscenarion redovisar konsekvensberäkningar endast för helt fylld gasflaska.

Gasspridningsberäkning utförs för ett väderförhållande 5 m/s och Pasquills stabilitetsklass D vid 9 °C. Detta representerar neutral/måttlig turbulens och uppstår vid relativt starka vindar och måttlig solinstrålning. Då luftmassorna i en kort tunnel

sällan står stilla är det rimligt konservativt att anta en genomsnittlig vindstyrka på 5 m/s.

1.4 Utredningsområde



Figur 1-1 Översikt över de två tunnelarna och hållplats Kanalторget.

2 Riskidentifiering

Vid riskanalysen som genomfördes i huvudrapporten identifierades att trafik av gas- och elbussar utgör en risk som behövde utredas vidare då olyckor kan medföra stora skador i någon av de två 45 meter långa vägtunnlarna.

2.1 Bussbrand

Maxeffekten vid en bussbrand uppnås efter ungefär 12 minuter och har uppmätts till 25 MW (Räddningsverket, 2005). Bussbränders varaktighet är ofta begränsad och kan vara under kontroll efter 30 minuter (Transportstyrelsen, 2019). Om bussen som fattar eld är en gasbuss eller elbuss kan dominoeffekter inträffa. Risker för detta identifieras nedan.

2.2 Gasbussar

2.2.1 Drivmedel

Gasbussar drivs på fordonsgas som är ett drivmedel som de senaste 10 åren blivit allt vanligare för bussar och har gått från 0 % till ca 20% på drygt 15 år (Sveriges bussföretag, 2018). Fordonsgas är benämningen på komprimerad metangas som används som fordon drivmedel. Ungefär 97 % av drivmedlet är metan och resten främst koldioxid. Även naturgas ingår i benämningen fordonsgas, vilket är ett fossilt bränsle. Vid beräkningar av olycksscenarioer med fordonsgas i bussar approximeras hela andelen till att bestå av metangas.

Fordonsgas är en brandfarlig gas och är lagrad under tryck i gasflaskor när den används som drivmedel i fordon. Fordonsgasen lagras vid tryck om högst 200 bar vid 15 °C. En gasflaska består av mellan 200 – 350 liter. Beroende på tillverkare är gasflaskorna placerade på bussens tak eller under golvet. Vid upphettning ökar trycket i tanken varpå den till slut exploderar om den inbyggda säkerhetsventilen felfungerar. Gasen kan även antändas om den släpps ut och bildar en bränsle/luft-blandning med rätt koncentration. Metan har ett brännbarhetsområde på 5-15 vol.-% (FOA, 1998). Det innebär att om gasen blandas med luft och gasen utgör 5-15 % av blandningens volym kan blandningen antändas om den kommer i kontakt med en antändningskälla vilket orsakar en jetbrand vid direkt antändning eller en gasmolnsbrand vid sen antändning med eller utan en explosionstryckvåg.

2.2.2 Säkerhetssystem

Gasflaskorna i fordonsgasbussar är ofta försedda med fyra ventiler: rörbrottsventil, magnetventil, manuell ventil och säkerhetsventil. Detta varierar mellan de olika tillverkarna men generellt är dessa fyra ventiltyperna relativt vanliga. Rörbrottsventilen stänger vid ett kraftigt tryckfall i tanken, t.ex. om läckage uppstår. Magnetventilen stänger när bussens tändning stängs av. Magnetventilen kontrollerar läckage vid start, och om det är ett stort läckage på tanken kommer bussen inte att starta. Den manuella ventilen möjliggör för att manuellt strypa ett gasutsläpp från tanken. Säkerhetsventilen är till för att förhindra en tryckuppbyggnad av gasen vid upphettning. Ventilen utlöses av en smältsäkring, som utlöser vid en temperatur på ca 110 grader och öppnar då tankarna så att gas kan strömma ut och trycket lätta. På så sätt hindras tanken från att explodera. Säkerhetsventilen är placerad antingen ovanpå eller på sidan av tanken.

På vissa bussmodeller är gasflaskorna utrustade med temperatur- och trycksensorer istället för smältsäkringar. Vid upphettning kan då en tryckventil lösa ut om inte

temperaturen ökar tillräckligt för att temperaturventilen ska lösa ut på en flaska. Det krävs då att båda sensorerna fallerar i samband med temperaturhöjning för att flaskan ska explodera.

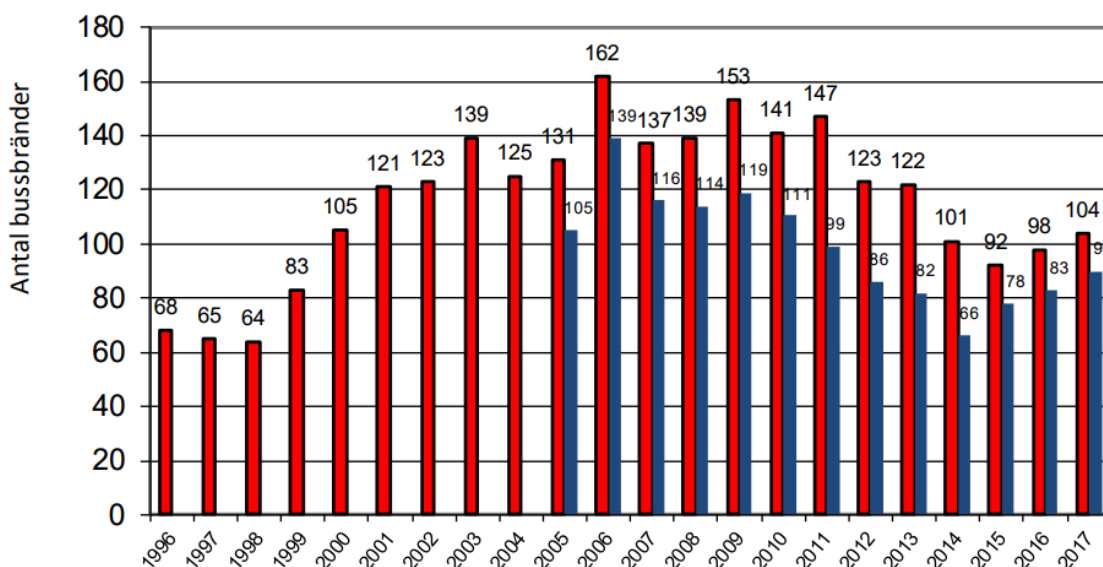
Sedan 2004 ställer försäkringsbranschen krav på att bussar ska vara försedda med motorrumssprinkler som ska begränsa konsekvenserna av en brand som startar i motorrummet. Detta innebär att alla försäkrade bussar har sprinkler i motorrummet. I vissa fall försäkrar de större trafikföretagen sina egna fordon, vilket innebär att incitamentet för släcksystem i alla bussar faller bort när det inte finns något lagkrav. Dock har antalet bussbränder som lett till att bussen blivit helt utbränd minskat avsevärt sedan försäkringskravet infördes.

2.2.3 Olycksstatistik

Det finns relativt bra underlag avseende inträffade bränder i bussar från insatsrapporter från räddningstjänsten. I avsnitt 2.2.3.1 listas några exempel på olyckor. Däremot finns det ingen identifierad statistik där det framgår vilken typ av drivmedel bussar haft som varit involverade i olyckor. Det som påträffats är att det i nuläget inte finns något som talar för att de nya drivmedlen, inklusive fordonsgas, ska ha medfört någon ökning av antalet olyckor. Istället kan en minskning av antalet bränder ses, se Figur 2-1, som kan bero av en kombination av teknisk utveckling av bussar, bättre service och underhåll, bättre kontroller, mer utbildade förare och att fler bussar utförts med automatiska släcksystem (Sveriges Bussföretag, 2016).

De röda staplarna i Figur 2-1 avser rapporterade bussbränder i Sverige enligt Räddningstjänsten. De blå staplarna avser antalet inrapporterade bränder efter att bränder som egentligen varit i husbussar, minibussar eller annat egentligen varit brandobjekt tagits bort (Sveriges bussföretag, 2018). Till skillnad från studien utförd av SP har ingen uppskrivning utförts för bränder som rimligen inte rapporterats varför det är rimligt att anta att fall av mindre rökutveckling kan ha uteslutits men troligen inte incidenter med utbrända bussar.

Antal inrapporterade bussbränder 1996 - 2017



Figur 2-1 Antal bränder i buss per år enligt statistik från MSB respektive statistik från Sveriges Bussföretag (2018). De blå staplarna avser bränder där bränder som egentligen varit i andra typer av fordon exkluderats.

Även en kartläggning av brandorsaker för bussar har även genomförts av Sveriges Bussföretag (Sveriges Bussföretag, 2016). Det vanligaste startutrymmet för bränder är inom motorrummet och det förväntas att 40-60 % av alla bussbränder har startat där. De vanligaste anledningarna till brand har, baserat på insatsrapporter, bedömts till följande (Sveriges Bussföretag, 2016):

- 50 % av alla bränder beror av elfel,
- 25 % beror på förhöjd friktion i ett hjul (rökutveckling p.g.a. hög värme, mer sällan brand),
- 25 % beror på oljeläckage eller drivmedelsläckage.

Med anledning av att majoriteten av bränder inträffar inom motorrummet har arbete med att införa krav på automatiskt släcksystem utförts. Inga lagkrav finns avseende detta men bussbranschen har, tillsammans med försäkringsbolagen, drivit igenom ett krav på släcksystem för att brandförsäkra bussar över 10 ton. Ca 95 % av bussarna är försedda med ett sådant system.

Brandorsaken har en avgörande roll för hur snabbt ett brandförlopp kan förväntas vara och inom vilken del av förloppet som drivmedlet påverkas.

2.2.3.1 Exempel på olyckor

Nedan visas några exempel på olyckor med gasbussar.



Figur 2-2 Brand i två gasbussar i Helsingborg efter kollision, 14 februari 2012. Källa: Statens haverikommission (2013).



Figur 2-3 Brand i gasbuss (under färd) i Lund, 19 december 2012. Källa: Sydsvenskan (2012).



Figur 2-4 Jetflamma från gasbuss i Wassenaar, Holland, 19 oktober 2012. Källa: Dutch Safety Board (2013). Då smältsäkringens gick uppstod en jetflamma på 15-20 meter som pågick under fyra minuter.

2.2.4 Beräkningsförutsättningar

Ett utsläpp genom säkerhetsventil sker antingen vid fel på tryckregleringen eller om gasflaskorna utsätts för värme vid exempelvis en brand. Det förutsätts att en brand i så fall antänder utsläppet direkt och det uppstår då en jetflamma. Om det istället är fel på tryckregleringen och det inte sker en direkt antändning kan det istället inträffa en gasmolnsbrand eller explosion vid en fördröjd antändning.

Indata för konsekvensberäkningar:

Tabell 2-1 Parametrar för beräkning av källstyrka, konsekvens av jetflamma, gasmolnsexplosion från säkerhetsventilutsläpp samt flaskexplosion.

| Parameter | Värde |
|--------------------------------------|-------------|
| Öppningstryck | 200 bar |
| Flaskvolym | 300 l |
| Säkerhetsventilmynning | 10 mm |
| Utsläppsriktning | Horisontell |
| Explosionskurva i multienergimetoden | 7 av 10 |

Explosionskurva 7 av 10 bedöms konservativt, om än inte orimligt konservativt då utrymmet i en tunnel är begränsat, vilket skapar en stor luftturbulens. Detta ökar syreinblandningen i gasmolnet, vilket leder till en högre explosionsstyrka.

2.2.4.1 Skadekriterier för värmestrålning från brand

En person som hamnar inom själva flamområdet för en brand kan drabbas av livshotande skador. Detta gäller för flammen från en jetbrand samt för det brännbara området av ett gasmoln som antänds.

En jetbrand ger också upphov till värmestrålning. Tabeller nedan visar möjlig konsekvens av olika värmestrålningsnivåer (Lackman, 2018).

Tabell 2-2 Effekt på människor som funktion av värmestrålningsnivå (Lackman, 2018).

| Värmestrålningsnivå | Effekt på människor |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1,5 kW/m ² | Tröskel för smärta vid längre exponering |
| 5 kW/m ² | Andra gradens brännskador inom 30 s (oskyddade personer) |
| 10 kW/m ² | Potentiellt dödlig vid längre exponering |
| 15 kW/m ² | Antändning av trä vid längre exponering, möjlig antändning av byggnader och eskalering av brand. |

Tabell 2-3 Effekt på byggnader som funktion av värmestrålningsnivå (Lackman, 2018).

| Värmestrålningsnivå | Effekt på byggnader |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 15 kW/m ² | Antändning av trä vid längre exponering, möjlig antändning av byggnader och eskalering av brand. Strålningsnivån utgör också Boverkets byggregler om maximal tillåten värmestrålning mellan byggnader. |
| 20 kW/m ² | Härdat fönsterglas spricker. |
| 20 – 25 kW/m ² | Trä självantänder. |

2.2.4.2 Skadekriterier för explosionstryck

I händelse av en flaskeexplosion eller en fördröjd gasmolnsexplosion kan det medföra en tryckvåg som kan skada människor och byggnader. Nedan listas effekter på människor och byggnader som funktion av explosionstrycket.

Tabell 2-4 Effekter på människor som funktion av explosionstrycket (Lackman, 2018).

| Explosionstryck [kPa] | Effekt på människor |
|-----------------------|---------------------------|
| 35 | Gräns för trumhinneruptur |
| 70 | Gräns för lungskador |
| 180 | 1 % omkomna |
| 210 | 10 % omkomna |
| 260 | 50 % omkomna |
| 350 | 99 % omkomna |

Tabell 2-5 Effekter på byggnader som funktion av explosionstrycket (Lackman, 2018; IPS, 2017).

| Explosionstryck [kPa] | Effekt på byggnader |
|-----------------------|---------------------|
| 1 | Glasrutor spricker |

| | |
|------|------------------------------------------------|
| 3,5 | Glasrutor splittras |
| 2-5 | Lätta innerväggar skadas |
| 7-15 | Tegelväggar påverkas |
| 15,8 | Nedre gräns för allvarliga strukturella skador |
| 30 | Destruktion av oskyddade byggnader |

2.3 Elbussar

Vid en olycka med en elbuss kan det finnas risk för brandspridning till batterierna och följdpåverkan i form av utveckling av giftig vätefluorid (HF). Nedan presenteras därför bakgrund till litiumjonbatterier och riskerna med dessa.

2.3.1 Litiumjonbatterier

Litiumjonbatterier är i sig inte klassificerade som farliga ämnen och utgör ingen risk vid hantering och användning i normalfallet. Litiumjonbatterier är dock klassade som farligt gods (Klass 9: Övriga farliga ämnen och föremål), vilket innebär att de ombesörjs av särskilda säkerhetsåtgärder under transport.

Faran med litiumjonbatterier är främst kopplad till att en oavsiktlig temperaturhöjning i battericellen kan göra så att denna spricker och ventilerar ut giftiga gaser. Gaserna är även brännbara och kan antändas direkt och ge flammor eller antändas vid ett senare tillfälle och orsaka en deflagration/gasmolnsexplosion, förutsatt att blandningen är inom brännbarhetsområdet och att tillräcklig tändkälla finns i närheten. Tändkälla kan exempelvis vara brand eller battericellens heta yta. Om explosionen sker i ett slutet utrymme kan en tryckvåg uppstå.

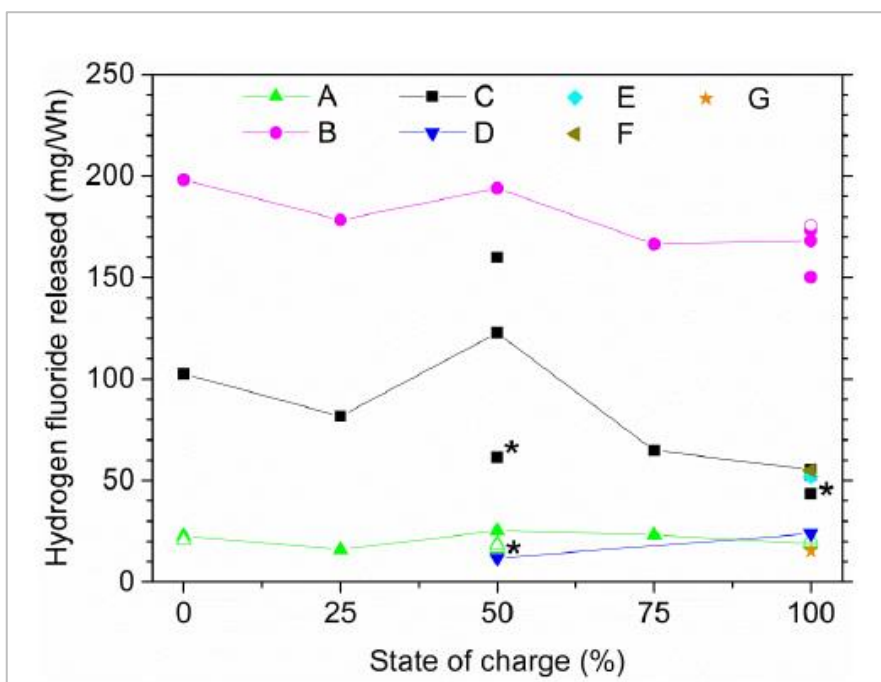
2.3.2 Allmänt om brand i litiumjonbatterier

När ett litiumjonbatteri utsätts för tillräcklig temperaturökning börjar först den brännbara elektrolyten att koka vilket leder till att cellen sväller upp. Eftersom vätskan (elektrolyten) expanderar kraftigt i ett inestängt hölje (själva kapseln) kommer höljet att brisa efter en tid så att ångor (bestående av bland annat HF) från battericellen släpps ut. Efter detta kan förloppet liknas vid en mer vanlig brand med lågor (där även HF bildas). Gaserna som bildas är brännbara, vilket också innebär att det finns risk för att dessa gaser antänds direkt eller fördröjt i form av deflagration om tillräcklig tändkälla/het yta finns i närheten. Eftersom batterikemin även innehåller syre i form av oxider i erforderlig mängd, så kan en brand i litiumjonbatterier även underhålla sig själv med syrgas och bli svårsläckt.

Experimentdata visar att ett litiumjonbatteri som utsätts för extern brand (simulerad med en propanbrännare på 16 kW) kan bilda mellan 20-200 mg HF per Wh batterikapacitet. Mest HF bildades när batteriet hade ca 50 %-ig laddningsgrad. Orsaken bakom detta är ej känt. Vid försöket testades sju olika kommersiella litiumjonbatterier med en laddning på mellan 0 och 100%. Energikapaciteten på batterierna varierande från 92 till 138 Wh. Alla batterier som medverkade i testet hade en elektrolyt som innehöll LiPF₆ (Fredrik Larsson, 2017).

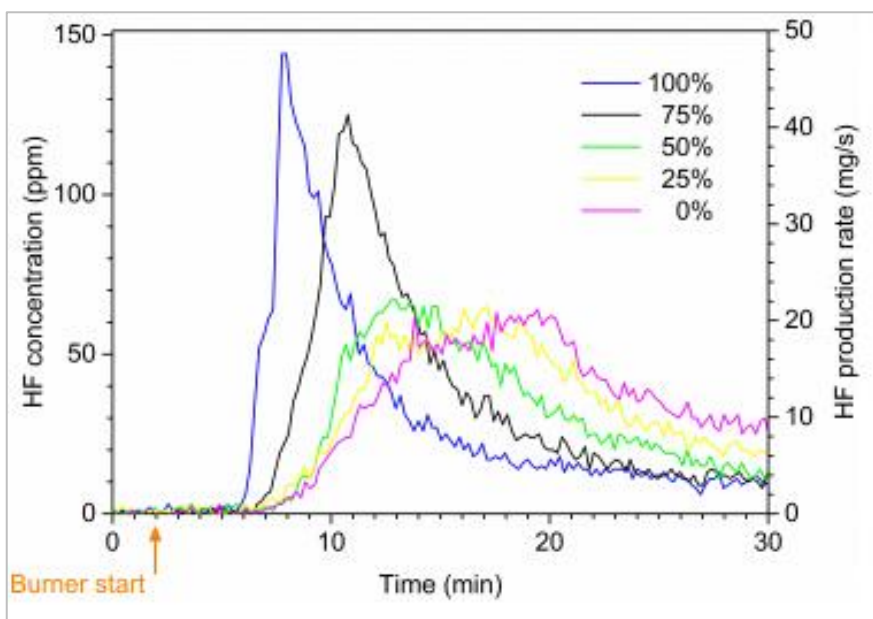
I Figur 2-5 ses testresultatet med total mängd HF som bildas vid brand för sju olika kommersiella litiumjonbatterier med olika laddningsgrad. I resultatet ses hur

laddningsgraden på batteriet påverkar hur mycket HF som bildas vid brand samt att det är stor skillnad mellan olika batterier.



Figur 2-5. Total mängd HF som bildas vid brand för sju olika kommersiella litiumjonbatterier med olika laddningsgrad (Fredrik Larsson, 2017).

Koncentrationen av HF över brandens tid kan ses i Figur 2-6. Majoriteten av HF har släppts ut under ca 10 minuters tid, även om "ventileringen" av HF från battericellen fortsätter med lägre källstyrka efter det.



Figur 2-6. Koncentration av HF som funktion av tiden för test med en viss sorts batteri. Notera hur källstyrkan snabbt ökar för att sedan raskt sjunka med tiden (Fredrik Larsson, 2017).

Generellt kan sägas, oavsett fall, att om branden i batterierna har uppnått termisk rusning är det troligt att batteriet helt kommer att brinna ut. Det är osäkert hur lång

tid detta kan ta, men vid en brand i litiumjonbatterier i Göteborg 2017 brann ett litiumjonbatteri ut på 45 minuter (Räddningstjänsten Storgöteborg, 2017).

2.3.3 Vätefluorid



Vätefluorid (fluorväte, HF), som alltså bildas vid brand i litiumjonbatterier, är en färglös och frätande gas som kan vara dödlig vid förtäring, inandning och hudkontakt. I gasfas är den, i naturligt tillstånd, tyngre än luft, men varma ångor kan bete sig som en lättare gas. Vätefluorid är mycket lösligt i vatten och kallas i denna form för fluorvätesyra, som är en frätande färglös vätska som är svår att särskilja från vatten. Fluorvätesyra med en koncentration av vätefluorid på mer än 40 % förångas vid normala rumsförhållanden (kokpunkten är ca 20°C).

Ämnet är korrosivt på i princip alla metaller förutom ädelmetaller. I kontakt med alkalimetaller (litium, natrium, kalium etc.) och fukt frigörs vätegas och explosionsrisk uppstår.

Om hud och ögon kommer i kontakt med syran/gasen kan dessa organ få mycket allvarliga frätskador. Fluoridjonen kan även bindas till kalcium i cellmembranen vilket leder till vävnadsdöd (Socialstyrelsen, 2009). Symptomen kan vara fördröjda vid exponering.

Saneringsmedel mot vätefluorid är kalciumglubionat gel (HF-antidot gel) eftersom gelen tillsammans med vätefluoriden bildas kalciumfluorid som inaktiverar den skadliga fluoridjonen. Komplexet utsöndras sedan via urinen (Socialstyrelsen, 2009). För att hantera miljökonsekvenserna av ett utsläpp av fluorvätesyra kan kalciumhydroxid (släckt kalk) användas för att fälla fluoridjonen till kalciumfluorid.

Ett utsläpp av vätefluorid i gasfas till luft med hög fukthalt leder till att fluorvätesyra bildas i mindre droppar. Eftersom dropparna är tyngre än omgivande luft leder detta till att ämnet sjunker mot marken och därigenom inte kan nå lika långt som om ämnet vore kvar i gasfas.

För att kunna göra en spridningsberäkning krävs en källstyrka, dvs. den totala mängden HF som bildas sker inte momentant utan är utspridd i tid. Använd beräkningsprogramvara kräver att källstyrkan är konstant, dvs. den kan inte hantera de fluktuationer i källstyrkan som blir fallet vid ett verkligt scenario.

2.3.4 Skadekriterier för giftig HF

Ett sätt att redovisa hälsoeffekter av giftiga luftburna ämnen är att hänvisa till AEGL-nivåer. AEGL (Acute Exposure Guideline Levels) tar hänsyn till känsliga individer såsom gamla, sjuka och unga samt lämpar sig vid korta utsläpp under en timme.

De tre nivåerna i AEGL definieras som:

- **AEGL-3**
 - Luftkoncentrationen (i ppm eller mg/m³) över vilken en befolkning (inklusive känsliga individer) antas kunna få livsfarliga skador och risk för att dö.
- **AEGL-2**

- Luftkoncentrationen (i ppm eller mg/ m³) över vilken en befolkning (inklusive känsliga individer) antas kunna få permanenta skador, andra långsiktiga svåra hälsoeffekter och svårigheter att fly undan utsläppet.
- **AEGL-1**
 - Koncentrationen (i ppm eller mg/ m³) över vilken en befolkning (inklusive känsliga individer) antas kunna bli utsatta för irritation och obehag.

I Tabell 2-6 redovisas samtliga AEGL-nivåer för vätefluorid.

Tabell 2-6. AEGL-nivåer för vätefluorid i ppm (U.S. Environmental Protection Agency, 2004).

| | 10 min | 30 min | 60 min | 4 h | 8 h |
|--------|--------|--------|--------|-----|-----|
| AEGL-1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| AEGL-2 | 95 | 34 | 24 | 12 | 12 |
| AEGL-3 | 170 | 62 | 44 | 22 | 22 |

3 Resultat

I detta avsnitt presenteras resultat för identifierade scenarion för utveckling av värmestrålning, explosioner och utveckling av giftiga gaser.

3.1 Brand i buss

Maxeffekten vid en bussbrand uppnås efter ungefär 12 minuter och har uppmätts till 25 MW (Räddningsverket, 2005). En bussbrand ger upphov till sotande och giftiga brandgaser och flammor som kan påverka bebyggelsen. Bussbränders varaktighet är begränsad och kan vara under kontroll efter 30 minuter (Transportstyrelsen, 2019).

Om bussen som fattar eld är en gasbuss eller elbuss kan dominoeffekter inträffa som analyseras i avsnitten nedan.

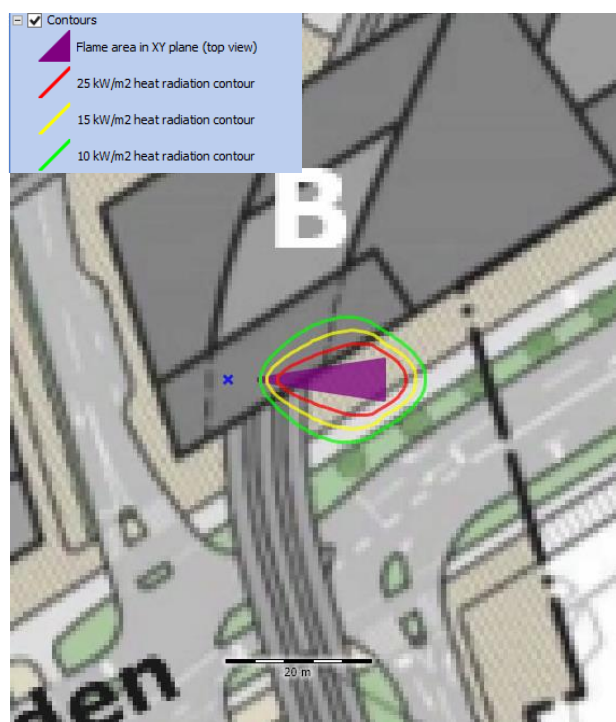
3.2 Gasbussar

Ett utsläpp genom säkerhetsventil sker antingen vid fel på tryckregleringen eller om gasflaskorna utsätts för värme vid exempelvis en brand.

3.2.1 Jetflamma – direkt antändning

Om en brand hettar upp flaskorna kommer säkerhetsventilen att lösa ut för att trycket i flaskorna stiger. Det förutsätts att branden i detta fall antänder utsläppet direkt och det uppstår en jetflamma. Resultat syns i figur nedan.

En källstyrka på 1,8 kg/s och flamlängd (utan fysiska hinder) på 17 meter erhålls. På 25 meters avstånd är strålningen 15 kW/m². Om en jetflamma inträffar i tunneln kan det förutsättas att den kringliggande byggnaden utsätts för direkt flampåverkan. Enligt beräkningen är varaktigheten på utsläppet ungefär 2,5 minuter. Visserligen kan gasinstallationen för bussarna skilja sig mellan olika bussar och olika länder, men beräkningen stämmer ganska väl överens med den inträffade olyckan i Nederländerna där jetflamman varade i 4 minuter.



Figur 3-1 Resultat för konsekvensberäkning av jetflamma från säkerhetsventil. Lila indikerar flaman, grönt indikerar gränsen för 10 kW/m², gult utgör 15 kW/m² och rött utgör 25 kW/m².

3.2.2 Utsläpp och fördröjd antändning

Om utsläppet genom säkerhetsventil sker vid fel på tryckregleringen utan extern upphettning kan en fördröjd antändning istället inträffa. Med den beräknade källstyrkan 1,8 kg/s erhålls ett brännbart gasmoln i marknivå (1,5 meters höjd) på avstånd upp till 11 meter från utsläppet.

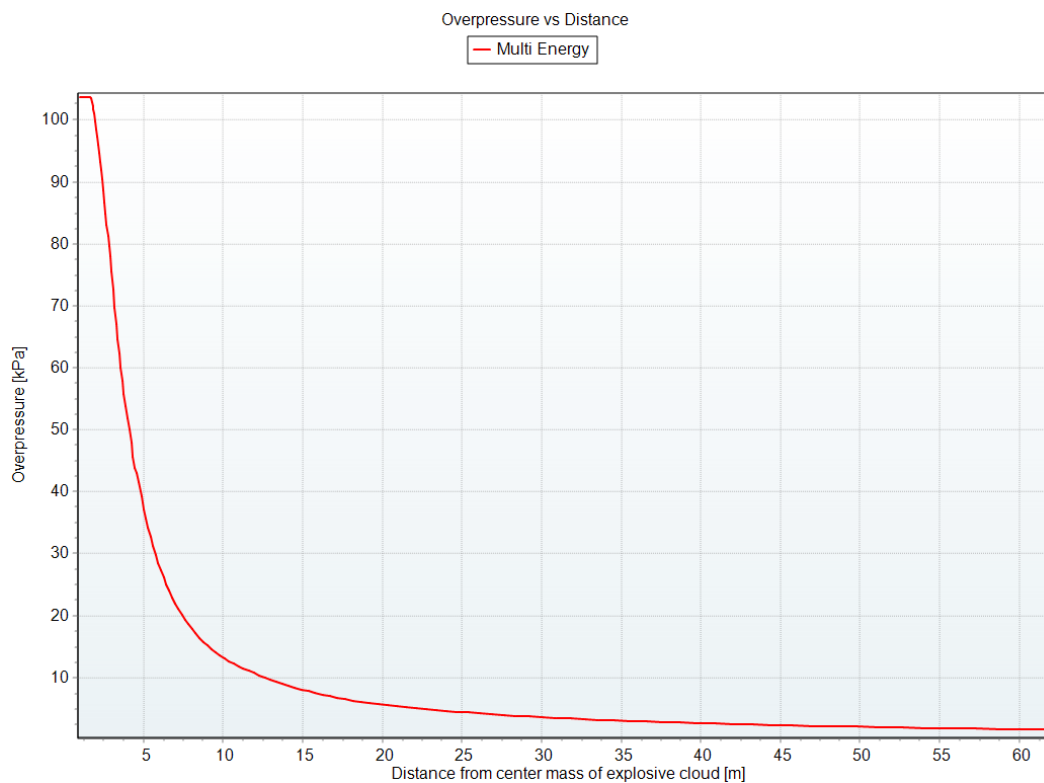
I händelse av en fördröjd antändning erhålls explosionsövertryck enligt Figur 3-2 och Tabell 3-1 nedan.

Även under antagandet om explosionsstyrka 7 av 10 i multienergimetoden, som är ett rimligt konservativt antagande, är det osannolikt att oskyddade personer omkommer som en direkt följd av explosionstrycket.

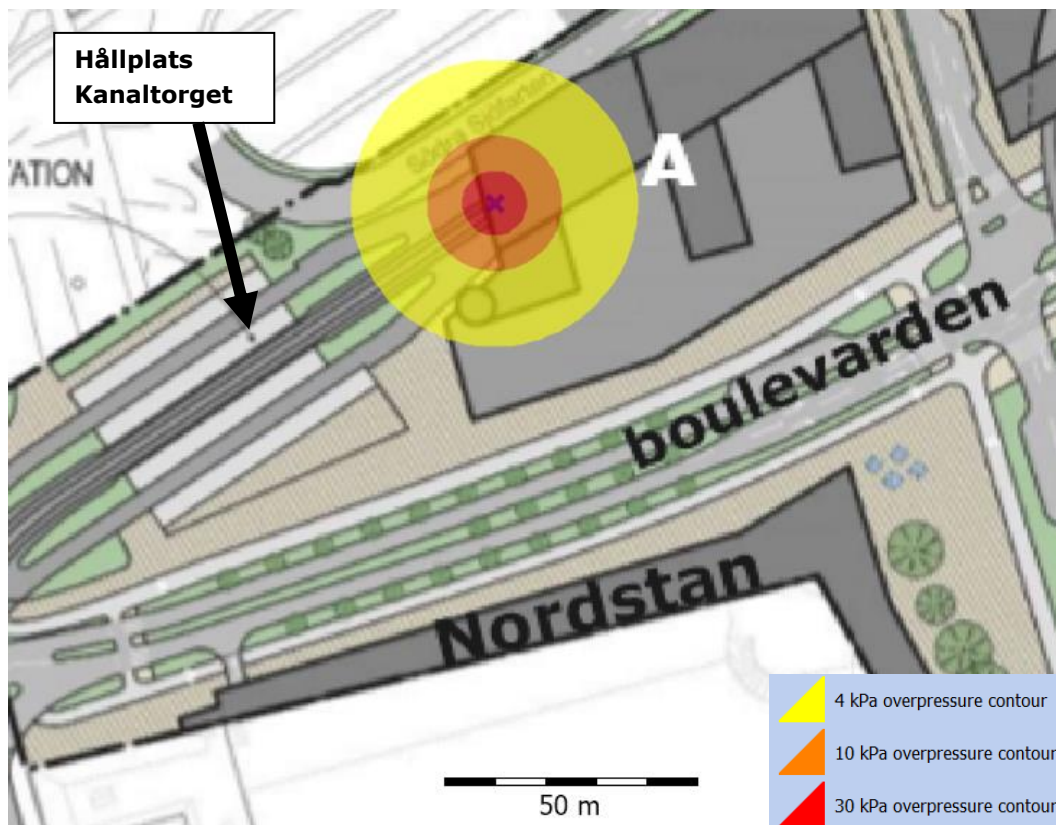
Däremot kan byggnadsstrukturer kraftigt påverkas, vilket utgör en risk för personer som befinner sig inomhus. Då relativt hög persontäthet planeras inom detaljplanen och ovanför de korta tunnarna bör konsekvensreducerande byggnadstekniska åtgärder vidtas för att säkerställa konstruktionens integritet i händelse av en explosion i tunneln eller tunnelmyningen.

Tabell 3-1 Explosionsövertryck som funktion av avståndet – gasmolnexplosion.

| Explosionsövertryck [kPa] | Avstånd [m] | Konsekvensbeskrivning |
|---------------------------|-------------|------------------------------------------------------|
| 30 | 6 | Allvarliga strukturella skador |
| 10 | 13 | Tegelväggar kan påverkas |
| 4 | 27 | Lätta innerväggar kan skadas och glasrutor splittras |



Figur 3-2 Explosionsövertryck som funktion av avståndet.



Figur 3-3 Konturer för explosionsövertryck – gasmolnsexplosion i tunnelmynning.

3.2.3 Flaskexplosion

Om säkerhetsventilen fallerar under tiden en gasflaska hettas upp kan en flaskexplosion inträffa. Kylning under släckinsats kan få säkerhetsventiler att frysa och misstänks ligga bakom flaskexplosioner som inträffat under släckinsatser (Transportstyrelsen, 2019).

Beräkning av flaskexplosion beror till stor del av fyllnadsgraden. Beräkning av flaskexplosion i programvaran med fylld flaska medför resultat enligt Tabell 3-2, Figur 3-4 och Figur 3-5.

En kraftig tryckvåg kan erhållas på korta avstånd. På uppemot 12 meters avstånd kan personer omkomma av tryckvågen. Om en flaskexplosion sker är det efter att flaskorna har hunnit hettats upp, vilket medför att tredje person sannolikt hunnit evakuera till säker plats. Däremot utsätts räddningspersonal som utför släckarbete för en större risk då de befinner sig på kortare avstånd till olycksplatsen. Vid en flaskexplosion kan de utsättas för potentiellt dödlig tryckvåg.

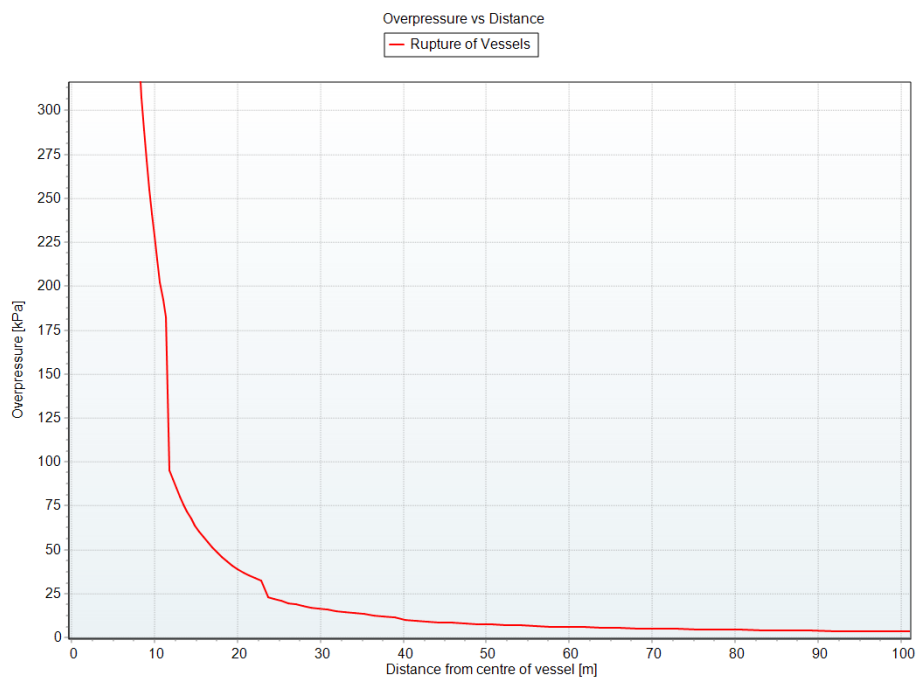
Beroende på flaskans fyllnadsgrad erhålls byggnadskonstruktionernas ytterväggar kan påverkas av tryckvågen på avstånd uppemot 30-40 meter från flaskexplosionen.

Beroende på flaskans fyllnadsgrad påvisar beräkningarna att byggnadernas fönster påverkas av tryckvågen på så sätt att de spricker eller splittras inom 68-86 meter. Glassplitter kan medföra livshotande skador för personer inomhus. I vägledande riktlinjer för kvantitativ riskanalys från 'Purple book' (TNO, 2005b) förutsätts att ungefär 2,5 % av personerna inomhus omkommer inom skadeavståndet för glassplitter.

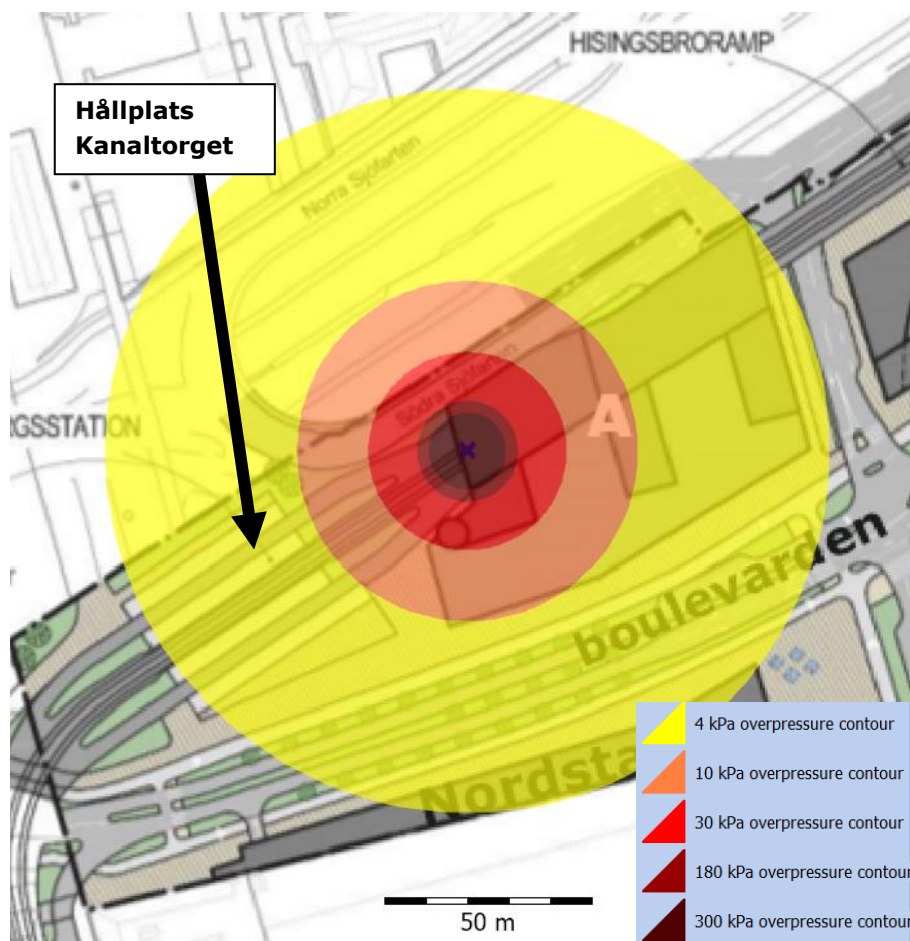
Tabell 3-2 Explosionsövertryck som funktion av avståndet - flaskexplosion.

| Explosionsövertryck [kPa] | Avstånd [m] (halvfylld flaska – helt fylld flaska) | Konsekvensbeskrivning |
|---------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 300 | 7-8 | 90 % av oskyddade personer omkommer av tryckvågen |
| 180 | 9-12 | Oskyddade personer kan omkomma av tryckvågen |
| 30 | 18-23 | Allvarliga strukturella skador |
| 10 | 32-40 | Tegelväggar kan påverkas |
| 4 | 68-86 | Lätta innerväggar kan skadas och glasrutor splittras |

Om en flaskexplosion inträffar i den västra av de två tunnlarna (tunnel A) kan den planerade hållplatsen "Kanalorget" förväntas påverkas av tryckvågen. Som syns i Figur 3-5 hamnar hållplatsen helt inom skadepåverkan mellan 4-10 kPa vilket kan få glas att splittras och påverkar konstruktionsmaterialet. Väntande resenärer kan inte förväntas påverkas av tryckvågen men riskerar skadas eller omkomma av nyss nämnda skadepåverkan.



Figur 3-4 Explosionsövertryck som funktion av avståndet – flaskexplosion.



Figur 3-5 Konturer för explosionsövertryck – flaskexplosion.

3.3 Elbussar

Producerad mängd HF i en batteribrand står i relation till batterikapaciteten. Batterikapaciteten för litiumjonbatterier i bussar ligger mellan 250 – 300 kWh (Volvo Bussar, 2020). Med de data som presenteras av (Fredrik Larsson, 2017) extrapoleras till stora batterier erhålls att 6 – 60 kg HF kan produceras över hela brandförloppet. Givet ett tio minuter långt brandförlopp erhålls en källstyrka i intervallet 10 – 100 g/s. Om branden istället skulle pågå i 30 minuter erhålls en medelkällstyrka på 3 – 33 g/s.

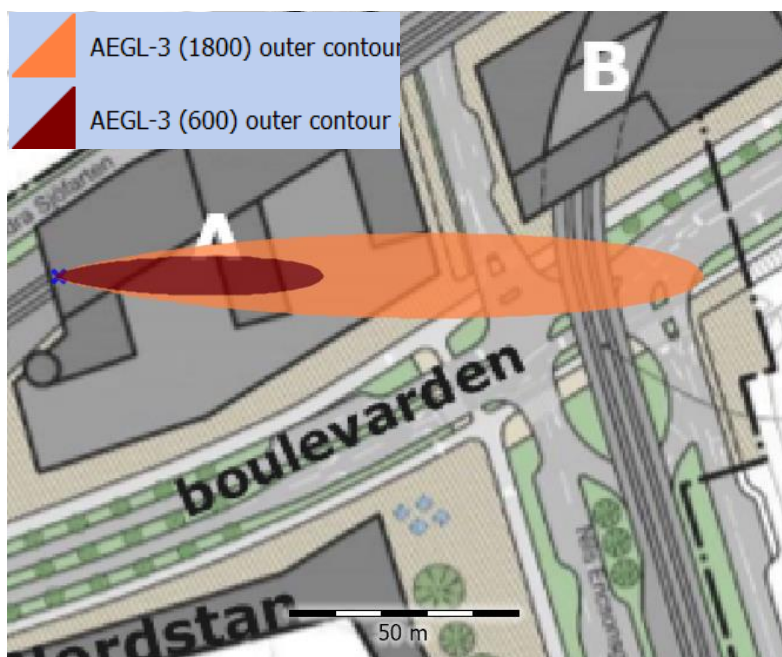
Källstyrkan av HF som funktion av tiden är emellertid inte jämnt fördelad. I Figur 2-6 syns hur källstyrkan snabbt ökar för att sedan raskt sjunka med tiden (Fredrik Larsson, 2017). Då tunnarna är mycket korta kan giftig HF förväntas mynna ut från en eller båda tunnelmynningarna för respektive tunnel, givet en olycka inuti endera tunnel.

I Tabell 3-3, Figur 3-6 och Figur 3-7 nedan redovisas gasspridning av HF (i vindens riktning, utan påverkan av tunnel eller fysiska hinder) till koncentration av AEGL-3 för tio respektive 30 minuters exponering. Personer utomhus hinner rimligen evakuera även innan de exponerats i tio minuter. Personer inomhus kan exponeras för HF via ventilationen om gaserna når dess friskluftsintag. Placering av friskluftsintag ska således vara på tak eller högt upp på fasad.

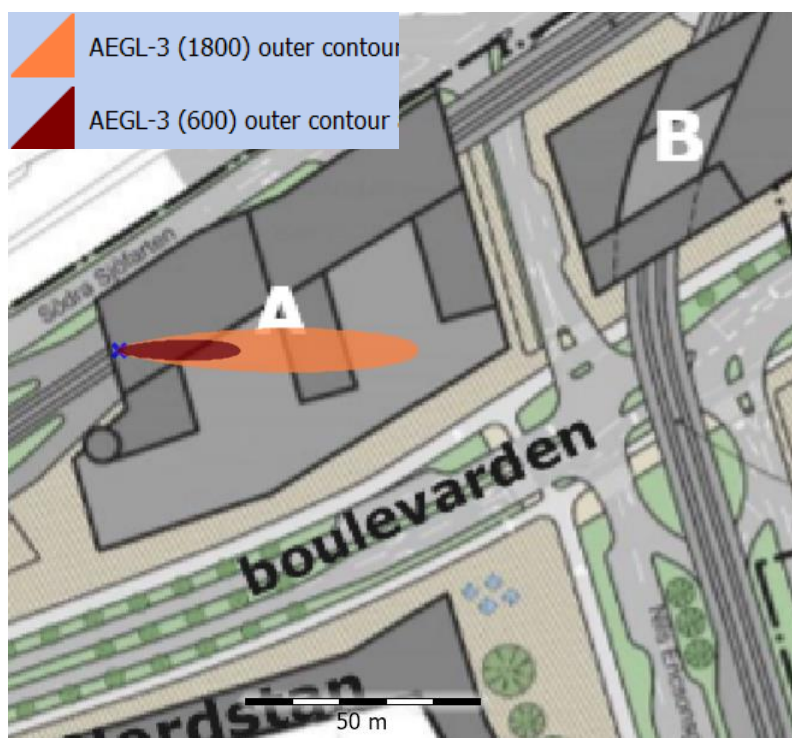
Brand i elbuss och batterier under utveckling av giftig HF kan inte sägas utgöra en tydligt förhöjd risk för aktuellt planområde i jämförelse med övriga delar av centrala Göteborg där elbussar förekommer. Det bör dock i projektet säkerställas att friskluftsintag placeras på tak eller högt på fasad. På så sätt minimeras risk för giftiga koncentrationer av HF inomhus.

Tabell 3-3 Avstånd till AEGL-3 för bildande av HF.

| Källstyrka [g/s] | Avstånd [meter] till AEGL-3 10 minuter | Avstånd [meter] till AEGL-3 30 minuter |
|------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 100 | 56 | 139 |
| 33 | 25 | 62 |

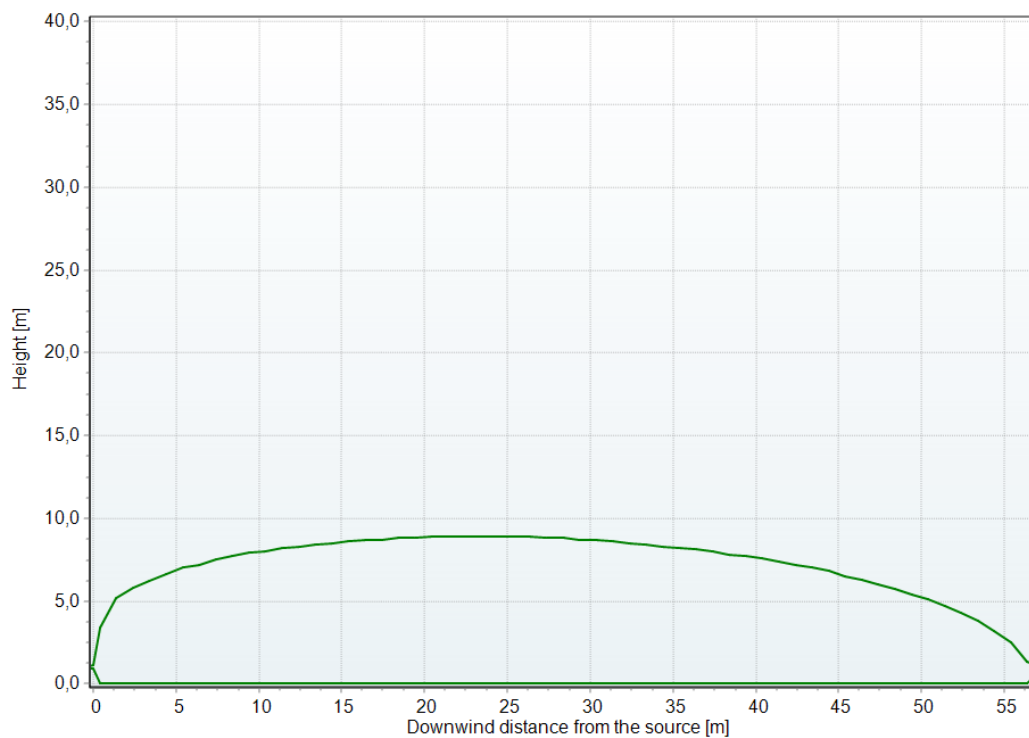


Figur 3-6 Spridningsberäkning av HF - 100 g/s källstyrka.



Figur 3-7 Spridningsberäkning av HF - 33 g/s källstyrka.

I Figur 3-8 presenteras sidovyn för spridningsberäkning av HF med källstyrka 100 g/s till koncentrationsnivå AEGL-3 för 10 minuters exponering. Maximal höjd för koncentrationen är 9 meter över mark. För molnet med koncentration av AEGL-3 för 30 minuters exponering gav en maxhöjd på 15 meter.



Figur 3-8 Sidovy för spridningsberäkning av HF – 100 g/s källstyrka till koncentrationsnivå AEGL-3 för 10 minuters exponering. Maximal höjd för koncentrationen är 9 meter över mark. Molnet för koncentrationen av 30 minuters exponering blev för lång för att det skulle gå att utläsa höjden i grafen men gav en maximal höjd på 15 meter.

4 Riskbedömning och rekommendationer

Det kan generellt sägas att trafiksäkerhetshöjande åtgärder som avser att minska krock- eller andra olycksrisker i de två vägtunnlarna har god riskreducerande effekt. Detta kan exempelvis vara tydlig skyltning, hastighetsbegränsning samt fri höjd och bredd för fordon att mötas i tunnlar. Utöver detta bör vägräcken och mittseparering övervägas.

4.1 Påverkan från värmestrålning

I huvudsak kommer riskbidraget avseende värmestrålning från bussbrand eller jetflamma från gasflaskorna. Båda scenarion har en förväntad varaktighet kortare eller mycket kortare än en timme och ger hög värmestrålning på korta avstånd.

Vid en horisontell jetflamma kan en flamlängd på 17 meter erhållas, varför det är rimligt att anta att tunnelväggar och/eller tak kan utsättas för direkt flampåverkan.

Vid dimensionering av bärverk i tunnlar nyttjas normalt kolvätekurvan. För överdäckningar är rekommendationen att denna skall utformas med en varaktighet om minst 180 minuter. I aktuellt fall har det konstaterats att en brand kan förväntas pågå under en begränsad tid, maximalt en timme. Således bedöms det rimligt att dimensionera aktuellt bärverk för 60 minuter eller högre enligt kolvätekurvan i standarden SS-EN 1363-2. Notera att även integritet och röktäthet ska uppfylla motsvarande kravnivå. Klassningen ska ses som en åtgärdsrekommendation.

4.2 Påverkan från explosionstryck

Explosionsscenario kan uppstå antingen om utsläppt fordonsgas antänds i ett tätt område med turbulent luftströmning, eller vid en flaskexplosion. Vid beräkningen erhålls att en exploderande flaska med fordonsgas ger störst konsekvenser och kan medföra påverkan på byggnader på avstånd uppemot 68-86 meter i form av glassplitter. Inom ca 30-40 meter kan allvarlig påverkan på byggnadernas ytterväggar inträffa.

Då relativt hög persontäthet planeras inom detaljplanen och ovanför de korta tunnlar bör konsekvensreducerande byggnadstekniska åtgärder vidtas för att säkerställa konstruktionens integritet i händelse av en explosion i tunneln eller tunnelmyningen.

Då delgivet underlag inte kunnat ge en tredimensionell bild av de två tunnlar har explosionstrycksberäkningarna, i detta skede genomförts med ett tvådimensionellt beräkningsverktyg som i begränsad omfattning kan inkludera tredimensionella effekter (såsom områdets täthet och dess påverkan på luftflöden). Av denna anledning rekommenderas att en CFD-analys (eller liknande verktyg) av en flaskexplosion i någon av de två tunnlar genomförs under projektering för att säkerställa adekvat kravställning på byggnadskonstruktionernas integritet.

Säkerhetshöjande åtgärder i form av splitterfritt glas inom 80 meter från tunnelmyningarna bör övervägas. En CFD-beräkning kan användas för att mer noggrant identifiera var skydd i form av splitterfritt glas är erfordrat.

4.3 Påverkan från giftig vätefluorid eller brandgaser

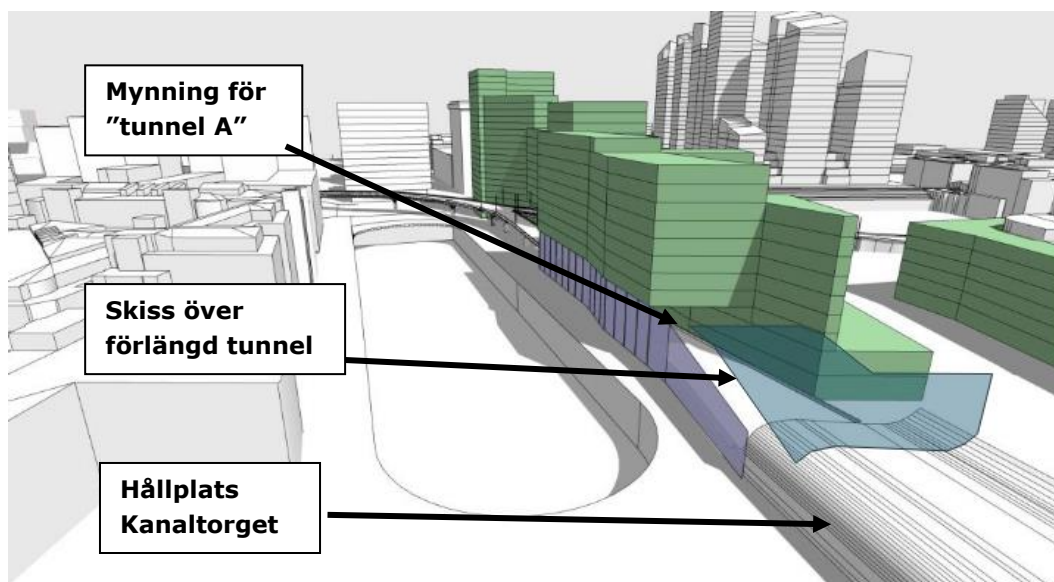
Varken en bussbrand med utveckling av sotande brandgaser eller brand i elbuss med utveckling av giftig HF kan sägas utgöra en tydligt förhöjd risk för aktuellt planområde i jämförelse med övriga delar av centrala Göteborg. Om giftig gas (brandgaser eller

HF) bildas i tunneln kommer den såklart släppas ut till omgivningen via någon eller båda tunnelmynningarna där det då kan vara en liten lokalt förhöjd risk.

Vidare visar beräkningar att den högsta höjden som farliga koncentrationer erhålls är 9-15 meter över mark. Projektet bör säkerställa att friskluftsintag placeras på tak eller högt på fasad (minst 15 meter över mark). Av denna anledning bör fönster för byggnaderna över tunnelarna på höjd upp till 15 meter utformas ej öppningsbara och åtminstone byggnadernas fem nedersta våningar bör allokeras för kontor.

4.4 Påverkan på resenärer av förlängd tunnel

Som del av projektet genomförs en luftutredning där olika luftkvalitetsförbättrande åtgärder diskuteras (WSP, 2020). I ett av scenarierna som diskuteras (scenario 6) föreslås att ett tak ska anläggas för att på så sätt förlänga "tunnel A" och förbättra luftkvaliteten för väntande resenärer, se Figur 4-1. Riskbildens påverkan av detta åtgärdsförslag, som medför att väntande resenärer uppehåller sig i den förlängda tunneln.



Figur 4-1 Skiss för förslag av luftkvalitetsförbättrande åtgärd (scenario 6).

4.4.1 Värmestrålning och varma, giftiga brandgaser

Beroende på var i tunneln en olycka inträffar kan ett hastigt olycksförlopp och en förlängd tunnel till hållplatsen medföra att väntande resenärer inte hinner evakuera innan de exponerats för skadlig värmestrålning eller giftiga brandgaser.

I händelse av en brand kan varma brandgaser endast transporteras ut via tunnelmynningarna och inte stiga rakt upp. Detta ökar risken väsentligt för exponering av varma och giftiga brandgaser för väntande resenärer från att vara i princip försumbar med en hållplats separerad från tunneln till att utgöra en icke-försumbar risk.

Om en krock eller olycka sker som hastigt medför en jetflamma från en eller flera gasflaskor i riktning mot hållplatsen kan oskyddade väntande resenärer utsättas för flammor och eller mycket hög värmestrålning. En stor anledning till detta är att värmen i synnerhet transporteras bort med luftmassan och överförs inte i samma hastighet till omgivande tunnelväggar och tak. Då värmen måste ta vägen någonstans

kan, av denna anledning, värmebortforslingen bli mycket stor i riktning mot hållplatsen. Effekten av detta fenomen har inte inkluderats i konsekvensberäkningarna ovan. Väntande resenärer riskerar att inte hinna sätta sig i säkerhet.

4.4.2 Exponering för HF

Efter ungefär 4-5 minuter av värmepåverkan (brand) börjar HF från litiumjonbatteri att utsöndras. Detta gör att enstaka väntande resenärer skulle kunna riskera att exponeras för HF om tunneln är förlängd till hållplatsen. Det går inte heller att utesluta att nyfikna personer kan befinna sig i närheten innan räddningstjänst hunnit spärra av området. Ur dessa perspektiv bedöms en förlängd tunnel medföra en något förhöjd exponeringsrisk för HF.

4.4.3 Explosionstryck

Om en explosion inträffar i tunneln medan väntande resenärer också befinner sig där vid tidpunkten för explosionen utsätts de för två förhöjda risker i jämförelse med om hållplatsen skulle vara separerad från tunneln.

För det första utsätts resenärerna för en väsentligt högre reflekterande explosionslast eftersom tryckvågen endast kan expandera i två riktningar (mot respektive tunnelmynning). Om resenärerna istället befinner sig i det fria utsätts de för en lägre explosionslast då tryckvågen kan expandera i fem riktningar (de fyra väderstrecken och uppåt) och på så sätt avta väsentligt snabbare.

För det andra ökar risken för att hållplatsens konstruktionsmaterial ska skada personer på hållplatsen genom exempelvis nedfallande delar eller glassplitter.

4.4.4 Sammanfattning förlängd tunnel

Genom att förlänga tunnel A så att väntande resenärer uppehåller sig i busstunneln medför att risk- och skyddsobjekt byggs in i samma utrymme. Detta vore sammantaget missgynnande för riskbilden för planområdet och rekommenderas ej. Vidare rekommenderas ett minsta avstånd om 40 meter mellan hållplatser och respektive tunnelmynning för att reducera resenärernas risker för exponering för potentiella explosionslaster, giftiga gaser samt värmestrålning.

Vidare gäller att om den förlängda tunneln blir mer än 100 meter lång måste särskilda risker hanteras enligt krav för tunnelsäkerhet.

Ett alternativ skulle vara att anlägga hållplatsen separat från tunneln men med en egen överbyggnad för att hantera luftkvalitetskraven. I detta fall ska överbyggnaden följa de planbestämmelser som föreslås i avsnitt 5.1.

5 Slutsatser och rekommendationer

Beräkningarnas slutsatser och rekommendationer sammanställs nedan:

- Vid en bussbrand eller jetflamma från en flaska med fordonsgas kommer vägtunnelns tak och eller väggar att utsättas för direkt flampåverkan. Om branden inträffar i tunnelmynning kan även fasad och fönster upp till ca 20 meter ovan broramp utsättas för flampåverkan.
- En bussbrand kan förväntas vara under kontroll efter ungefär 30 minuter och en jetflamma från en flaska med fordonsgas pågår i 2-5 minuter.
- Det allvarligaste explosionsscenarioet som kan inträffa med fordonsgasbussar är en flaskexplosion. Skador på ytterväggar på uppemot 40 meter och fönstersplitter på avstånd uppemot 80 meter från explosionen kan förekomma.
- Varken sotande brandgaser eller brand i elbuss med utveckling av giftig HF kan sägas utgöra en tydligt förhöjd risk för aktuellt planområde i jämförelse med övriga delar av centrala Göteborg. Beräkningar visar dock att farliga koncentrationer kan erhållas på höjd uppemot 15 meter över mark.
- Förslag att förlänga tunnel A så att väntande resenärer uppehåller sig i busstunneln medför att risk- och skyddsobjekt byggs in i samma utrymme. Detta vore missgynnande för riskbilden för planområdet och rekommenderas ej.

5.1 Rekommendationer

- Generiska trafiksäkerhetshöjande åtgärder bör övervägas, såsom adekvat hastighetsbegränsning, vägräcken och mittseparering.
- Bärverk dimensioneras för 60 minuter eller högre enligt kolvätekurvan i standarden SS-EN 1363-2. Notera att även integritet och röktäthet ska uppfylla motsvarande kravnivå.
- Byggnadsfasader och fönster över tunnelmynningarna ska upp till 20 meters höjd över broramp vara brandklassade EW30 eller högre.
- Inom 80 meter från respektive tunnelmynning bör splitterfritt glas övervägas.
- Friskluftsintag placeras på tak eller fasad minst 15 meter över marknivå.
- Fönster för byggnaderna över tunnarna bör, på höjd upp till 15 meter över mark, utformas ej öppningsbara.
- Åtminstone de fem nedersta våningarna av byggnaderna över tunnarna bör allokera för kontor.
- Vid en explosion i tunneln kommer tunnelns väggar och tak att utsättas för en potentiellt stark tryckvåg. En CFD-simulering (3d-modell) ska genomföras i projekteringsfas för att säkerställa att adekvata riskreducerande åtgärder för explosionslaster vidtas. Konsekvensreducerande byggnadstekniska åtgärder ska vidtas för att säkerställa konstruktionens integritet i händelse av en explosion i tunneln eller tunnelmynningen, baserat på resultaten av CFD-beräkningar. Nedan anges avstånd som i dagsläget bedöms gälla, men som i framtiden kan justeras av CFD-beräkningar i projekteringskedet:
 - Inom 80 meter från respektive tunnelmynning bör splitterfritt glas övervägas.
 - Ett minsta avstånd om 40 meter erfordras mellan hållplatser och respektive tunnelmynning.
 - Inom 80 meter från tunnelmynning utförs hållplatskurernas glaspartier splitterfria.

6 Referenser

- Dutch Safety Board. (2013). *Fire in a CNG bus. Wassenaar, 29 oktober 2012*. Hague: Dutch Safety Board.
- Fallqvist, K., & Klippberg, A. (2006). *BBR 11 Brandskydd i Boverkets byggregler*. Solna: Svenska Brandskyddsföreningen.
- FOA. (1998). *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor (3 uppl.)*. Försvarets Forskningsanstalt.
- Fredrik Larsson. (2017). *Lithium-ion Battery Safety - Assessment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation: Paper V - Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires*. Department of Physics, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 2017.
- IPS. (2017). *Bemannade byggnader i processindustrin*. IPS (Intresseföreningen för processsäkerhet).
- Lackman, T. (2018). *Brand och explosion i vätskor och gaser*. IPS - Intressentföreningen för processsäkerhet.
- Räddningstjänsten Storgöteborg. (2017). *Olycksutredning. Brand i batterilaboratorium. Volvo Cars, Göteborg. 2017-03-28. Händelserapport: 2017001934*.
- Räddningsverket. (2005). *Räddningsinsatser i vägtunnlar*. Karlstad: Räddningsverket.
- Socialstyrelsen. (2009). *Händelser med kemikalier. Kunskapsunderlag för hälso- och sjukvården*. Artikelnr 2009-9-20.
- Statens haverikommission. (2013). *Slutrapport RO 2013:01. Brand i två biogassbussar i stadstrafik i Helsingborg, Skåne län, den 14 februari 2012*. Stockholm: Statens haverikommission.
- Sveriges Bussföretag. (2016). *Bussar och brandsäkerhet*. Sveriges Bussföretag.
- Sveriges bussföretag. (2018). *Statistik om bussbranschen Mars 2018*. Sveriges bussföretag.
- Sydsvenskan. (2012). *Buss totalförstördes i brand*. Hämtat från <https://www.sydsvenskan.se/2012-12-19/buss-totalforstordes-i-brand> den 15 05 2018
- TNO. (2005b). *Guidelines for quantitative risk assessment "Purple book"*. The Hague.
- Transportstyrelsen. (2019). *Trafiksäkerhetshöjande åtgärder för gasbussar*. Transportstyrelsen.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2004). *Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 4*. Committee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, National Research Council.
- Volvo Bussar. (2020). Hämtat från <https://www.volvobuses.se/sv-se/our-offering/buses/volvo-7900-electric/charging-and-batteries.html>
- WSP. (2020). *LUFTUTREDNING FÖR DETALJPLAN FÖR ÖVERDÄCKNING AV GÖTALEDEN SAMT DETALJPLAN FÖR NORR OM NORDSTAN*. Göteborg: SKB.