

## Riskbedömning överdäckning tunnelbana

Liljeholmen 1:1 och Stubinen 2, Stockholm

Granskningshandling

2022-10-10



**Dokumenttyp:** Riskbedömning överdäckning tunnelbana

**Uppdragsnamn:** Liljeholmen 1:1 och Stubinen 2, Stockholm Expansion av Liljeholmstorgets galleria  
Överdäckning av tunnelbanespåren vid Liljeholmen

**Uppdragsnummer:** 112415

**Datum:** 2022-10-10

**Status:** Granskningshandling

**Uppdragsledare:** Björn Andersson

**Handläggare:** Erik Hall Midholm  
Tel: 08-588 188 00  
E-post: erik.midholm@brandskyddslaget.se

**Uppdragsgivare:** Citycon AB

Datum	Egenkontroll	Internkontroll	Revidering avser
2020-08-28	EMM	NÅG	Granskningshandling, version 1
2020-09-14	EMM	NÅG	Första versionen – detaljplaneskede
2020-11-02	EMM	NÅG	Andra versionen – detaljplaneskede
2022-05-03	EMM	NÅG	Tredje versionen – programhandling, förhandskopia
2022-10-10	EMM	NÅG	Fjärde versionen – Granskningshandling

## Innehållsförteckning

<b>1.</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>4</b>
1.1	Bakgrund.....	4
1.2	Lagrum m.m.....	4
1.2.1	TSFS 2017:119.....	4
1.3	Metodbeskrivning riskbedömning.....	5
1.3.1	Systembeskrivning.....	6
1.3.2	Kvalitativ riskanalys.....	6
1.3.3	Kvantitativ riskanalys.....	7
<b>2.</b>	<b>SYSTEMBESKRIVNING .....</b>	<b>9</b>
2.1	Överdäckning.....	9
2.2	Liljeholmens tunnelbanestation .....	10
2.3	Trafik .....	10
2.3.1	C20 .....	11
2.3.2	C30 .....	11
2.4	Kompletterande säkerhetshöjande åtgärder .....	12
<b>3.</b>	<b>GROVRISKANALYS .....</b>	<b>13</b>
3.1	Identifiering av olycksscenarier .....	13
3.2	Scenariobeskrivning.....	13
3.2.1	Urspårning och kollision .....	13
3.2.2	Brand i tunnelbanetåg .....	14
3.3	Riskuppskattning.....	15
3.4	Riskvärdering .....	17
<b>4.</b>	<b>KVANTITATIV RISKANALYS .....</b>	<b>18</b>
4.1	Allmänt.....	18
4.2	Resultat.....	18
4.2.1	Samhällsrisk .....	18
4.3	Värdering av risk.....	18
4.4	Behov av åtgärder.....	19
<b>5.</b>	<b>SLUTSATS .....</b>	<b>20</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENSER .....</b>	<b>21</b>

## BILAGA - BERÄKNINGAR

## 1. Inledning

### 1.1 Bakgrund

Citycon innehar en markanvisning och driver utvecklingsarbete i Liljeholmen i anslutning till sina befintliga fastigheter som utgörs av Liljeholmstorgets galleria och kontorshus där vårdrelaterade verksamheter är etablerade. Utvecklingsplanerna omfattar en överdäckning av tunnelbanespåren söder om Liljeholmens station där nya byggnader för kontor, handel och hotell uppförs. På överdäckningen skapas ett nytt våningsplan för handel och service samt ytterligare ett plan som via rulltrappor kopplar ihop Liljeholmstorget med en ny angöring vid Hojgränd. I parken där idag markparkering är förlagd planeras för ett envåningsgarage samt två punkthus för bostäder. Ovan garaget anläggs ny gata som förlängning av Liljeholmsgränd. Gatan kommer att förläggas på samma nivå som Liljeholmstorget och access mellan park- och gatunivå sker via en terrass med tillgängliga ramper och trappor.

Överdäckningen av tunnelbanespåren innebär krav på en samlad bedömning av hur överdäckningen påverkar risk- och säkerhetsfrågor för tunnelbanan. Enligt *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om personsäkerhet i tunnlar och plattformsrum för tunnelbana och spårväg, TSFS 2017:119* [1], ska byggherren göra en samlad bedömning vid projektering av tunnlar och plattformsrum. I den samlade bedömningen ska byggherren genomföra en riskbedömning.

Denna rapport omfattar en inledande riskbedömning för den aktuella överdäckningen. Syftet med utredningen är att göra en inledande värdering av potentiella olycksrisker kopplade till överdäckningen som ska ligga till grund för fortsatt arbete avseende riskhänsyn samt verifiering av säkerhetshöjande åtgärder.

Riskbedömningen utgör en inledande del i den samlade bedömning som ska genomföras enligt TSFS 2017:119.

### 1.2 Lagrum m.m.

Ett flertal regelverk reglerar hur risk- och säkerhetsfrågor ska hanteras för tunnlar och plattformsrum för tunnelbana.

#### 1.2.1 TSFS 2017:119

För tunnel och plattformsrum för tunnelbana ska Transportstyrelsens föreskrifter *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om personsäkerhet i tunnlar och plattformsrum för tunnelbana och spårväg, TSFS 2017:119* [1] tillämpas.

Föreskrifterna anger de väsentliga kraven för att säkerställa personsäkerhet i tunnlar och plattformsrum. För de anordningar som inte omfattas av föreskrifterna hänvisas till Boverkets byggregler.

Kraven i *TSFS 2017:119* gäller för överdäckning av tunnelbana oavsett längd. Utformningen av befintlig tunnelbanestation innebär att plattformsrummet kommer att definieras som en undermarksstation.

Allmänna krav om personsäkerhet

Enligt *TSFS 2017:119* ska tunnlar och plattformsrum ha sådana egenskaper att personer som vistas där har möjlighet att självutrymma eller på annat sätt sätta sig i säkerhet vid brand eller annan olycka.

Det påpekas i *TSFS 2017:119* att möjligheten till självutrymning, till räddningstjänstens insatser samt till begränsning av kritisk påverkan vid brand får efter ombyggnad eller annan ändring inte försämrats i de delar av anläggningen som inte berörs.

## Samlad bedömning

Enligt 7 § i TSFS 2017:119 ska byggherren göra en samlad bedömning vid projektering av tunnlar och plattformsrums. Bedömningen ska ligga till grund för beslut om nödvändiga säkerhetsåtgärder och baseras på en kostnads-/nyttoanalys.

Den samlade bedömningen ska minst beakta:

1. Spåranläggningen enligt 2 § lagen (1990:1157) om säkerhet vid tunnelbana och spårväg,
2. Fordonsegenskaper,
3. Trafikledningens möjligheter att leda och styra trafiken samt ta initiativ till utrymning,
4. Räddningstjänstens möjlighet till och förmåga vid insats, och
5. Säkerhetsordning för tunnelbana och spårväg enligt 14 § lagen om säkerhet vid tunnelbana och spårväg

## Riskbedömning

Som en del av den samlade bedömningen så ska enligt 8 § i TSFS 2017:119 en riskbedömning genomföras. Riskbedömningen ska genomföras med en verifierad metod som omfattar en kvantitativ riskanalys.

Om tunnlar och plattformsrums har speciella förutsättningar ska riskbedömningen fördjupas för att det ska gå att bestämma om de speciella förutsättningarna kräver ytterligare riskreducerande säkerhetsåtgärder. Enligt allmänt råd till 9 § kan en tunnel som har en överdäckning som kan påverka närliggande byggnadsverk anses ha speciella förutsättningar.

## Verifiering av utrymningssäkerhet

Enligt 14-15 § i TSFS 2017:119 så ska det i en tunnel finnas utrymningsvägar så att självutrymning kan ske till en säker plats eller tillfällig säker plats om en olycka inträffar.

Om avståndet mellan två utrymningsvägar är större än 300 meter i en tunnel ska byggherren fastställa gränsvärden för kritisk påverkan för utrymmande och dessa gränsvärden får inte överskridas under den tid som krävs för utrymningen.

### 1.3 Metodbeskrivning riskbedömning

I allmänt råd till 8 § i TSFS 2017:119 så föreslås att metodiken för riskanalys och riskbedömning utgår från metodbeskrivningen enligt Trafikverkets BVH 585.30 – *Handbok för analys och värdering av personsäkerhet i järnvägstunnlar*, TDOK 2015:0166 [2].

Enligt avsnitt 8.5 i TDOK 2015:0166 är riskanalysens omfattning beroende av skede i projekteringen samt på tunnellängden. Baserat på projektets skede och detaljeringsnivå kommer beslutet om riskanalysens omfattning utgå från ett skede vid projektering av järnväg som motsvarar järnvägsutredning.

Med hänsyn till införandet av säkerhetshöjande åtgärder (se avsnitt 2.4) så görs bedömningen att riskbedömningen kan avgränsas till att enbart omfatta den nya överdäckningen och tunnelbanestationen. Föreslagna åtgärder syftar till att den nya överdäckningen inte ska påverka säkerheten inom anslutande befintliga tunnelrör söderut.

Den nya överdäckningen har en längd på ca 125 meter. Tillsammans med den angränsande tunnelbanestationen så blir den totala längden ca 325 meter. För en tunnel/överdäckning med tunnellängd 300-500 meter anges i TDOK 2015:0166 att riskanalysen i järnvägsutredningen åtminstone ska omfatta en grovanalys.

I detta skede kommer riskbedömningen att omfatta följande delaktiviteter:



### 1.3.1 Systembeskrivning

beskrivning av trafiksystemet tunnel – tåg som omfattar aktuella parametrar och förutsättningar som påverkar riskbedömningen. Till trafiksystemet hör tunnel, bana, tåg, trafik och yttre assistans. Systembeskrivningen omfattar bl.a. aktuell tunnelutformning, trafikering, räddningstjänstens tid till påbörjad insats, tunnellängd, dimensionerande personantal vid utrymning m.m. Se avsnitt 2.

### 1.3.2 Kvalitativ riskanalys

Inledningsvis genomförs en inledande riskanalys som omfattar en semikvantitativ bedömning av sannolikheten för och konsekvenserna av identifierade olycksrisker.<sup>1</sup> Den semikvantitativa bedömningen innebär att olycksfrekvensen för, och/eller konsekvenserna av, de identifierade olycksriskerna delvis kommer att presenteras med ett kvantifierat resultat samt att riskernas omfattning sammanvägs utifrån en klassindelning.

Klassindelningen som används i den semikvantitativa bedömningen utgår från en riskmatris som presenteras i TDOK 2015:0166. Riskmatrisen motsvarar ambitionsnivån för tågtrafik i tunnlar, vilket omfattar en FN-kurva med en högre och en lägre nivå för risknivå.

Riskmatrisen är uppställd på formen olyckor per tågakilometer på frekvensaxeln, och en klassindelning på konsekvensaxeln.

Konsekvensklasserna är inte exakt kvantifierade utan omfattar konsekvensintervall. För att likställa alla riskanalyser med avseende på konsekvensklasser redovisas att följande konsekvensintervall gäller:

- Konsekvensklass K1: Materiella skador, inga skadade eller omkomna
- Konsekvensklass K2: Skadade människor, inga omkomna
- Konsekvensklass K3: 1-3 omkomna
- Konsekvensklass K4: 3 – ca 30 döda
- Konsekvensklass K5: fler än 30 döda

Det ska observeras att Trafikverket i TRVINFRA-00233 Krav Tunnelbyggande [3] har justerat ambitionsnivån i förhållande till vad som redovisas i TDOK 2015:0166. Sammanfattningsvis innebär justeringen att ambitionsnivån i TDOK 2016:0231 har blivit lite hårdare för konsekvenser med 1-10 omkomna men något snällare för stora konsekvenser samt att ALARP-området utvidgats.

TRVINFRA-00233 omfattar inte en riskmatris utifrån den justerade ambitionsnivån.

Den justerade ambitionsnivån innebär dock att riskmatrisen från TDOK 2015:0166 har justerats något för att motsvara ambitionsnivån enligt TRVINFRA-00233. I figur 1.3 redovisas riskmatrisen för semikvantitativ bedömning utifrån ambitionsnivån enligt TRVINFRA-00233.

---

<sup>1</sup> Riskanalysens omfattning och metodik motsvarar föreslagen omfattning enligt tabell 8.1 i TDOK 2015:0166.

**Frekvens**

Olyckor per tågkm

1,E-06					
1,E-07					
1,E-08					
1,E-09					
1,E-10					
1,E-11					
1,E-12					
	K1	K2	K3	K4	K5
	Materiella skador	Skadade människor	1-2 omkomna	3-30 omkomna	>30 omkomna

Figur 1.1. Riskmatris som används för den semikvantitativa analysen. Motsvarar ambitionsnivå för tågtrafik i tunnlar enligt TRVINFRA-00233 [3].

I matrisen finns ett vitt område inom vilket ambitionsnivån är uppnådd och riskerna kan accepteras. I det mellangrå området skall ytterligare säkerhetsåtgärder utifrån deras rimlighet utredas. Risker i det mörkgrå området innebär att utformningen måste ändras ur säkerhetssynpunkt.

### 1.3.3 Kvantitativ riskanalys

För olycksrisker som hamnar inom den grå markeringen i riskmatrisen kommer en kvantitativ riskanalys att genomföras.

I en kvantitativ riskanalys ingår uppskattningar av sannolikheter för att identifierade och oönskade händelser skall inträffa samt deras konsekvenser. Den kvantitativa bedömningen innebär att både olycksfrekvensen för, och konsekvenserna av, identifierade olycksrisker kommer att presenteras med ett kvantifierat resultat och riskernas omfattning sammanvägs med riskmålet samhällsrisk.

Olycksfrekvenser för relevanta händelser från olyckskatalogen beräknas utifrån tillgänglig statistik på liknade sätt som för den nya tunnelbanan. Statistiken har främst inhämtats ifrån Trafikanalys, Trafikförvaltningen Stockholm, Transportstyrelsen samt Trafikverket.

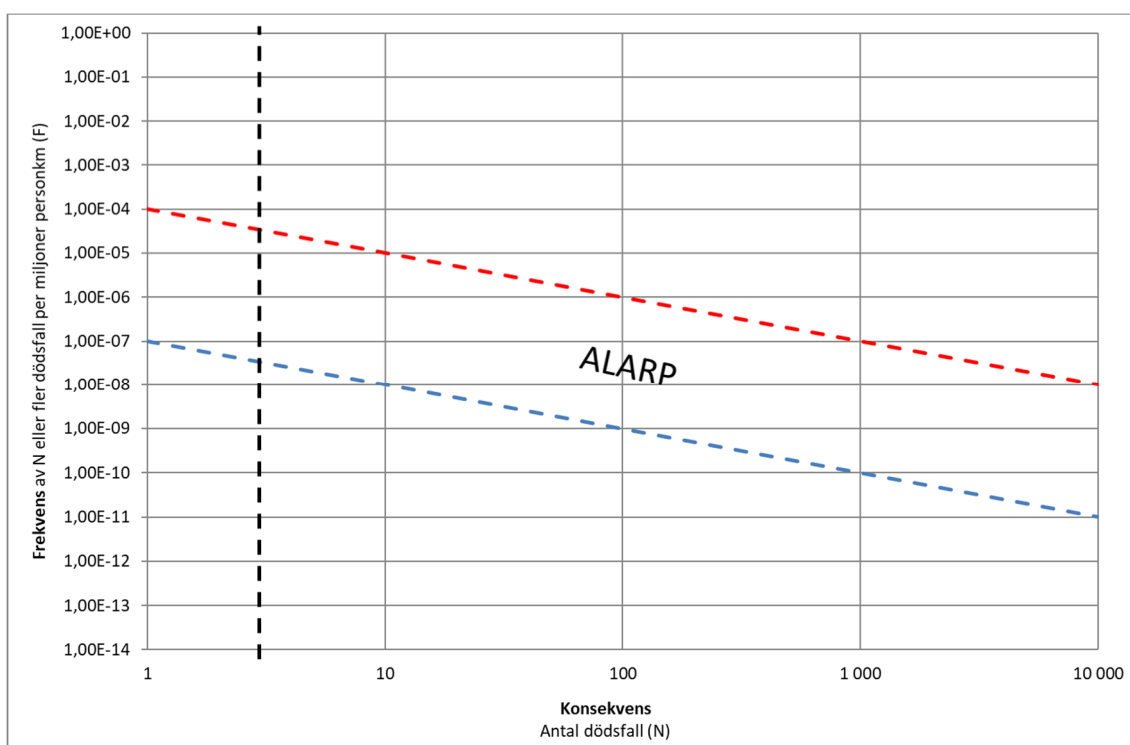
Konsekvenser beräknas utifrån olika skademodeller och tidigare analyser.

För skadescenarier förknippade med brand i tunnelbanetåg baseras konsekvenserna på brand- och utrymningssimuleringar. Konsekvensen vid scenarier med brand i tunnelbanetåg bedöms utifrån en sammanvägning av brandgasfyllnadsberäkningar och utrymningsberäkningar [4].

Värdering av beräknad samhällsrisk kommer att göras utifrån de av Transportstyrelsen presenterade säkerhetsmål i tunnlar [5]. I säkerhetsmålen föreslås en lägsta acceptabel säkerhetsnivå för vägtunnlar, järnvägstunnlar, spårvägstunnlar och tunnelbanor uttryckt i ett F/N-diagram som risk att förolyckas per miljon personkilometer. I rapporten identifieras även acceptanskriterier för samhällsrisk, omfattande ett ALARP-område, se figur 1.2.

Kriterierna för tolerabel samhällsrisk i [5] exkluderar få omkomna (< 3 omkomna). Detta motiveras med att för en stor andel av de mindre olyckor som påverkar risknivån i tunnlar så är det inte tunnelns konstruktion som sådan som i regel påverkar olyckans utgång (konsekvens) utan oftare sådant som hastighet och fordonens utformning. Det vill säga att konsekvensen av dessa olyckor blir samma oavsett om de sker i tunnel eller på ytan. De som drabbas av olyckan är oftast de som sitter i det/de olycksdrabbade fordonet/fordonen. För olyckor som är typiska tunnelolyckor, så som en brand, påverkas förloppet och konsekvenserna av olyckan av tunnelns utformning och det är tunnelns omslutande konstruktion som medför att även andra resenärer i tunneln kan påverkas av olyckan.

Olyckutfallet med fåtal omkomna för tunnlar domineras av händelser som inte anses vara tunnelspecifika, varken avseende orsak eller konsekvens, utan "vanliga" olyckor. Åtgärder för att hantera dessa risker vidtas därmed huvudsakligen utifrån empiriska data och inte utifrån resultat av riskanalyser för tunnlar.



Figur 1.2. Samhällsriskkriterier enligt Säkerhetsmål i tunnlar [5].





Mot sydost ansluter överdäckningen mot bergvägg där överdäckningen ovansida hamnar i nivå med befintlig kontorsbyggnad och Liljeholmstorget. Mot nordväst ligger spårområdet i nivå med Trekantsparken med undantag från längst i söder där överdäckningen ansluter mot bergvägg. Det planerade exploateringsprojektet omfattar ny bebyggelse inom Trekantsparken som kommer att angränsa direkt mot överdäckningens yttervägg.

Den aktuella tunnelbanesträckan omfattas av sammanlagt 5-6 spår. Med anledning av den intilliggande tunnelbanestationen så finns ett flertal växlar mellan spåren på sträckan. I sydost ansluter överdäckningen mot tre tunnelrör vidare söderut (se figur 2.2). Det östra tunnelröret trafikeras av södergående tåg mot Midsommarkransen och Aspudden (från tunnelmynningen går ett gemensamt spår som sedan skiljs i separata enkelspårstunnlar en bit in i bergtunneln som vidare går samman i dubbelspårstunnlar med norrgående spår på respektive linje). Det västra tunnelröret trafikeras av södergående tåg. Det mittersta tunnelröret leder till Nybodadepån och trafikeras endast av tomma tjänstetåg utan resenärer.

Bärverk för överdäckningen ska utföras i brandteknisk klass R 120 enligt SSÄ SÄB-0803.

Ovanpå överdäckningen planeras fyra byggnader i 7-9 våningar samt en torgyta.

## 2.2 Liljeholmens tunnelbanestation

Station Liljeholmen är en undermarkstation som togs i bruk 1964. Tunnelbanestationen omfattar tre stycken plattformar (två dubbelsidiga plattformar med spår på vardera sida och en enkelsidig plattform) i ett öppet plattformsrum utan avskiljningar.

I plattformsplanet återfinns även bussterminal samt ett antal teknikutrymmen.

Mot Trekantsparken ligger plattformsrummet i nivå med gatan, men är instängt utmed hela plattformens längd.

Plattformarna nås via biljetthallar i norr och söder. Den enkelsidiga plattformen för södergående tåg kan även nås från Liljeholmens galleria, vilken står i förbindelse med plattform via ett skjutdörrsparti.

Inom de båda biljetthallarna inryms butiks-, café/restauranglokaler och andra mindre verksamheter (ett flertal i den södra biljetthallen respektive enstaka i den norra), samt teknik- och personalutrymmen.

## 2.3 Trafik

Liljeholmens tunnelbanestation är tunnelbanenätets sjunde mest frekventerade med 34 300 påstigande resenärer per dygn enligt statistik från 2016.

Den röda linjen trafikeras av två linjer: Norsborg-Ropsten (linje 13) och Fruängen-Mörby Centrum (linje 14). Trafiken på respektive linje och riktning går under dagtid med 10 minuters mellanrum. Under rusningstrafik måndag-fredag ca 06-09 och 15-19 går tågen med ca 5 minuters mellanrum. Sammanlagt trafikeras den aktuella sträckan under ett vardagsdygn av ca 170 tåg per dygn i respektive riktning och linje, d.v.s. sammanlagt ca 680 tåg per dygn.

Högsta tillåtna hastighet på banan är 80 km/h. Utmed den aktuella sträckan bedöms hastigheten dock vara relativt låg eftersom alla tåg stannar på Liljeholmens tunnelbanestation. Både vid ankomst och avgång från tunnelbanestationen håller tågen låg hastighet, uppskattningsvis < 40 km/h.

Tunnelbanans röda linje trafikeras framförallt av tågtypen C20. Under sommaren 2020 har även tåg av den nya modellen C30 börjat trafikera den röda linjen. De äldre tågtyperna kommer därmed helt att fasas ur från röda linjen.

Framtida inköp av fordon antas minst motsvara brandsäkerheten hos C30.

## 2.3.1 C20

C20 levererades under 1997-2004 av Adtranz/Bombardier. Vagnarna är 47 m långa och har 4 boggier var. Totalt finns 126 sittplatser och kan rymma totalt 414 passagerare. Varje vagn består av tre delar med en gummibälg mellan delarna. Maximalt kopplas tre vagnar samman till ett tåg med total längd av ca 140 m. Maximalt personantal blir då 1 242 personer, varav 378 sittande.

Inom vagnarna finns endast brandbarriärer i form av väggen mot förarhytten samt i golvkonstruktionen. Vägg och dörr mot förarhytt har ett 15 minuters brandmotstånd. Någon formell klass eller provningsstandard anges dock inte.

C20 består av en stålkaross. Innerväggar och innertak är klädda med aluminium och glasull bakom. Ytterst mot fordonskarossen finns ett lager Isoflex som är en plastbaserad isolering.

Varje vagn har 32 fönster som har måtten 1 m x 1 m och 14 dörrar som har måtten 1,4 m x 2 m.

## 2.3.2 C30

C30 är de nya vagnar som Bombardier har påbörjat att leverera till Stockholms tunnelbana. Vagnarna är uppdelade i A-vagnar (ändvagnar) och B-vagnar (mellanvagnar) som sammankopplade ger en tåglängd på cirka 65-70 meter (2 A-vagnar respektive 2 B-vagnar). En tågdel har plats för 146-152 sittande och 490 stående passagerare.

Maximalt kopplas två tågdelar samman till ett tåg med total längd av ca 130-140 m. Maximalt personantal blir då 1 284 personer, varav 304 sittande.

Vagnarna är utformade med brandbarriärer i varje ände, vilket innebär att en sammankopplad tågdel enligt ovan (2 A-vagnar respektive 2 B-vagnar) innehåller sammanlagt 5 barriärer. Klassen på barriärerna mellan passagerarutrymmena uppfyller brandteknisk klass E15 och barriärerna mot förarhytterna uppfyller brandteknisk klass E10. Dessutom finns en brandbarriär mellan underredet och interiören som uppfyller brandteknisk klass EI15.

Fordonskarossen konstrueras i extruderade aluminiumprofiler. Vägg och tak är beklädda med aluminium med glasull bakom.

Varje tågdel har 64 fönster som har måtten 1 m x 1 m samt 16 mindre fönster som har måtten 1 m x 0,5 m. Det finns även 24 dörrar som har måtten 1,5 m x 2 m.

## 2.4 Kompletterande säkerhetshöjande åtgärder

I detta avsnitt redovisas en övergripande beskrivning av kompletterande åtgärder som bedöms kunna vara aktuella för att säkerställa erforderligt brandskydd och utrymningssäkerhet för tunnelbanan vid planerad överdäckning.

Följande åtgärder kommer vara aktuella inom utrymme under överdäckning:

- Utrymningstrapphus i direkt anslutning till respektive tunnelmynning för att begränsa påverkan på utrymningsförutsättningarna på befintlig tunnel. Utrymningstrapphusen syftar till att begränsa gångavstånden inom det överdäckade spårområdet och minskar behovet av att korsa spår vid en utrymning. Trapphusen begränsar dessutom påverkan på utrymningsförutsättningarna inom befintlig tunnel.

Bredd på utrymningsvägar verifieras analytiskt i enlighet med Trafikförvaltningens föreskrifter och rekommendationer [4].

- Brandgasventilation i anslutning till befintlig tunnelmynning.
- Brandgasventilation installeras i anslutning till plattformsrummet.

Projektet omfattar inte några ombyggnader av tunnelbanestationen och dess plattformsutrymme.

### 3. Grovriskanalys

#### 3.1 Identifiering av olycksscenarier

Olycksscenarierna omfattar endast akuta olyckor med möjlig konsekvens för människor och byggnader inom det aktuella området, övriga typer av olyckor anses försumbara/irrelevanta.

Riskanalysen avgränsas till att studera olycksrisker där föreslagen förändring med överdäckning av spårområdet söder om Liljeholmens tunnelbanestation bedöms kunna ha en negativ inverkan på riskbilden:

- Urspårning och kollision
- Brand i tåg

Fallrisker och personpåkörning samt elrisker och risker kopplade till väderförhållanden (exempelvis kraftig nederbörd eller hög vindhastighet) m.m. beaktas inte. För dessa olycksrisker bedöms överdäckningen av spårområdet däremot medföra en riskreducerande effekt. Personpåkörning och elrisker är till stor del kopplade till olovligt spårbeträdande, vilket bedöms komma att minska vid omslutning av spårområdet.

#### 3.2 Scenariobeskrivning

##### 3.2.1 Urspårning och kollision

Det sker mycket få urspårningar och kollisioner inom svensk tunnelbana. Enligt statistik från Trafikanalys över bantrafikskador [6] rapporterades under perioden 2000-2019 sammanlagt 6 urspårningar och sammanstötningar i tunnelbanan, varav 4 urspårningar och 1 sammanstötning vid tågrörelse samt 1 urspårning eller kollision vid växling.

De flesta urspårningar innebär dock bara att ett hjulpar hoppar av spåret och att tåget förblir upprätt. En urspårning kan också innebära att tåget, eller enstaka vagnar hamnar längre från spåret, vilket dels kan innebära risk för att tåget välter eller kolliderar med bergvägg eller andra konstruktioner eller hamnar på intilliggande spår och kan då bli påkört av ett annat tåg.

Enligt SL:s säkerhetsstrateg har ingen urspårning inträffat i tunnelbanan där tåget har lämnat spårområdet sedan tunnelbanetrafiken startades på 1950-talet [7].

Kritiska punkter där sannolikheten för urspårning uppskattas vara högre är snäva kurvor (i samband med höga hastigheter) och växlar. Hastigheten på den aktuella sträckan är relativt låg och det finns inga snäva kurvor i närheten. Däremot finns det flera växlar på sträckan i anslutning till tunnelbanestationens plattformar.

I *Bilaga – Beräkningar* har olycksfrekvensen för urspårning beräknats utifrån inhämtad statistik. Olyckskvoten för urspårning på den aktuella sträckan beräknas, med hänsyn tagen till bl.a. förekomst av växlar, spår samt den skyddande konstruktionen (som eliminerar risk för solkurvor, snö/is samt sabotage m.m.), till ca  $1,5 \cdot 10^{-8}$  per tågkm (vilket motsvarar ca  $1,1 \cdot 10^{-4}$  per miljoner personkm).

Konsekvenserna av en urspårning är kraftigt beroende av följdhändelserna. Vid urspårning där vagnarna spridning är < 1 meter från spåret bedöms konsekvenserna bli lindriga och ingen förväntas omkomma. Med hänsyn till den låga hastigheten så bedöms detta även gälla vid större spridning om tåget inte välter eller det sker kollision med bergvägg eller annat tåg.

Vid urspårning där vagn/vagnar välter och/eller det inträffar kollision antingen med bergvägg eller med annat tåg bedöms konsekvenserna kunna gå från enstaka omkomna upp till många omkomna (fler än 30 omkomna).

Dimensioneringen av överdäckningens väggar och bärverk samt utformningen av grundläggning för planerad bebyggelse ovanpå överdäckningen innebär att kollision med tunnelvägg eller pelare vid dimensionerande hastighet inte bedöms medföra några konsekvenser ovanpå överdäckningen eller inom intilliggande bebyggelse.

### 3.2.2 Brand i tunnelbanetåg

Brand i tåg som stannar i tunneln eller på stationen kan riskera att påverka säkerheten för personer på grund av brand- och brandgaser.

I *Bilaga – Beräkningar* har olycksfrekvensen för tågbrand beräknats utifrån inhämtad statistik. Den totala olyckskvoten för tågbrand beräknas till ca  $5,8 \cdot 10^{-7}$  per tågkm (vilket motsvarar ca  $4,2 \cdot 10^{-3}$  per miljoner personkm).

Sannolikheten för en omfattande tågbrand är dock relativt låg. Baserat på statistik ifrån SL, insatsstatistik från MSB, Trafikverkets databas Synergi och FIRESTARR-projektet så uppskattas att minst 80 % av alla tågbränder är så små att de antingen självslocknade alternativt att de kunde släckas av en handbrandsläckare.

De aktuella tågtyperna innebär dessutom låg brandbelastning (obrännbara ytskikt i väggar och tak m.m.) och brandbarriärer som innebär ett relativt begränsat worst case scenario avseende tillväxthastighet och maxeffekt i förhållande till t.ex. dimensionerande brandscenarier för pendeltåg. Detta medför att konsekvenserna av en tågbrand kan begränsas även vid ett mer omfattande brandscenario.

Grundrutinen vid branddetektion i en tunnel är att föraren kör tåget till närmaste station eller ut ur tunneln för att underlätta utrymningen. Närheten till Liljeholmens tunnelbanestation medför en hög sannolikhet för att stannar vid stationen. Tillgången till och utformningen utrymningsvägar från plattformarna innebär att en utrymning från ett tåg på plattformen bedöms kunna ske innan kritiska förhållanden uppstår vid samtliga potentiella brandscenarier.

Om tåget stannar i tunneln och utrymning initieras så kommer konsekvenserna att vara kraftigt beroende av brandens omfattning.

Vid små bränder (brandeffekt  $< 1$  MW) bedöms konsekvenserna bli lindriga och ingen förväntas omkomma.

Vid större bränder (brandeffekt  $> 1$  MW) så är de potentiella konsekvenserna kraftigt beroende av tillväxthastighet samt maximal brandeffekt. Den stora volymen under överdäckningen är gynnsam för påverkan för resenärer eftersom det förlänger tid till kritiska förhållanden. Vid stor brand bedöms konsekvenserna kunna gå från enstaka omkomna upp till flera omkomna. Konsekvenserna är beroende bl.a. av tillgång till åtgärder, bl.a. brandgasventilation. Vid fungerande brandgasventilation kommer konsekvenserna för resenärer att begränsas till enstaka skadade samtidigt som rökspridningen begränsas och inte sprids till bergtunnlar eller station. Vid fallerande brandgasventilation kan det dels bli konsekvenser för det branddrabbade tåget p.g.a. minskad tid till kritiska förhållanden och dessutom finns det risk för påverkan på andra tåg i bergtunnlarna eller vid stationen.

Dimensioneringen av överdäckningens väggar och bärverk samt utformningen av grundläggning för planerad bebyggelse ovanpå överdäckningen innebär att en brand i tunnelbanan inte bedöms medföra några konsekvenser ovanpå överdäckningen eller inom intilliggande bebyggelse.



### 3.3 Riskuppskattning

I tabell 4.1 redovisas de olycksscenarier som utifrån genomförd riskinventering bedömts kunna innebära en möjlig påverkan på människors säkerhet. Klassificeringen av respektive olycksrisk görs utifrån den riskmatris som redovisas i figur 1.1 baserat på olyckskvoter samt konsekvensklasser.

Tabell 4.1. Identifierade olycksrisker och beskrivning av delscenarier med bedömning av frekvens och konsekvensklass.

Huvudkategori	Scenario	Beskrivning	Frekvensklass (per tågkm)	Konsekvens- klass
<b>Urspårning och kollision</b>				
	U.1	Spridning < 1 m.	$> 10^{-8}$	K1-K2
	U.2	Spridning > 1 m. Tåget välter inte. Ingen kollision med bergvägg eller annat tåg.	$> 10^{-10}$	K2
	U.3	Spridning > 1 m, tåget välter inte. Det inträffar kollision med annat tåg.	$> 10^{-10}$	K3
	U.4	Spridning > 1m, vagn välter. Ingen kollision med bergvägg eller annat tåg.	$> 10^{-11}$	K4
	U.5	Spridning > 1 m, vagn välter. Kollision med bergvägg.	$> 10^{-10}$	K4
	U.6	Spridning > 1 m, vagn välter. Kollision med annat tåg.	$> 10^{-10}$	K5
<b>Brand i tunnelbanetåg</b>	B.1	Liten brand, < 1 MW (Brand som självslockar eller kan släckas med handbrandsläckare)	$> 10^{-8}$	K1-K2
	B.2	Medium brand upp till 2 MW (Brand i passagerarutrymme med tändkälla >200kW (stort bagage eller brännbar vätska)	$> 10^{-10}$	K2-K3
	B.3	Medium brand upp till 2 MW som efter 15 minuter fortsätter till 15 MW (Brand i passagerarutrymme med tändkälla >200kW - <u>extremfall</u> )	$> 10^{-10}$	K4
	B.4	Brand där tåget stannar och utrymmer vid station.	$> 10^{-7}$	K2
	B.5	Slow brand upp till 2 MW (brand i underrede)	$> 10^{-9}$	K2
	B.6	Slow brand upp till 2 MW som efter 30 minuter fortsätter med medium hastighet till 15 MW	$> 10^{-10}$	K2
	B.7	Slow brand upp till 15 MW (Brand i förarhytt som sprider sig till passagerarutrymme.	$> 10^{-9}$	K2-K3
	B.8	Slow brand upp till 15 MW (Brand i förarhytt som sprider sig till annan förarhytt.	$> 10^{-9}$	K2-K3

### 3.4 Riskvärdering

I figur 4.1 läggs de identifierade skadescenarierna från tabell 4.1 in i riskmatrisen som motsvarar den gällande ambitionsnivån för tågtrafik i tunnlar enligt TRVINFRA-00233 [3] (se beskrivning i avsnitt 1.3).

#### Frekvens

Olyckor per tågkm

1,E-06					
		B.4			
1,E-07					
		U1, B1			
1,E-08					
		B.5	B.7, B.8		
1,E-09					
		U2, B6	U.3, B.2	U.5, B.3	
1,E-10					
				U.4	U.6
1,E-11					
1,E-12					
	K1	K2	K3	K4	K5
	Materiella skador	Skadade människor	1-2 omkomna	3-30 omkomna	>30 omkomna

Figur 4.1. Riskmatris som används för den semikvantitativa analysen. Motsvarar ambitionsnivå enligt TDOK 2015:0166.

I matrisen finns ett vitt område inom vilket ambitionsnivån är uppnådd och riskerna kan accepteras. I det mellangrå området skall ytterligare säkerhetsåtgärder utifrån deras rimlighet utredas. Risker i det mörkgrå området innebär att utformningen måste ändras ur säkerhetssynpunkt.

Ingen av identifierade scenarier innebär så hög risk enligt genomförd grovriskanalys att de innebär att utformningen måste ändras ur säkerhetssynpunkt. Skadescenarierna bedöms generellt ha en risknivå som innebär att ambitionsnivån bedöms vara uppnådd och riskerna kan accepteras. Enstaka skadescenarier vid urspårning respektive tågbrand kan innebära så omfattande risknivå att ytterligare säkerhetsåtgärder kan behöva utredas.

## 4. Kvantitativ riskanalys

### 4.1 Allmänt

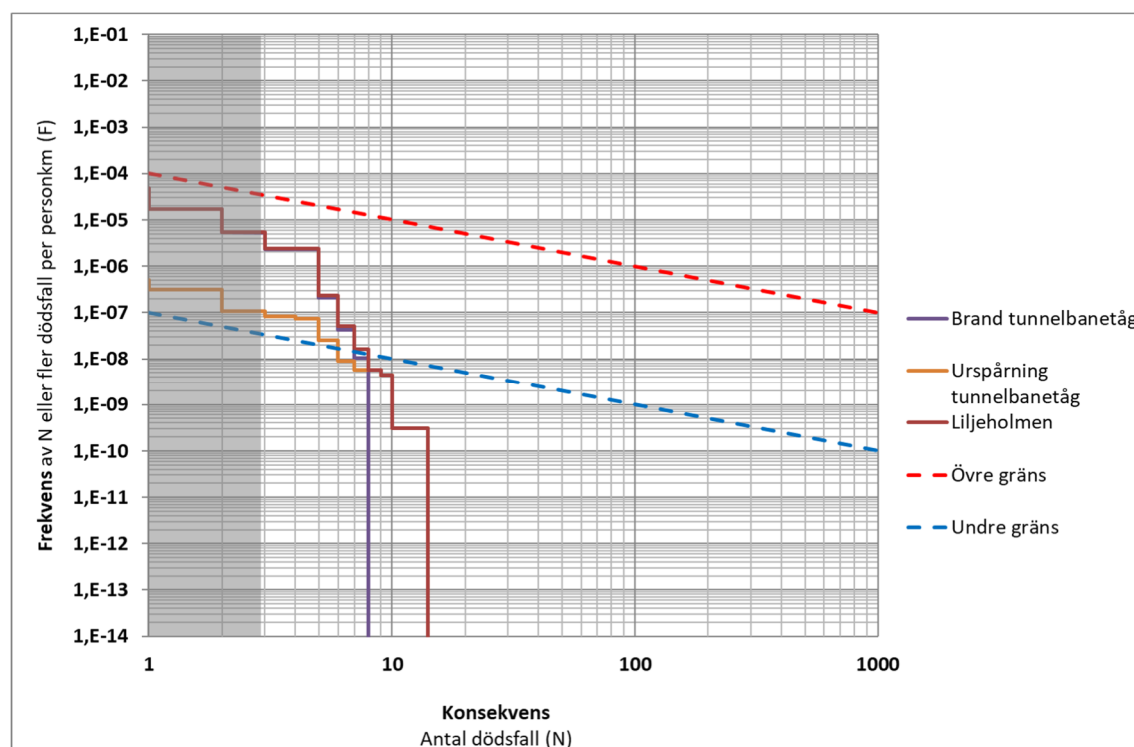
En uttrycklig riskuppskattning i form av händelseträdsanalys har utförts i *Bilaga – Beräkningar*. Risknivån sammanvägs utifrån riskmättet samhällsrisk där frekvensaxeln redovisas som olycka per miljoner personkm.

### 4.2 Resultat

#### 4.2.1 Samhällsrisk

Riskbidraget från varje olyckshändelse som ingått i säkerhetsvärderingen redovisas mot totala samhällsrisk för resande utmed aktuell sträcka vid överdäckning Liljeholmen i F/N-diagram i Figur 4.1.

F/N-diagrammet omfattar riskbidrag från olycksriskerna urspårning och brand i tunnelbanetåg.



Figur 4.1. F/N-diagram över samhällsrisk för Överdäckning Liljeholmen, redovisat som total samhällsrisk samt fördelat på respektive analyserat scenario.

### 4.3 Värdering av risk

Värdering av beräknad samhällsrisk görs utifrån de av Transportstyrelsen presenterade säkerhetsmål i tunnlar [5]. Säkerhetsmålen redovisas i F/N-kurvan i figur 4.1.

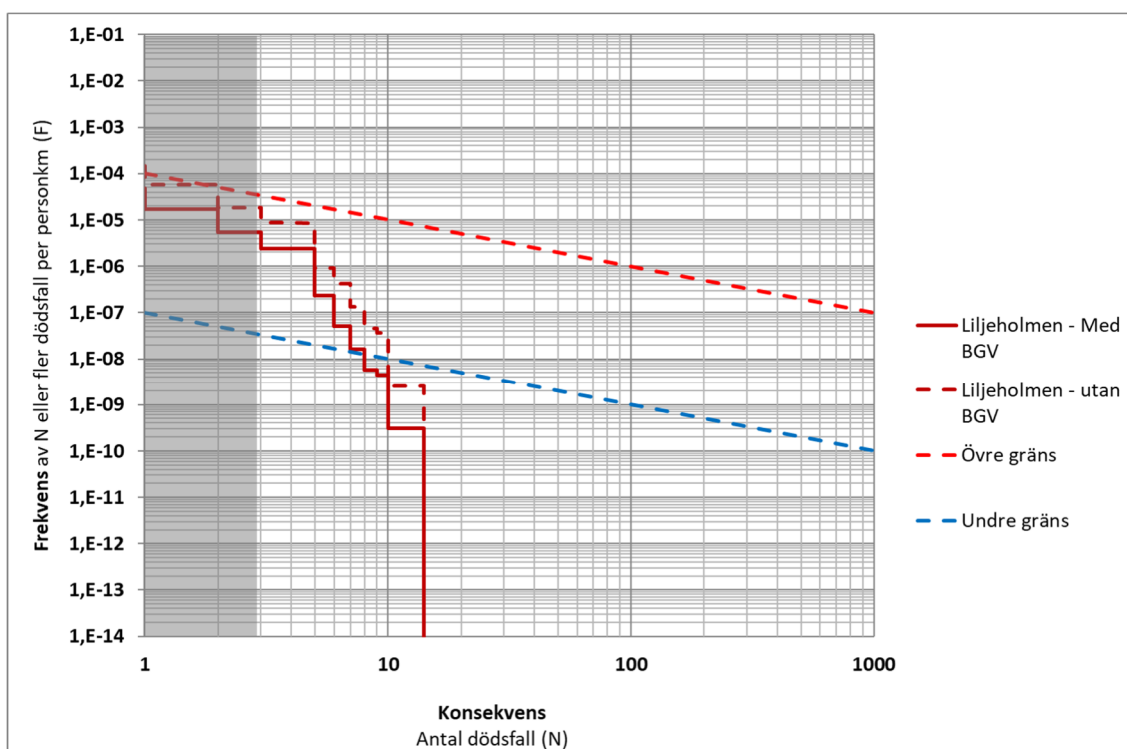
Den totala beräknade samhällsrisk för överdäckning Liljeholmen ligger inom ALARP-området i konsekvensspannet upp till 10 omkomna. Risknivån ligger aldrig över den övre gränsen. Detta innebär att risken inte är oacceptabel, men att ytterligare åtgärder bör övervägas om de är ekonomiskt försvarbara.

Av de ingående händelserna är det framförallt brand i tunnelbanetåg som ger det dominerande riskbidraget vid konsekvenser upp till 8 omkomna. I konsekvensspannet > 8 omkomna utgör urspårning det dominerande riskbidraget. Risknivån är som högst inom ALARP för enstaka omkomna (< 3 omkomna). För enstaka omkomna så utgör den s.k. restrisken för brand i tunnelbanetåg det dominerande riskbidraget, d.v.s. personer som inte kan självutrymma.

#### 4.4 Behov av åtgärder

Att den totala samhällsriskén hamnar inom ALARP-området innebär att ytterligare riskreducerande åtgärder bör vidtas. Det ska noteras att kompletterande åtgärder redan inkluderas i den beräknade risknivån, se avsnitt 2.4. Utan dessa åtgärder hade risknivån varit ännu högre.

För att beskriva effekten av föreslagna brandgasventilation så redovisas figur 4.2 samhällsriskén för resande utmed aktuell sträcka vid överdäckning Liljeholmen även utan denna åtgärd.



Figur 4.2. F/N-diagram över samhällsrisk för Överdäckning Liljeholmen, redovisat med föreslagna utformning av brandgasventilation (se beskrivning avsnitt 2.4) respektive utan denna åtgärd.

Utöver de åtgärder som redovisas i avsnitt 2.4 har det inte identifierats ytterligare kompletterande åtgärder som bedöms vara rimliga ur ett kostnad-nyttoperspektiv.

## 5. Slutsats

I enlighet med *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om personsäkerhet i tunnlar och plattformsrum för tunnelbana och spårväg, TSFS 2017:119* [1], har en riskbedömning utförts gällande personsäkerheten hos trafikanter.

Genomförd riskbedömning visar att säkerhetsnivån med föreslagen utformning uppfyller kraven på samhällsrisk enligt de av Transportstyrelsen presenterade säkerhetsmål i tunnlar [5]. Samhällsrisk är dock inom ALARP-området, vilket innebär att ytterligare åtgärder ska vidtas om de är kostnadsmässigt motiverbara. Risknivån är beräknad utifrån förutsättning att åtgärder vidtagits i syfte att säkerställa erforderligt brandskydd och utrymningssäkerhet för tunnelbanan vid planerad överdäckning, bl.a. kompletterande utrymningstrapphus samt mekanisk brandgasventilation. Dessa åtgärder reducerar kraftigt risknivån.

Utöver de åtgärder som vidtagits i syfte att säkerställa utrymningssäkerheten vid planerad överdäckning har det inte identifierats några ytterligare kompletterande åtgärder som bedöms vara rimliga ur ett kostnad-nyttoperspektiv.

För att resultatet av denna riskbedömning, och ovanstående slutsatser kring behov av åtgärder ska uppfyllas förutsätter det att följande åtgärder vidtas inom utrymme under överdäckning:

- Utrymningstrapphus i direkt anslutning till respektive tunnelmynning för att begränsa påverkan på utrymningsförutsättningarna på befintlig tunnel.
- Brandgasventilation i anslutning till befintlig tunnelmynning.
- Brandgasventilation installeras i anslutning till plattformsrummet.

Sammanfattningsvis har riskbedömningen klargjort att samhällsrisk, i jämförelse med Transportstyrelsens säkerhetsmål, är på en tolerabel nivå och inom ALARP-området. Utöver ovan beskrivna åtgärder har inga kostnadsnyttiga åtgärder har kunnat identifieras i detta skede.



## 6. Referenser

- [1] Transportstyrelsen, "Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om personsäkerhet i tunnlar och plattformsrums för tunnelbana och spårväg, TSFS 2017:119 med ändringar t.o.m. 2018:10," 2018.
- [2] Trafikverket, "BVH 585.30 – Personsäkerhet i järnvägstunnlar. Handbok för analys och värdering av person-säkerhet i järnvägstunnlar, TDOK 2015:0166," 2015.
- [3] Trafikverket, "TRVINFRA-00233, Krav Tunnelbyggande version 1.0, Trafikverket," 2021.
- [4] Brandskyddslaget AB, "Lilljeholmen Överdäckning - Brand- och utrymningsanalys, Progamhandling, Granskningsversion 2, 2022-09-23," 2022.
- [5] Risktec/COWI, "Säkerhetsmål i tunnlar - På uppdrag av Transportstyrelsen," 2019.
- [6] Trafikanalys, "Bantrafikskador 2021 (Statistikrapport 2022:20)," 2022:20.
- [7] Trafikförvaltningen, *Information från Hans Höwits, säkerhetsstrateg på Trafikförvaltningen i Region Stockholm, 2019-09-06, 2019-09-06.*
- [8] Trafikverket, "TDOK 2016:0231, Krav Tunnelbyggande version 1.0," 2016.

**Uppdragsnamn**

Liljeholmen 1:1 och Stubinen 2, Stockholm

**Uppdragsgivare**

Citycon AB

**Uppdragsnummer**

112415

**Datum**

2022-10-10

**Handläggare**

Erik Hall Midholm

**Egenkontroll**

EMM 2022-10-10

**Internkontroll**

NÅG 2022-10-10

## Bilaga - Beräkningar

### 1. Metod

#### 1.1 Frekvensberäkningar

Olycksfrekvenser för relevanta händelser från olyckskatalogen bedöms med hjälp av tillgänglig statistik på liknade sätt som för den nya tunnelbanan. Statistiken har främst inhämtats ifrån Trafikanalys, Trafikförvaltningen Stockholm, Transportstyrelsen samt Trafikverket.

Närheten till olika områden och objekt som ökar sannolikheten för olycka såsom stationer, växlar och stoppsignaler påverkar beräkningen av olycksfrekvensen för urspårning och kollision samt stopp vid brand. Genom att anpassa olycksstatistiken för Stockholms hela tunnelbanenät till lokala förhållanden som råder vid aktuell sträcka justeras frekvenser för olika olyckstyper.

Den modell som används för urspårning innebär att generell statistik anpassas till speciella aktuella förhållanden genom att studier av incidenter och inträffade olyckor genomförs. I de fall incidenter och inträffade olyckor som rapporterats ej bedöms vara relevanta för den studerade tunneln reduceras olycksfrekvens med motsvarande andel. Om olycksrisken av någon anledning bedöms vara högre än genomsnittet ökas olycksfrekvensen. Detta förfarande innebär naturligtvis osäkerheter, exempelvis genom att olika typer av incidenter ej viktas efter allvarlighetsgrad och förmåga att faktiskt orsaka en verklig olycka. Vidare finns osäkerheter i den studerade statistiken. Beräknade olycksfrekvenser ska därför ses som ungefärliga värden och det bör beaktas att de är resultat av den modell som används.

#### 1.2 Konsekvenser – använda skademodeller

För varje sluthändelse i händelseträden görs en konsekvensbedömning för att bedöma antalet omkomna. Konsekvensbedömningen baseras på olika skademodeller, tidigare analyser och kvalificerade antaganden.

##### 1.2.1 Allmänt – dödsfall i tunnelbanan

Trafikanalys redovisar årlig statistik över antalet som omkommer i Stockholms tunnelbana [1]. Under perioden 2010-2019 omkom sammanlagt 22 personer. Av dessa var 20 obehörigt spårbeträdande, en anställd samt en person som avled efter att ha trillat ner från plattformen på spåret. Dessutom inträffade i genomsnitt 8 suicider per år under denna tidsperiod.

Enligt statistiken har ingen omkommit till följd av brand, urspårning eller kollision sedan tunnelbanetrafiken startades på 1950-talet. Med hänsyn till det mycket låga antalet större skadescenarier (stor brand, urspårning eller kollision i hög hastighet) som inträffat i Stockholms tunnelbana så är underlaget för bedömning av potentiella konsekvenser för dimensionerande scenarier begränsat.

### 1.2.2 Skademodell för brand i tunnelbanetåg

Konsekvenser av brand i tunnelbanetåg baseras på brand- och utrymningssimuleringar.

Konsekvensen vid scenarier med brand i tunnelbanetåg i tunnel bedöms utifrån en sammanvägning av brandgasfyllnadsberäkningar och utrymningsberäkningar [2].

Mindre bränder (<1 MW) har precis som i tidigare säkerhetsvärderingar för järnvägstunnlar inte bedömts medföra några omkomna vid enbart brand.

Konsekvensen vid scenarier med tågbrand med stopp vid station uppskattas inte medföra några omkomna vid enbart brand.

#### Restrisk brand i tunnel

I tidigare säkerhetsanalyser för tunnlar (bl.a. Ostlänken [3]) antas för stora bränder i tunnlar (> 1 MW) en så kallad restrisk med hänsyn tagen till att självutrymning inte kan förväntas ske för alla utrymmande. Självutrymning i tunnel förutsätts inte kunna ske för följande grupper:

- Personer som skadats
- Personer som är fastklämda eller instängda i tåget
- Personer som inte har fysiska förutsättningar att självutrymma
- Personer som handlar irrationellt

För dessa grupper antas en så kallad restrisk. Restrisken för följdhändelser vid brand i tåg baseras på värden som använts i för Ostlänken [3]. I Ostlänken antas restrisken för brand i persontåg (brand i förarhytt samt brand i vagn) vara 1,5 % av antalet passagerare vid brandtillväxt enligt Fast. Vid brandtillväxt enligt Medium antas den vara hälften så stor, d.v.s. 0,75 % och vid brandtillväxt enligt Slow antas den vara 1/4, d.v.s. 0,375 %.

Restrisken tillåts dock aldrig understiga 1 omkommen oavsett skadescenario med stor brand i tunnel.

Förutsättningarna för den aktuella överdäckningen skiljer sig något jämfört med förhållanden för Ostlänkens tunnlar. Bl.a. är avståndet mellan utrymningsvägar inom överdäckningen kortare, vilket minskar risken för personer som handlar irrationellt för de som utrymmer inom den överdäckade sträckan. Tillgången till brandgasventilation förbättrar också förutsättningarna i tunneln för personer som inte kan utrymma själva. Samtidigt är tunnelbanetågens utformning annorlunda än dimensionerande tågtyper för Ostlänken, bl.a. avseende avskiljande delar inom de äldre C20-vagnarna, vilket gör att fler personer kan komma i direkt påverkan av brand inne i vagnen. Om tåget stannat delvis in i den befintliga bergtunneln kan dessutom ett irrationellt beslut innebära mycket långa gångavstånd till utrymningsväg, vilket vid icke fungerande brandgasventilation kan påverka konsekvenserna.

#### Fungerande brandgasventilation

Brandgasventilationen förbättrar enligt ovan förutsättningarna i tunneln för personer som inte kan utrymma själva, både om branden är placerad under överdäckningen eller inom befintlig bergtunnel.

För brand i tunnelbanetåg där huvuddelen av tåget står inom överdäckningen antas restrisken vara mycket låg med hänsyn till avstånd till utrymningsvägar. Vid brandtillväxt enligt Medium (vilket omfattar brandscenarier i vagnen) antas restrisken till 1/4 av den antagna restrisken i Ostlänken, d.v.s. 0,1875 %. Vid brandtillväxt enligt Slow (vilket omfattar brandscenarier i underrede eller förarhytt) antas restrisken vara 0.

För brand i tunnelbanetåg där huvuddelen av tåget står inom befintlig tunnel antas restrisken kunna bli något högre med hänsyn till att irrationella beslut kan innebära mycket långa gångavstånd till utrymningsväg. Brandgasventilationen ger dock förbättrade förhållanden även inom befintlig tunnel. För att inte överskatta brandgasventilationens effekt inom befintlig tunnel så antas att restrisken vid aktuell tågplacering motsvarar restrisken för motsvarande brandtillväxter för Ostlänken. Vid brandtillväxt enligt Medium (vilket omfattar brandscenarier i vagnen) antas restrisken vara 0,75 %. Vid brandtillväxt enligt Slow (vilket omfattar brandscenarier i underrede eller förarhytt) antas restrisken vara 0,375 %.

### **Ej fungerande brandgasventilation**

Vid fallerande brandgasventilation där huvuddelen av tåget står inom överdäckningen antas restrisken för aktuell sträcka motsvara restrisken för motsvarande brandtillväxter för Ostlänken. För brand i tunnelbanetåg antas restrisken vara 0,75 % av antalet passagerare vid brandtillväxt enligt Medium. Vid brandtillväxt enligt Slow antas restrisken vara 0,375 %.

- 1.2.3 För brand i tunnelbanetåg där huvuddelen av tåget står inom överdäckningen bedöms restrisken vara låg med hänsyn till avstånd till utrymningsvägar samt det stora tunneltvärnsnittet. Vid brandtillväxt enligt Medium (vilket omfattar brandscenarier i vagnen) antas restrisken till hälften av den antagna restrisken i Ostlänken, d.v.s. 0,375 %. Vid brandtillväxt enligt Slow (vilket omfattar brandscenarier i underrede eller förarhytt) antas restrisken med hänsyn till aktuella förhållanden till 0.Skademodell för urspårning och kollision

Beräkningen av konsekvenser för följdhändelser vid urspårning och kollision baseras på värden som använts i säkerhetsvärderingar för järnvägstunnlar. Hänsyn kommer dock att tas till lokala förutsättningar för den aktuella sträckan, i synnerhet rörande aktuell hastighet.

Vid urspårning utan kollision med varken tunnelvägg eller annat tåg, eller att tåg välter antas konsekvensen utgöras av skadade men inga omkomna.

I Ostlänken antas restrisken vid urspårning med kollision med annat tåg vara 1,605 % per tåg (baserat på statistik från inträffade kollisioner). Vidare så antas restrisken i Ostlänken vid urspårning utan kollision med annat tåg men där vagn välter eller kollision sker med tunnelvägg vara  $1/4 \times 1,50 \% = 0,375 \%$ . Relevanta hastigheter i Ostlänkens typtunnlar antas vara upp till 320 km/h.

Hastighetsbegränsningen på den aktuella tunnelbanesträckan vid Liljeholmen är 80 km/h. Utmed den aktuella sträckan bedöms hastigheten dock delvis vara lägre eftersom alla tåg med resenärer stannar på Liljeholmens tunnelbanestation. Både vid ankomst och avgång från tunnelbanestationen håller tågen låg hastighet, < 40 km/h. Vid avgång från stationen accelererar tågen i  $1,1-1,26 \text{ m/s}^2$ . Detta innebär att hastigheten är ca 40 km/h 50 meter respektive ca 65-70 km/h 150 meter från plattformskant. Tågen uppskattas ha ungefär motsvarande inbromsning vid ankomst till stationen.

Den låga hastigheten kommer att innebära lägre kollisionskrafter vilket i sin tur uppskattas begränsa konsekvenserna vid en kollision. Med hänsyn till gällande förutsättningar görs antagandet att restrisken vid urspårning och kollision med tåg är högst  $1/4$  av ovanstående skademodell för Ostlänken, d.v.s.  $1,605 \% \times 1/4 = 0,40 \%$  per tåg.

Vid urspårning med kollision med tunnelvägg eller fast konstruktion så antas vidare konsekvensen endast utgöras av skadade men inga omkomna med hänsyn till den låga hastigheten.

Vid urspårning där vagn välter antas restrisken däremot inte vara lika kopplad till tågets hastighet, och därför görs ingen reduktion i förhållande till ovanstående, d.v.s. restrisken sätts till 0,375 %.

## 2. Indata

### 2.1 Ursparning – Olyckskvot

#### 2.1.1 Olycksstatistik ursparning tunnelbana

Det sker mycket få ursparningar inom svensk tunnelbana. Enligt statistik från Trafikanalys över bantrafikskador [1] rapporterades under perioden 2000-2021 sammanlagt 8 ursparningar och sammanstötningar i tunnelbanan, varav 6 ursparningar och 1 sammanstötning vid tågrörelse samt 1 ursparning eller kollision vid växling<sup>1</sup>. Under 2020 inträffade 2 ursparningar vid tågrörelse, en ursparning vid T-centralen och en i höjd med Skärmarbrink där ursparningen sannolikt orsakades av solkurva.

Statistik har också erhållits från Trafikförvaltningen [4], [5] som sammanställer rapporterade händelser/tillbud från trafikering respektive drift och underhåll.

Sedan 1999 samlas statistik över olika händelser in. Under perioden 1999-2018 registrerades 21 ursparningar i Stockholms tunnelbana [5]. Samtliga ursparningar inträffade i mycket låg fart och merparten var med spårgående arbetsfordon nattetid.

Under perioden 2010-2021 rapporterade MTR (trafikering) 4 händelser/tillbud på tunnelbanans trafikspår medan Strukton Rail (drift och underhåll) rapporterade 24 händelser/tillbud [4].

Att uppgifterna skiljer sig mot ovanstående statistik från Trafikanalys beror på att merparten av Trafikförvaltningens rapporterade ursparningar omfattar spårgående arbetsfordon, där majoriteten av ursparningarna sannolikt inträffar när tunnelbanan är stängd. Statistiken från MTR ligger däremot i samma härad som statistiken som Trafikanalys redovisar (under perioden 2009-2021 rapporterar Trafikanalys 2 ursparningar och 1 sammanstötning vid tågrörelse). Skillnader här kan bero på olika definitioner av vad som ska rapporteras kopplat till tillbudets allvarlighetsgrad.

Syftet med denna utredning är att bedöma riskpåverkan kopplat till olycksrisker i för detta ändamål bedöms statistik över faktiska olyckshändelser vara mest relevant att utgå från. Med hänsyn till detta kommer olycksstatistiken från Trafikanalys att användas för bedömning av olyckskvot för ursparning på den aktuella sträckan.

Enligt SL:s säkerhetsstrateg har ingen ursparning inträffat i tunnelbanan där tåget har lämnat spårområdet sedan tunnelbanetrafiken startades på 1950-talet [5]. Det har även hänt att tunnelbanetåg har spårat ur i samband med växling på depåer. Detta har då skett i mycket låg hastighet (5 km/h). Under motsvarande period trafikerades tunnelbanan av i genomsnitt 12 739 000 tågkm per år. Detta motsvarar 1 742 miljoner personkm per år [6]. På grund av rådande pandemi så minskade persontrafiken i tunnelbanan kraftigt under 2020 och 2021, ca -40 % i förhållande till 2019, varför år 2020 och 2021 inte inkluderas i beräkningen av genomsnittliga trafiksiffror. Antalet tågkm påverkades dock inte på motsvarande sätt av pandemin. Utifrån ovanstående statistik görs en generell bedömning av ursparningsfrekvensen för tunnelbanan vid tågrörelse, se tabell 1. Med hänsyn till det relativt stora tidsintervallet och förändringar gällande dels tågparken och dels ökade trafikmängder så kommer statistiken att delas upp i tre intervall: 2000-2010; 2011-2021 respektive 2000-2021.

---

<sup>1</sup> Med ursparningar och kollisioner vid växling avses händelser vid trafikverksamhet för att förflytta spårfordon, exempelvis på en bangård för att rangera om vagnar i inkommande tåg till nya avgående tåg. Uppgifter om ursparningar och kollisioner vid växling saknas i statistiken före 2007.

Tabell 1. Uppskattning av urspårningsfrekvens i tunnelbanan utifrån svensk statistik.

	2000-2010	2011-2021	2000-2021
Antal urspårningar vid tågrörelse	4	2	6
Genomsnittligt antal tågkm per år	12 507 000	12 972 000	12 739 000
Olycksfrekvens per tågkm	$2,91 \cdot 10^{-8}$	$1,40 \cdot 10^{-8}$	$2,14 \cdot 10^{-8}$
Genomsnittligt antal personkm per år*	1 628 000 000	1 880 000 000	1 742 000 000
Olycksfrekvens per miljon personkm	$2,23 \cdot 10^{-4}$	$9,67 \cdot 10^{-5}$	$1,57 \cdot 10^{-4}$

\* Genomsnittligt antal personkm per år för respektive intervall beräknas exklusive år 2020-2021 p.g.a. pandemi som kraftigt påverkade resandemängderna.

Enligt tabell 1 skiljer sig olyckskvoten för urspårning relativt mycket beroende på vilket tidsperiod som studeras. Jämfört med 2000-2010 så är olyckskvoten nära halverad för perioden 2011-2021. En bakomliggande orsak till detta bedöms kunna vara uppgraderingen av tågparken där de äldre tågmodellerna C14 utfasas.

Tunnelbanans röda linje trafikeras framförallt av tågtypen C20. Under sommaren 2020 har även tåg av den nya modellen C30 börjat trafikera den röda linjen. De äldre tågtyperna kommer därmed helt att fasas ur från röda linjen. Med hänsyn till detta så kommer de fortsatta frekvensberäkningarna att utgå från olyckskvoten beräknad utifrån statistik 2011-2021.<sup>2</sup>

### 2.1.2 Kompletterande olycksstatistik urspårning järnväg

Olycksstatistiken från Trafikanalys enligt avsnitt 2.1 redovisar inte någon fördelning mellanunderliggande orsaker till urspårning i tunnelbanan. Det som har kunnat utläsas ur nyhetsrapporteringen för en av urspårningarna som inträffade 2020 var att den enligt SL orsakades av solkurva [7].

För att komplettera olycksstatistiken för tunnelbanan så används statistik för järnväg. Vid studie av olycksstatistik för järnväg bl.a. från den s.k. HÄR-databasen från Järnvägsinspektionen 1994-1999 [8] samt Trafikverkets olycksdatabas Synergi 2008-2015 [9] går det bl.a. att härleda urspårning till vilken undergrupp av sträcka som olyckan inträffar på (i linje utan växel, linje i växel respektive vid station) samt till fyra orsaksklasser:

- beteendefel – felaktiga tågrörelser, otillåten passage av signal ”i stopp”, påkörning av hinder
- banfel – solkurva, snö/is/jord/lera i/på spår, fel på växel
- fordonsfel – varmgång/axelbrott, fel på hjul, lossnad bromsbom, fjäderbrott
- övrigt fel (sabotage)

Fördelningen i olycksstatistiken för persontåg mellan undergrupp av sträcka samt orsaksklass varierar relativt mycket mellan statistiken från de studerade databaserna, se tabell 2.

<sup>2</sup> Olyckskvot som inkluderar äldre statistik kommer att beaktas i känslighetsanalys.



Tabell 2. Urspårningsfrekvenser på linje och station persontåg under 1994-1999 enligt HÄR-databasen [8] respektive under 2008-2015 enligt Synergi och TRAFA sammanställt i projekt Mälarbanan [9].

Olycksbidrag	1994-1999 (HÄR)			2008-2015 (Synergi och TRAFA)		
	Olycksfrekvens per tågkm	Andel per undergrupp – linje resp. station	Andel per undergrupp – totalt	Olycksfrekvens per tågkm	Andel per undergrupp– linje resp. station	Andel per undergrupp – totalt
<b>Linje</b>						
Beteendefel	1,16E-09	8,2%	1,9%	4,75E-09	36,3%	28,5%
Banfel	1,74E-09	12,2%	2,8%	1,74E-09	12,2%	35,7%
Fordonsfel	3,48E-09	24,5%	5,6%	2,38E-09	18,2%	14,3%
Övriga fel	7,82E-09	55,1%	12,7%	-	0,0%	0,0%
<b>Totalt Linje</b>	<b>1,42E-08</b>		<b>23,0%</b>	<b>1,31E-08</b>		<b>78,5%</b>
<b>Station</b>						
Beteendefel	1,39E-08	29,1%	22,4%	1,19E-09	33,3%	7,2%
Banfel (inklusive bangård)	2,87E-09	6,0%	4,6%	2,38E-09	66,7%	14,3%
Fordonsfel	7,48E-09	15,7%	12,1%	-	0,0%	0,0%
Övriga fel	2,34E-08	49,2%	37,9%	-	0,0%	0,0%
<b>Totalt station</b>	<b>4,76E-08</b>		<b>77,0%</b>	<b>3,57E-09</b>		<b>21,5%</b>

Ovanstående undergrupper och orsaksklasser innebär att urspårningsfrekvensen kan skilja relativt mycket mellan olika spårsträckor och kan för en specifik sträcka innebära antingen en högre eller lägre olyckskvot än den genomsnittliga olyckskvoten som redovisas i tabell 1.

### 2.1.3 Anpassning av orsaksklasser med avseende på lokala förhållanden

Undergrupper till urspårning sker utifrån plats för olyckan, där uppdelningen utgår från om urspårningen inträffade i växel eller inte. Undergrupperna är av intresse då växeltätheten bedöms öka risken för urspårning.

Utifrån en analys av statistiken i HÄR-basen [8] framgår följande fördelning mellan platser för olycka och om olyckan inträffat i växel eller inte:

- Linje, i växel: 4 %
- Linje, ej i växel: 19 %
- Station, i växel: 40 %
- Station, ej växel: 37 %

Utifrån ovanstående underlag framgår att 40 % + 37 % = 77 % av urspårningar på järnväg inträffar vid station. Vidare inträffar ca 44 % av urspårningar i växel (4 % i linje + 40 % i station).

Av de urspårningar av persontåg som sker på linje sker ca 17 % i växel ( $4\% / (4\%+19\%)$ ) respektive 83 % sker inte i växel ( $19\% / (4\%+19\%)$ ). Det stora flertalet olyckor på linje har med andra ord inte inträffat vid en växel. Undergrupperna är av intresse då växeltätheten bedöms öka risken för urspårning, bl.a. på grund av påverkan på orsaksklasserna beteendefel och banfel.

Utifrån en genomgång av händelser som anges i statistiken i HÄR-basen 1994-1999 [8] och Trafikverkets olycksdatabas Synergi 2008-2015 [9] gällande urspårning på linje och station har det bedömts att följande ändringar kan göras för respektive felorsak.

Ändringarna utgår från en kvalitativ bedömning av hur de olika orsaksklasserna kan påverkas av lokala förhållanden antingen genom en ökande eller minskande justering jämfört med gällande genomsnittliga förhållanden.

För den aktuella sträckan har det bedömts att följande ändringar kan göras för respektive orsaksklass:

- **Beteendefel:** Det finns flera växlar och stoppsignaler utmed den aktuella sträckan jämfört med genomsnittet i Stockholms tunnelbana. Det bedöms att beteendefelen är förhöjt utmed sträckan med 25 % i förhållande till genomsnittet.
- **Banfel.** Orsakerna är främst solkurvor, snö/is/jord på spår eller fel på växel. Överdäckningen av spårområdet medför att solkurvor inte är möjligt. Snö/is/jord på spår minskar också kraftigt med hänsyn till överdäckningen. Då det finns fler växlar utmed den aktuella sträckan jämfört med genomsnittet i Stockholms tunnelbana kan denna felorsak bli förhöjd. Sammanvägt så bedöms banfel som bidrag till antal olyckor per tågkm utmed aktuell sträcka jämfört med genomsnittet kunna reduceras med minst 25 %.
- **Fordonsfel** – En betydande andel av denna orsaksklass är orsakade av varmgång med efterföljande axelbrott. Detta går bl.a. att reducera genom detektorer av tjuv- och varmgång.

Urspårningsfrekvensen på grund av fordonsfel påverkas förutom av förekomsten av detektorer utmed banan även av vilka fordon som kommer trafikera sträckan tillsammans med deras drift- och underhållsplaner. Fordonsparken i Stockholms tunnelbana förnyas kontinuerligt och bedöms vara nyare och med mindre fordonsfel jämfört med fordonsparken för 15 år sedan. Detta bedöms bl.a. återspeglas i skillnaden i olyckskvoten som redovisas i tabell 1 beroende på vilket tidsintervall som statistiken bygger på. Valet av studerad statistik enligt avsnitt 2.1.1 förväntas ta hänsyn till den förhöjda sannolikheten för fordonsfel kopplat till förekomsten av äldre tåg. Med hänsyn till osäkerheter kring tillgång till tjuvbroms- och varmgångsdetektorer m.m. så görs ingen justering av bidraget till antal olyckor utmed aktuell sträcka kopplat till orsaksklassen fordonsfel.

- **Övrigt fel** – Den enda framträdande gruppen av orsaker är sabotage såsom kabeltrummor och stenblock på spåret. Den aktuella sträckan ligger i stadsmiljö i direkt anslutning till en plattform, vilket bedöms kunna öka antalet obehöriga inom spårområdet samt risken för exempelvis sabotage. Samtidigt är plattformarna kameraövervakade. Risken för sabotage förväntas därför vara motsvarande genomsnittet i Stockholms tunnelbana. Med hänsyn till detta görs ingen justering av bidraget till antal olyckor utmed aktuell sträcka kopplat till orsaksklassen övrigt fel.

Fördelningen mellan orsaksklasser med utgångspunkt ifrån studerad statistik har justerats utifrån uppskattade ändringsfaktorer för linje respektive station enligt beskrivningarna ovan. Utifrån detta beräknas sedan den sammanvägda anpassningen av den totala olyckskvoten för urspårning med avseende på lokala förhållanden. Se tabell 3.

Tabell 3. Anpassning av fördelning av orsaksklasser med avseende på lokala förhållanden.

Olycksbidrag	1994-1999 (HÄR)		Andel per undergrupp, efter reducering	2008-2015 (Synergi och TRAFI)		Andel per undergrupp, efter reducering
	Andel per undergrupp – totalt (se tabell 2)	Justering av fel		Andel per undergrupp – totalt (se tabell 2)	Justering av fel	
<b>Linje</b>						
Beteendefel	1,9%	+25%	$(100+25\%) \times 1,9\% = 2,3\%$	28,5%	+25%	$(100+25\%) \times 28,5\% = 35,7\%$
Banfel	2,8%	-25%	$(100-25\%) \times 2,8\% = 2,1\%$	35,7%	-25%	$(100-25\%) \times 35,7\% = 26,8\%$
Fordonsfel	5,6%	0%	$(100+0\%) \times 5,6\% = 5,6\%$	14,3%	0%	$(100+0\%) \times 14,3\% = 14,3\%$
Övriga fel	12,7%	0%	$(100+0\%) \times 12,7\% = 12,7\%$	0,0%	0%	$(100+0\%) \times 0,0\% = 0,0\%$
<b>Totalt Linje</b>	<b>23,0%</b>		<b>22,7%</b>	<b>78,5%</b>		<b>76,8%</b>
<b>Station</b>						
Beteendefel	22,4%	+25%	$(100+25\%) \times 22,4\% = 28,0\%$	7,2%	+25%	$(100+25\%) \times 7,2\% = 8,9\%$
Banfel (inklusive bangård)	4,6%	-25%	$(100-25\%) \times 4,6\% = 3,5\%$	14,3%	-25%	$(100-25\%) \times 14,3\% = 10,7\%$
Fordonsfel	12,1%	0%	$(100+0\%) \times 12,1\% = 12,1\%$	0,0%	0%	$(100+0\%) \times 0,0\% = 0,0\%$
Övriga fel	37,9%	0%	$(100+0\%) \times 37,9\% = 37,9\%$	0,0%	0%	$(100+0\%) \times 0,0\% = 0,0\%$
<b>Totalt station</b>	<b>77,0%</b>		<b>81,5%</b>	<b>21,5%</b>		<b>19,7%</b>
<b>Totalt</b>	<b>100,0%</b>		<b>104,2%</b>	<b>100,0%</b>		<b>96,4%</b>

Baserat på det statistiska underlaget som redovisas i tabell 3 så skulle ovanstående anpassningar kring faktorer ge en sammanvägd justering av frekvensen på +4,2 % (104,2%-100%) med utgångspunkt från statistiken 1994-1999. För frekvensreduktion med utgångspunkt från statistiken 2008-2015 så innebär ovanstående antaganden kring reducerande faktorer en sammanvägd justering av frekvensen på -3,6 % (96,4%-100%).

För att inte underskatta riskbidraget från urspårning så kommer olyckskvoten för urspårning på den aktuella sträckan konservativt att justeras utifrån justeringen med utgångspunkt från statistiken 1994-1999, d.v.s. en justering av olyckskvoten med +4,2 %.

I den fortsatta riskbedömningen anges därmed följande olyckskvot för urspårning på den aktuella sträckan (olyckskvoten utgår från olycksstatistik år 2011-2021 enligt tabell 1 med anpassning med avseende på lokala förhållanden):

$$1,40 \times 10^{-8} \times 104,2\% = 1,46 \times 10^{-8} \text{ per tågkm}$$

$$(\text{detta motsvarar } 9,67 \times 10^{-4} \times 104,2\% = 1,01 \times 10^{-4} \text{ per miljoner personkm}).$$

## 2.2 Brand i tunnelbanetåg – Olyckskvot

### 2.2.1 Olycksstatistik brand i tunnelbanetåg

En brand i tunnelbanan kan uppkomma i tåg, på stationer, i teknikutrymmen, elektronik m.m. De vanligaste orsakerna till brand i tunnelbanan är tekniska fel och anlagda bränder. Majoriteten av bränderna som inträffar är begränsade, vilket möjliggörs av att brandbelastningen generellt är låg. En stor del av anlagda bränder är begränsade till papperskorgsbränder. Den huvudsakliga risken för en allvarlig brand bedöms vara brand i tåg.

En brand kan även uppstå som följd av urspårning eller kollision. Enligt avsnitt 2.1 är olycksfrekvensen för urspårning låg och av de urspårningar som har inträffat i Stockholms tunnelbana har ingen lett till efterföljande brand. Bidraget från detta delscenario till den sammanlagda brandfrekvensen bedöms utifrån detta vara mycket låg.

Det rapporteras ett relativt stort antal brand- och rökincidenter i Stockholms tunnelbana. I Transportstyrelsens *Säkerhetsmål för trafikanter i vägtunnlar och spårtunnlar* [10] redovisas uppgifter hämtade från Trafikförvaltningen Region Stockholms incidentrapporteringssystem. Under perioden januari 2010 till och med september 2015 rapporterades nära 2 400 händelser som brand- och rökincidenter. Detta inkluderar dock alla typer av incidenter, även felaktigt användande av handbrandsläckare. Under motsvarande period genomförde räddningstjänsten insatser till följd av brand i tunnel eller brand/rök i fordon vid 8 tillfällen, vilket motsvarar i genomsnitt ca 1,4 räddningsinsatser per år till följd av brand i tunnel eller brand/rök i fordon.

Något äldre statistik redovisas i [11] där statistik från SL, insatsstatistik från MSB, Trafikverkets databas Synergi och FIRESTARR-projektet sammanställs. Rapporterade brand- och rökhändelser i tunnelbanetåg under åren 1999-2008 uppgick till sammanlagt 368 stycken. Det har dock varit en nedåtgående trend gällande framförallt elfel och anlagda bränder som successivt har gått ner sedan 1999. Från att det totala antalet bränder 1999 låg på ca 100 bränder/år till i genomsnitt ca 22-23 bränder per år under 2004-2008.

Nyare statistik har också erhållits från Trafikförvaltningen [4]. Under perioden 2010-2021 rapporterades sammanlagt 176 bränder i bana respektive 89 bränder i fordon. Det motsvarar i genomsnitt ca 20 bränder per år under den studerade perioden, varav ca 7 bränder i fordon per år. Statistiken pekar mot att trenden fortsätter neråt.

Uppskattningsvis omfattas statistiken över räddningsinsatser till följd av brand i tunnel eller brand/rök i fordon inte samtliga små bränder. För respektive brand som föranleder räddningsinsats görs antagandet att det inträffar 4 bränder som är så små att de antingen självslocknar eller kan släckas av en handbrandsläckare av personal eller resenärer. Detta är ett konservativt antagande eftersom räddningsinsatser sannolikt initierats vid fler tillfällen då förhållandena kring branden inledningsvis varit oklara. Men det skulle förklara skillnaden mellan statistiken över inrapporterade brandtillbud enligt [4], [11] och räddningsinsatser enligt [10].

Baserat på statistik ifrån SL, insatsstatistik från MSB, Trafikverkets databas Synergi och FIRESTARR-projektet så redovisas i [11] att minst 80 % av alla tågbränder är så små att de antingen självslocknade alternativt att de kunde släckas av en handbrandsläckare.

Statistiken ovan visar på en sjunkande trend gällande antal bränder i tunnelbanetåg. Jämfört med 2004-2008 så är antalet bränder nära en tredjedel för perioden 2010-2021. En bakomliggande orsak till detta bedöms kunna vara uppgraderingen av tågparken där de äldre tågmodellerna utfasas.

Tunnelbanans röda linje trafikeras framförallt av tågtypen C20. Under sommaren 2020 har även tåg av den nya modellen C30 börjat trafikera den röda linjen. De äldre tågtyperna kommer därmed helt att fasas ur från röda linjen. Med hänsyn till detta så kommer olyckskvoten för brand i tunnelbanetåg att beräknas utifrån statistik över inrapporterade brand- och rökhändelser under perioden 2010-2021, se tabell 4.

Tabell 4. Uppskattning av urspårningsfrekvens i tunnelbanan utifrån svensk statistik.

<b>Totalt antal brand-/rökhändelser i fordon</b>	7 st per år
<b>Genomsnittligt antal tågkm per år (baserat på 2000-2021)</b>	12 739 000
<b>Brandfrekvens, totalt</b>	$7 / 12\,739\,000 = 5,76 \times 10^{-7}$ bränder/tågkm
<b>Genomsnittligt antal personkm per år (baserat på 2000-2019)</b>	1 742 000 000 personkm/år
<b>Brandfrekvens, totalt</b>	$7 / 1\,742\,000\,000 = 4,21 \times 10^{-3}$ bränder/miljon personkm

## 2.2.2 Statistik över brandplacering och brandstorlek m.m.

Allvarliga olyckor till följd av brand är mycket ovanliga i Stockholms tunnelbana.

I förstudien för nya tunnelbanan mot Nacka genomfördes en fördjupad utredning avseende bränder i tunnelbanetåg för att definiera dimensionerande brandeffektkurvor som sedan används vid utrymningsanalyser av den planerade utbyggnaden av tunnelbanan [11]. De dimensionerande brandeffektkurvorna har tagits fram genom att studera möjliga brandscenarier i de trafikerande fordonen C20 och C30. Motsvarande tågtyper trafikerar den aktuella sträckan (röda linjen vid Liljeholmen), varför denna utredning kommer användas som underlag.

Baserat på statistik ifrån SL, insatsstatistik från MSB, Trafikverkets databas Synergi och FIRESTARR-projektet så redovisas i [11] att minst 80 % av alla tågbränder är så små att de antingen självslocknade alternativt att de kunde släckas av en handbrandsläckare.

Vidare redovisas i [11] en fördjupad studie av potentiella brandscenarier för de aktuella tågtyperna som med hänsyn till låg brandbelastning (obrännbara ytskikt i väggar och tak m.m.) innebär ett relativt begränsat worst case scenario avseende tillväxthastigheten och maxeffekten i förhållande till t.ex. potentiella brandeffektkurvor för pendeltåg. De extremfall som identifierats i utredningen omfattar en stor tändkälla i passagerarutrymmet tillsammans med stor mängd kvarlämnat bagage och öppen dörr till förarhytten. För detta extremfall så uppskattas brandkurvan i tågmodellen C20 inledningsvis följa medium brandtillväxt och efter ca 6-7 minuter avstanna på en relativt låg brandeffekt (2 MW) som efter 15 minuter fortsätter upp mot 15 MW.

I den nya tågmodellen C30 med lägre brännbart material i golv och i förarhytt uppskattas motsvarande scenario resultera i medium brandtillväxt upp till 2 MW som efter 20 minuter fortsätter upp mot 10 MW.

I tabell 5 redovisas en matris över kurvor som täcker in dimensionerande brandeffektutvecklingar vid kombination av tågtyp och scenario.

Tabell 5. Matris över kurvor som täcker in möjliga effektutvecklingar vid kombination av tågtyp och scenario (tabell 7.1 hämtad i [11]).

Scenario	Andel av händelser	C20	C30
Brand i passagerarutrymme med tändkälla >200kW - extremfall	2,5 %	Mediumbrand upp till 2 MW som efter 15 minuter fortsätter till 15 MW.	Mediumbrand upp till 2 MW som efter 20 minuter fortsätter till 10 MW.
Brand i passagerarutrymme med tändkälla >200kW (stort bagage eller brännbar vätska)	2,5 %	Mediumbrand upp till 2 MW.	Mediumbrand upp till 2 MW.
Brand i passagerarutrymme med tändkälla 10-200kW (vandaliserad stol eller bagage)	5 %	Slowbrand upp till 1 MW.	Slowbrand upp till 1 MW.
Brand i passagerarutrymme med tändkälla <10kW (tidningspapper)	75 %	Slowbrand upp till 1 MW.	Slowbrand upp till 1 MW.
Brand i underrede	7,5 %	Slowbrand upp till 2 MW	Slowbrand upp till 2 MW
Brand i underrede som sprider sig till passagerarutrymme via dörrar/bälg	2,5 %	Slowbrand upp till 2 MW som efter 30 minuter fortsätter enligt mediumkurva upp till 15 MW	Slowbrand upp till 2 MW
Brand i förarhytt som sprider sig till passagerarutrymme.	2,5 %	Slowbrand upp till 15 MW	Slowbrand upp till 10 MW
Brand i förarhytt som sprider sig till annan förarhytt	2,5 %	Slowbrand upp till 30 MW	Slowbrand upp till 15 MW

## 2.3 Resandemängd – personantal

Ett fullastat tunnelbanetåg med både sittande och stående (C20 och C30) rymmer maximalt 1 200 personer.<sup>3</sup>

Andelen tunnelbanetåg på den aktuella sträckan som är helt fullastade är mycket begränsad.

Enligt statistik från Trafikanalys [6] skedde under perioden 2010-2020 sammanlagt 3 244 miljoner resor i tunnelbanan, vilket motsvarar ca 18 070 miljoner personkm. I genomsnitt skedde 337 miljoner resor respektive 1 880 miljoner personkm per år (siffran beaktar inte 2020 på grund av rådande pandemi och dess effekt på den kraftigt minskade persontrafiken i tunnelbanan).

Den genomsnittliga beläggningen i form av personer per tunnelbanetåg kan beräknas genom antalet personkm dividerat med antalet tågkm (i genomsnitt 12 739 000 tågkm per år 2001-2021, se tabell 1). Under åren 2000-2021 har den genomsnittliga beläggningen per tåg legat mellan 135-150 personer per tåg med ett medelvärde på 137 personer (exklusive år 2020-2021 p.g.a. pandemi som kraftigt påverkande resandemängderna).

137 personer per tåg motsvarar ca 12,3 % beläggningsgrad för de aktuella tågtyperna C20/C30 ( $137 / 1\,200 = 0,123$ ).

Enligt Trafikverkets "Prognos för persontrafiken 2040" [12] beräknas en årlig tillväxt i antalet personkm för spårväg och tunnelbana (beskrivningen utgår från kategorin "Regional övrig spår" i prognosen) med 1,6 % per år under 2017-2040. Detta ger en sammanlagd ökning med 43 %. Ökningen kan jämföras med en genomsnittlig ökning med ca 1,2 % per år under 2000-2017 [6].

<sup>3</sup> Dimensionerande personantal för fullastat C20 respektive C30 är hämtat från Förvaltning för utbyggd tunnelbana (FUT 1352-P11-24-00017 – Brand- och utrymningsscenarier för tunnlar och stationer, 2017-06-30)



Den prognostiserade ökningen beror så klart delvis med den pågående utbyggnaden av tunnelbanan, och att antalet tågkm också kommer att öka. Den genomsnittliga beläggningen per tåg kommer därmed sannolikt inte öka i samma takt som prognosen ovan. I den fortsatta utredningen så görs dock det konservativa antagandet att den genomsnittliga beläggningen per tåg ökar med ca 43 % i förhållande till nuläge, d.v.s.  $137 \times 143 \% = 196$  personer/tåg.

196 personer per tåg motsvarar ca 16 % beläggningsgrad för de aktuella tågtyperna C20/C30 ( $203 / 1\,200 = 0,16$ ).

I likhet med FUT:s utredningar av normalsektionen i samband utbyggnaden av blåa linjen och gula linjen [13] så antas fyra olika grader av beläggning på ett tåg:

- överfullt (1200 personer) med fullt sittande och 5 p/m<sup>2</sup> stående
- normal maxbelastning (800 personer). I FUT motsvarar detta en prognostiserad normal maxbelastning under maxkvarten (högtrafik).
- högtrafik (600 personer)
- lågtrafik (300 personer)

Dessa personer fördelas jämnt över de tre tågsätten (47 m vardera).

En bedömning av fördelning mellan olika personantal presenteras i tabell 6 nedan. Bedömningarna utgår från mätningar av personbelastning på gröna linjen under åren 2007-2011 som skalats upp för att uppväga för en tänkt ökad trafikering.

Enligt FUT:s anvisningar för utrymningsberäkningar i spårtunnlar [14] så kräver tillväxthastighet enligt Medium en så pass stor tändkälla (barnvagn/lastpall/anlagd brand med bensin jämte större mängd kvarlämnat bagage) att det inte bedömts vara rimligt att den får plats om personantalet överskrider 800 personer (normal maxbelastning). Detta innebär att dessa brandscenarier ej förväntas ske i kombination med ett överfullt tåg. Vid mindre tändkällor och bagage inne i passagerarutrymmet eller tändkällor utanför passagerummet så kan upp till 1 200 personer antas få plats.

Tabell 6. Fördelning mellan olika personantal på tåg.

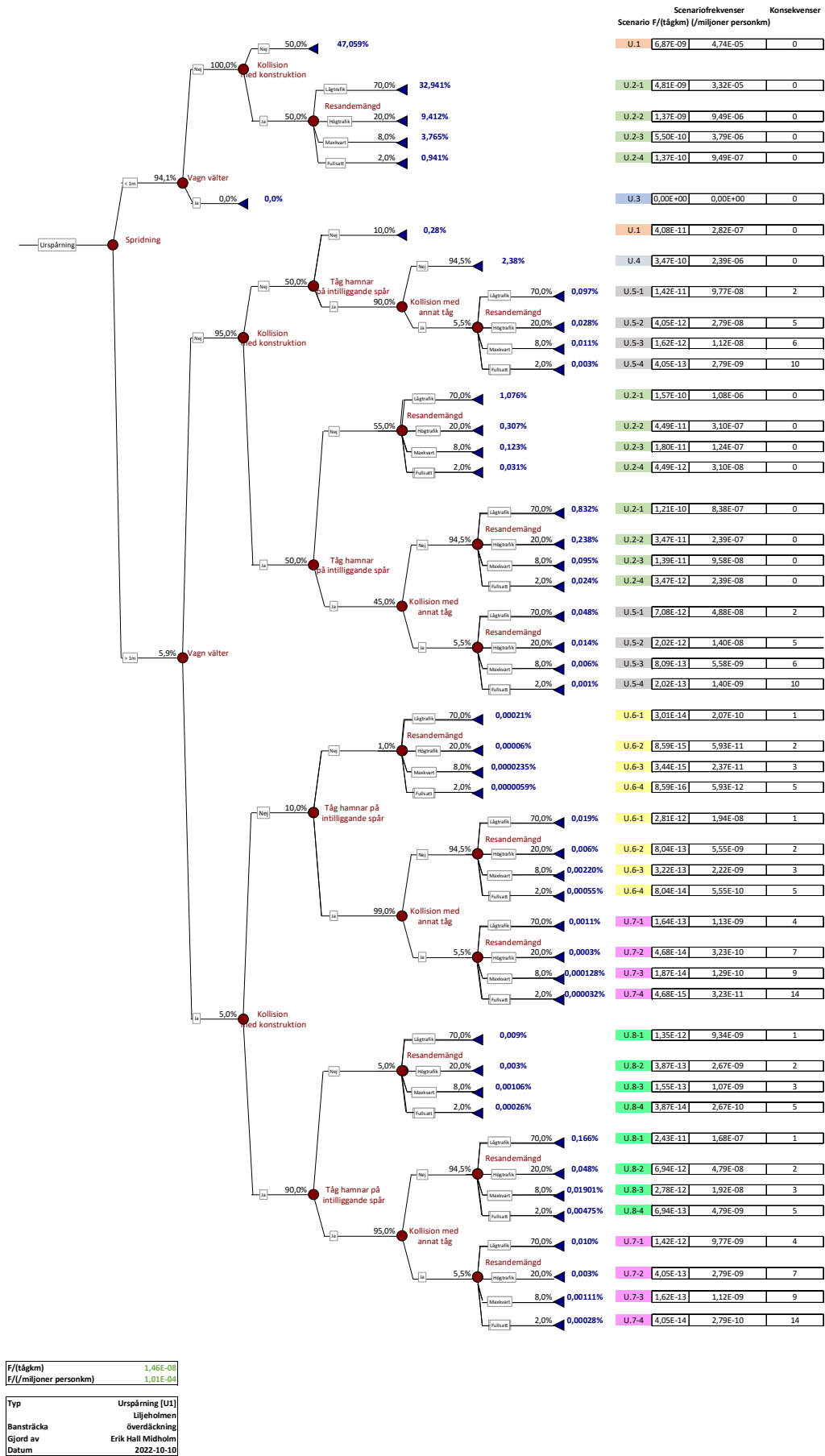
Personantal	Fördelning	
	Brand, tillväxthastighet medium	Urspårning samt liten brand
Överfullt – 1200 p	0 %	2 %
Normal maxbelastning – 800 p	4 %	8 %
Högtrafik – 600 p	26 %	20 %
Lågtrafik – 300 p	70 %	70 %

### 3. Händelseträd

#### 3.1 Händelseträd urspårning

Figur 1 redovisar händelseträd för olyckshändelsen urspårning på den studerade sträckan.

Olyckskvoten för urspårning har beräknats till  $1,46 \times 10^{-8}$  olyckor per tågkm (motsvarande  $1,10 \times 10^{-4}$  per miljoner personkm, se avsnitt 2.1.3).



Figur 1. Händelseträd urspårning vid överdäckning Liljeholmen.

Fördelning gällande plats för urspårning, spridning, sannolikhet att vagn välter, stopplats, sannolikhet för kollision och efterföljande brand presenteras i avsnitt 3.1.1-3.1.6 nedan.

Hastigheten hos tunnelbanetåg som spårar ur påverkar krafterna som resenärerna utsätts för, hur långt ifrån spåret som det urspårade tåget hamnar, hur stor sannolikheten är för att det urspårade tåget välter och hur lång tid det tar för tåget att stanna. Hastigheten hos ett tåg på intilliggande spår påverkar dessutom möjligheterna att bromsa i tid p.g.a. varierande bromssträckor efter att antingen ha fått larm via trafikledare eller visuellt ha uppfattat olyckan.

Tunnelbanan har en maxhastighet på 80 km/h. Utmed den aktuella sträckan bedöms hastigheten vara relativt låg eftersom alla tåg stannar på Liljeholmens tunnelbanestation. Både vid ankomst och avgång från tunnelbanestationen håller tågen låg hastighet, < 40 km/h, se även avsnitt 1.2.3.

### 3.1.1 Spridning givet urspårning

En urspårning vid låga hastigheter innebär sannolikt att konsekvenserna blir begränsade. Till att börja med är sannolikheten låg för att spridningen från spåret överstiger 1 meter. Enligt SL:s säkerhetsstrateg har ingen urspårning inträffat i tunnelbanan där tåget har lämnat spårområdet sedan tunnelbanetrafiken startades på 1950-talet [5].

För att komplettera olycksstatistiken för tunnelbanan så används statistik för järnväg. Enligt upprättad säkerhetsvärdering för Citybanan [15] som använt statistik ur olycksdatabasen BOR [16] för perioden 1985-1999 inträffade 93 urspårningar, varav 68 i låg hastighet och 25 i hög hastighet (> 40 km/h). Spridningen av urspårat tåg från spåret är följande enligt [15]:

- Spridning >1 m vid låga hastigheter: 4 stycken
- Spridning <1 m vid låga hastigheter: 64 stycken
- Spridning >1 m vid höga hastigheter: 8 stycken
- Spridning <1 m vid höga hastigheter: 17 stycken

Spridningen från spåret av urspårat tåg är då följande:

- Spridning > 1m vid låga hastigheter (<40 km/h) 4 olyckor av 68 olyckor = 0,059
- Spridning > 1 m vid höga hastigheter (>40 km/h) är 8 olyckor av 25 olyckor = 0,320

Den beräknade sannolikheten för spridning > 1 m vid höga hastigheter är ett genomsnitt där sannolikheten för spridning > 1 m troligtvis ökar relativt kraftigt med ökad hastigheten. Spannet på hastigheter för urspårningsolyckor i hög hastighet är omfattande, upp till åtminstone 200-250 km/h.

Enligt avsnitt 3.1 förväntas hastigheten utmed den aktuella sträckan vara relativt låg eftersom alla tåg stannar på Liljeholmens tunnelbanestation. Hastigheten bedöms vara ca 40 km/h utmed en större del av den aktuella sträckan. En urspårning kan dock inträffa i tunneln före överdäckningen där hastigheten är högre. Hade det varit en järnvägssträcka som studerades så hade sannolikheten för spridning > 1 m därför kunnat vara något högre än 6 %.

Med hänsyn till ovanstående uppgifter från Trafikförvaltningen om inträffade urspårningar och spridning i tunnelbanan så kommer beräkningarna dock utgå från att sannolikheten för spridning > 1 m är högst 6 %.

### 3.1.2 Vagn välter

Sannolikheten för att vagn välter är beroende av tågets hastighet. Sannolikheten att vagn välter ökar med hastigheten.

Spridning <1 m

Urspårning med spridning <1 m bedöms inte medföra att vagnar välter.

### Spridning >1 m

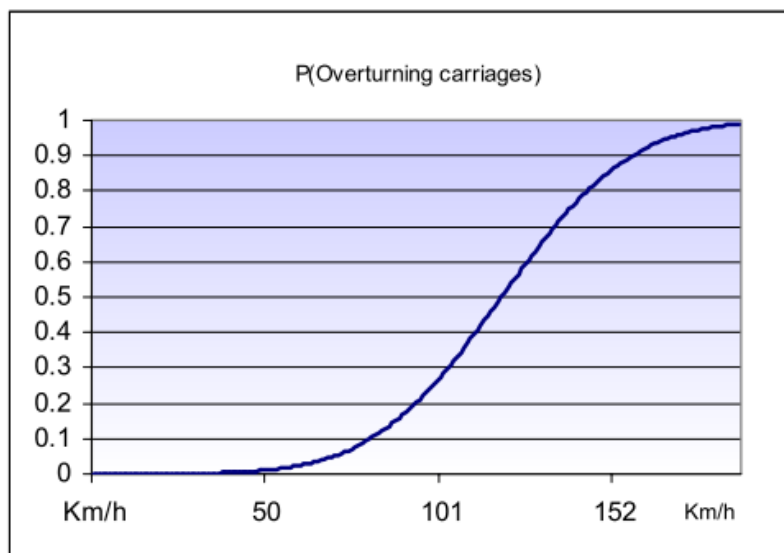
Sannolikheten för att en vagn ska välta efter urspårning är till stor del beroende av tågets hastighet vid urspårningstillfället. I en doktorsavhandling från KTH som bl.a. använts som underlag för ett flertal säkerhetsanalyser för järnvägstunnlar analyseras sannolikheten för att urspårad vagn ska välta baserat på olycksstatistik [17]. Tabell 6 redovisar statistik över urspårningar med tåghastigheter över 60 km/h hämtad ur denna avhandling.

Tabell 6. Statistik över tågvaltning av fordon [17].

Hastighet [km/h]	60	70	80	90	100	110	120	130
Välter	1	2	1	3	1	1	2	3
Välter ej	2	4	5	5	2	2	1	1
Totalt	3	6	6	8	3	3	3	4

Utifrån statistiken som redovisas i tabell 5 beräknas att vid hastigheter > 100 km/h så är sannolikheten för att tåg välter då de spårat ur > 1 meter 60 % (6 av 10 urspårningar) medan vid hastigheter 60-100 km/h är sannolikheten för att tåg välter då de spårat ur > 1 meter ca 31 % (8 av 26 urspårningar).

Utifrån ovanstående olycksstatistik redovisas i [17] figur 2 som visar sannolikheten för att vagnar ska välta som funktion av tågets hastighet vid urspårningstillfället. Utifrån figur 2 konstateras att vid hastigheter < 50 km/h är sannolikheten i stort sett noll för att en urspårad vagn ska välta (exklusive urspårning vid rangering och växlingar). Sannolikheten stiger sedan successivt efter 50 km/h. Vid 200 km/h är sannolikheten i stort sett 100 % att en urspårad vagn ska välta.



Figur 2. Sannolikheten för att vagnar ska välta som en funktion av tågets hastighet vid urspårningen [17].

Vad som bör beaktas är att enligt regressionsanalyser av statistiken över inträffade urspårningar där vagnar välts förklarar urspårningshastigheten drygt 60 % av variationen. Det finns med andra ord fler faktorer utöver hastigheten som påverkar sannolikheten för att vagnar ska välta i samband med en urspårning. Lokala faktorer som t.ex. en hög banvall eller nivåskillnader bör troligtvis ha en relativt stor effekt på sannolikheten för att vagnar ska välta i samband med en urspårning.

Med hänsyn till gällande förutsättningar utmed den studerade sträckan görs antagandet att sannolikheten för att vagn i trafik välter vid en urspårning till stor del är beroende av hastigheten.

Tunnelbanan har en maxhastighet på 80 km/h. Utifrån figur 2 uppskattas sannolikheten för att tåg välter då de spårat ur > 1 meter vid hastigheter högst 80 km/h till: 10,0 %.

Utifrån ovanstående redogörelse antas sannolikheten att vagn ska välta vid låga hastigheter ( $\leq 40$  km/h) vara mycket låg. Enligt [17] finns det ingen statistik över att vagn i linje/vid station välter vid urspårning vid hastigheter < 60 km/h, och slutsatsen som då dras är att sannolikheten är nära 0. I denna handling görs ett något mer konservativt antagande. På aktuell sträcka antas att sannolikheten för att vagn välter vid urspårning med spridning > 1 meter är högst 50 % av sannolikheten för att vagn välter vid maximal hastighet (80 km/h), d.v.s.  $10,0 \% \times 0,50 = 5,00 \%$ .

### 3.1.3 Kollision med tunnelvägg/pelare

Normalt bedöms urspårning med spridning < 1 meter inte medföra risk för kollision med tunnelvägg eller tunnelkonstruktioner eftersom avståndet mellan spår och konstruktioner generellt är större än 1 meter. Utmed aktuell sträcka är dock avståndet mellan spår och befintliga pelare/tunnelväggar delvis < 1 meter. Med hänsyn till detta så antas även spridning < 1 m kunna innebära risk för kollision med tunnelvägg/pelare. Sannolikheten för kollision kommer konservativt att uppskattas oberoende av spridningen givet urspårning.

I de fall urspårningen sker mot motsatt spår är risken för att tåget kolliderar med bergväggen nästan noll medan åt andra hållet mot närmaste bergvägg så är sannolikheten stor, nästan 100 % förutsatt att tåget inte välter.

Spårområdets bredd innebär att det endast är urspårning på de två yttre spåren (spår 1 och spår 6) som bedöms kunna leda till kollision med tunnelvägg. Utmed den södra delen av överdäckningen medför dock nivåskillnaderna inom spårområdet att en urspårning på spår 1 och spår 2 kan leda till kollision med konstruktion oavsett åt vilket håll som urspårningen sker. Dessutom kan även urspårning på spår 5 leda till kollision med konstruktion. För tunnelbanetåg i trafik görs ett konservativt antagande att risken för kollision med tunnelvägg föreligger för 100 % av aktuella urspårningar.

Det antas konservativt att kollision med tunnelvägg förväntas ske i 50 % av fallen om inte vagnen välter.

Om vagnen välter så förväntas kollision med tunnelvägg ske i 90 % av fallen.

### 3.1.4 Kollision med annat tåg

Urspårning med spridning < 1 m bedöms inte medföra risk för kollision med annat tåg. Kollision med annat tåg är endast möjlig vid spridning > 1 m.

Sannolikhet att det urspårade tåget blockerar intilliggande spår

Om det urspårade tåget avviker mot intilliggande spår så antas tåget lägga sig på det intilliggande spåret i 90 % av fallen.

Om kollision inte har inträffat med tunnelvägg så innebär det att tåget i nästan samtliga fall har avvikit mot intilliggande spår istället för mot närmast tunnelvägg. Det ger att sannolikheten för att tåget lägger sig på intilliggande spår om kollision inte skett med tunnelvägg är:

$$1,0 \times 0,9 = 0,9$$

Om urspårade tåget kolliderar med närmaste tunnelvägg så antas sannolikheten för att det studsar tillbaka vara 50 %. Det ger att sannolikheten för att tåget lägger sig på intilliggande spår är följande om kollision sker med tunnelvägg:

$$1,0 \times 0,9 \times 0,5 + 0 \times 0,9 \times 0,5 = 0,45$$

Om vagnen avviker mot intilliggande spår och välter bedöms sannolikheten att tåget lägger sig på intilliggande spår till 0,99.

Om kollision med tunnelvägg sker och vagnen välter bedöms sannolikheten för att tåget lägger sig på intilliggande spår vara 0,95.

Sannolikhet för att tåg inte hinner stanna

Trafiken på aktuell sträcka i tunnelbanan går under dagtid med 10 minuters mellanrum på respektive linje och riktning. Under rusningstrafik måndag-fredag ca 06-09 och 15-19 går tågen med ca 5 minuters mellanrum.

Spårområdet utmed den studerade sträckan är relativt brett och både i södergående och norrgående riktning så är trafikriktningen densamma på trafikspåren som är närmast belägna varandra.

Avståndet mellan södergående och norrgående spår är så stort att det inte finns någon risk att ett urspårat tåg blockerar spår för motgående trafik.

Det är osäkert hur lång tid det tar för trafikledningen att stoppa trafiken vid händelse av en olycka. Det antas grovt att det tar ca 4 minuter att stoppa trafiken efter att olyckan inträffar. Tiden inkluderar tiden för lokföraren att stoppa olyckståget, upprätta kommunikation mellan olyckståget, ledningscentral och andra tåg samt tiden det tar för andra tåg att bromsa in innan de når den aktuella sträckan (vid en inbromsning från max 80 km/h med en antagen retardation på minst  $1 \text{ m/s}^2$ ).

För att sedan beräkna sannolikheten för att ett tåg på intilliggande spår inte hinner stoppas och kör på olyckståget vid en urspåringsolycka används en poissonfördelning med intensiteten  $\lambda = (1/5)$ , där 5 minuter är tåg per minut i en riktning och tiden  $t = 4$  minuter är tiden för inkommande tåg att stanna innan den aktuella sträckan.

$$P = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-(1/5 \cdot 4)} = 0,55$$

Med 5 minuter per tåg så blir sannolikheten för ett tåg på intilliggande spår inom 4 minuter 0,55.

I de fall som tåg på intilliggande spår anländer inom 4 minuter och trafikledningen inte har hunnit kontakta tågföraren så finns det ändå mycket goda chanser att bakomliggande tåg kan stanna innan kollision. Tunnelbanan är utrustad med ett hyttsignalsystem som begränsar tågets hastighet beroende av bl.a. avstånd till framförliggande tåg eller andra hinder på spåret. Systemet innebär att sannolikheten är mycket låg för att bakomliggande tåg skulle köra in i ett urspårat tåg. Utifrån detta antas att sannolikheten att tåg på intilliggande spår hinner stanna även om den anländer inom 4 minuter reduceras med minst 90 %.

Detta ger sannolikheten kollision med annat tåg som blockerar spåret till följande:

$$0,55 \times (1 - 0,90) = 0,055$$

### 3.1.5 Resandemängd

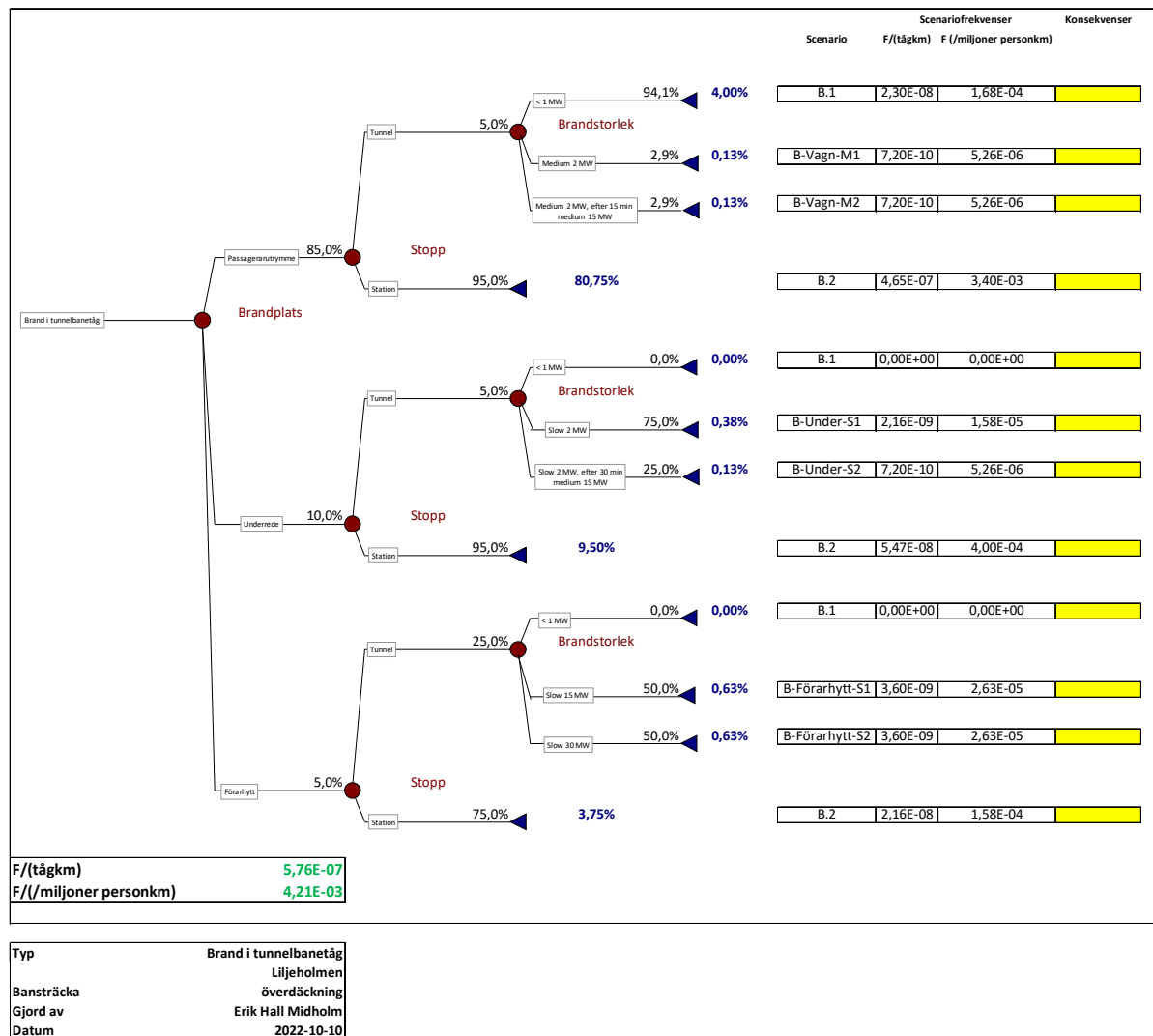
Sannolikhetsfördelningen mellan studerade resandemängder vid urspårning följer förutsättningarna som redovisas i avsnitt 2.3.

### 3.1.6 Konsekvensberäkningar urspårning

Skademodell för urspårning redovisas i avsnitt 1.2.3. Konsekvenserna är beroende av personantal i det utsatta tåget för aktuella resandemängder, se avsnitt 2.3. Vid kollision med annat tåg beaktas också personer i det andra tåget.

### 3.2 Händelsträd – Brand i tunnelbanetåg

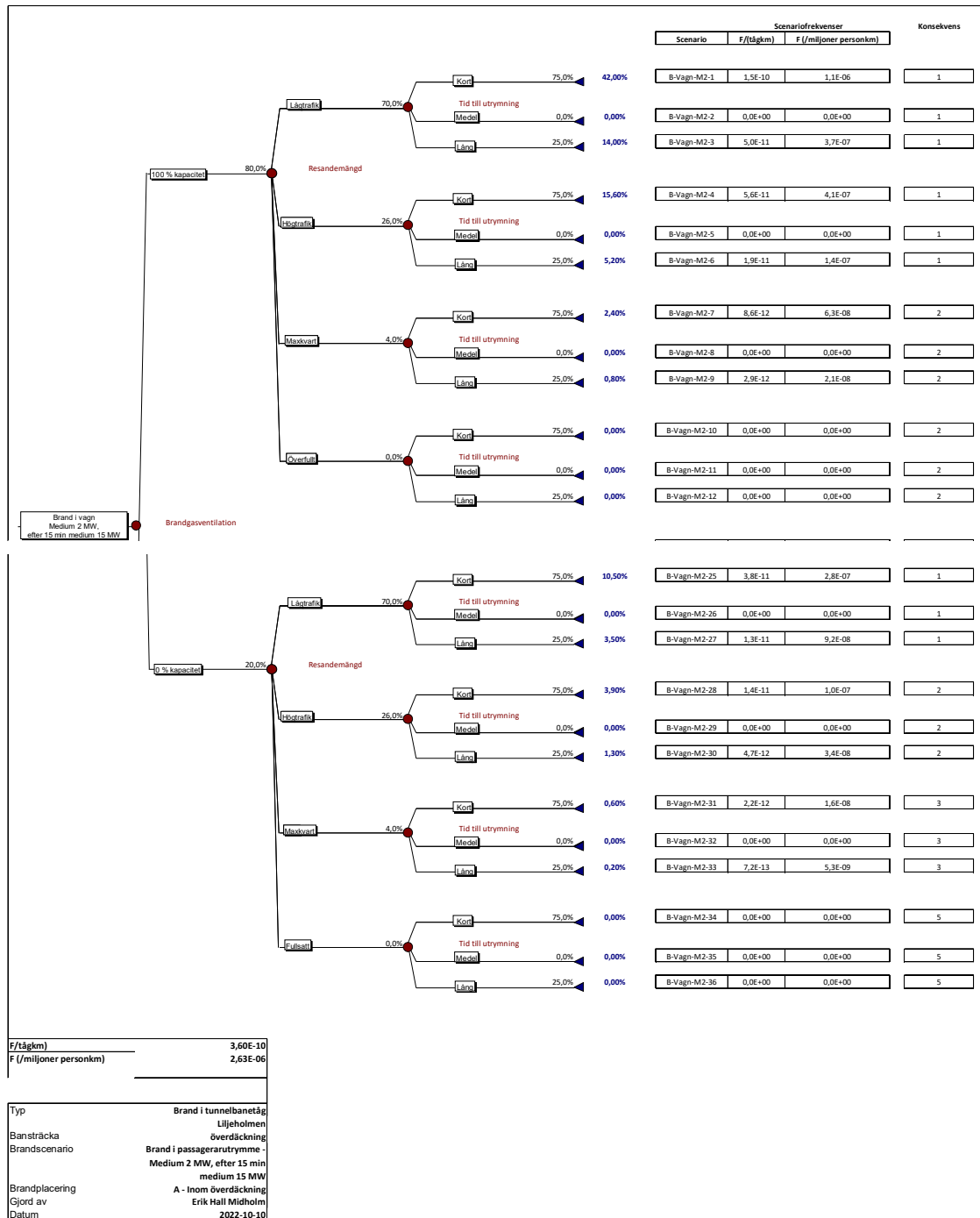
Figur 3 redovisar händelsetråd för olyckshändelsen brand i tunnelbanetåg på den studerade sträckan. Olyckskvoten för brand i tunnelbanetåg har beräknats till  $5,76 \times 10^{-7}$  olyckor per tågkm (motsvarande  $4,21 \times 10^{-3}$  per miljoner personkm, se avsnitt 2.2).



Figur 3. Händelsetråd brand i tunnelbanetåg vid överdäckning Liljeholmen.

För brand i tåg med stopp i överdäckningen har händelsetrådsanalys utförts för kombinationer av brandeffekt som presenteras i topphändelsetråden för brand i tunnelbanetåg enligt figur 3. Figur 4 visar exempel på delhändelsetråd för händelseförloppet med stopp inom överdäckningen för brand i vagn med Medium brandtillväxt till 2 MW. Motsvarande delhändelsetråd har upprättats för respektive brandscenario.





Figur 4. Händelseträd för brand i tunnelbanetåg med stopp inom överdäckning (tågplacering A) – Brand i vagn, Medium till 2 MW sedan konstant fram till 15 min efter brandstart och därefter fortsatt medium till 15 MW. (Exempelträd)

Förklaringar till grensannolikheter för brandens placering i tåget, tågets stopplats och brandstorlek m.m. förklaras i kapitel 3.2.1-3.2.4.

### 3.2.1 Brandplacering

Utifrån uppgifter som redovisas i tabell 5 i avsnitt 2.2.2 förväntas följande fördelning mellan olika brandplaceringar vid brand i tunnelbanetåg:

- Passagerarutrymme: 85 %
- Underrede: 10 %
- Förarhytt: 5 %

### 3.2.2 Sannolikheten för att stopp sker i tunneln

Grundrutinen vid branddetektion i en tunnel är att föraren kör tåget till närmaste station eller ut ur tunneln för att underlätta utrymningen. Närheten till Liljeholmens tunnelbanestation medför en hög sannolikhet för att tåget stannar vid stationen för norrgående tåg. Avståndet från den aktuella sträckan till Aspuddens respektive Midsommarkrans tunnelbanestation understiger 1,5 km, vilket bedöms ge en relativt hög sannolikhet för att tåget kör vidare även för södergående tåg.

Stopp i tunneln kan främst ske på grund av följande faktorer:

- Stopp vid signalpunktstavor
- Fallerad nödbromsblockering eller tekniska fel och mänskligt felhandlande (stopp utan stoppsignal)
- Brand i bemannad förarhytt där föraren bedömer att den inte kan stanna kvar och köra tåget ut ur tunneln

Tätare signaler i tunneln innebär att tågen kan köras med tätare tidtabeller, vilket vid fel eller störningar kan leda till att fordon mera frekvent måste stanna vid någon stoppsignal. Tät trafik och mängden stoppsignaler bedöms även medföra stopp vid störningar i trafiken. Stopp vid en stoppsignal bedöms vara den mest sannolika orsaken till att ett brinnande tåg skulle bli tvunget att stanna i den aktuella tunneln.

Den täta turtätheten på den aktuella sträckan, samt närheten till Liljeholmens tunnelbanestation bedöms innebära en relativt stor sannolikhet för kö eller annan orsak till stopp i tunneln.

Vid brand i passagerarutrymme så bedöms sannolikheten för att föraren kör vidare till station vara mycket hög. Med hänsyn till den långsamma brandtillväxten vid en brand i tågets underrede så bedöms sannolikheten även här vara hög att tåget har fortsatt drivkraft för att köra vidare till station. Det uppskattas att vid högst 5 % av fallen i passagerarutrymme respektive i underrede så uppskattas det att tåget tvingas stanna i tunneln.

Vid brand i en bemannad förarhytt uppskattas sannolikheten vara relativt hög för att föraren tvingas stanna i tunneln med hänsyn till sin egen säkerhet som gör att hen inte kan fortsätta till stationen, uppskattningsvis 85 %. De aktuella tågmodellerna har sex (C20) respektive fyra (C30) förarhytter. För scenariot brand i förarhytt så är sannolikheten därför ca 17-25 % (1/6 respektive 1/4) att branden inträffar i den bemannade förarhytten. Vid brand i obemannade förarhytter uppskattas sannolikheten för att tåget tvingas stanna i tunneln motsvara förutsättningarna för passagerarutrymme respektive i underrede. Sannolikheten för stopp i tunnel vid brand i bemannad förarhytt antas därför till:

$$0,25 \times 85 \% + (1-0,25) \times 5 \% = 0,25$$

Genomförda brand- och utrymningssimuleringar beaktar två tågplaceringar, dels där tågplacering där huvuddelen av det brinnande tåget står inom överdäckningen (A) och dels där tågplacering där huvuddelen av det brinnande tåget står inne i befintlig spårtunnel (B). Tågets placering förväntas påverka konsekvenserna av respektive brandscenario med hänsyn till att det påverkar avstånd till utrymningsvägar. Det antas grovt att givet stopp i tunnel så är sannolikheten för respektive tågplacering jämnt fördelad, d.v.s. 50 – 50.

### 3.2.3 Brandstorlek

Utifrån uppgifter som redovisas i tabell 5 i avsnitt 2.2.2 förväntas följande fördelning mellan olika brandstorlekar för respektive brandplacering:

Tabell 7. Fördelning mellan brandeffektkurvor för respektive brandplacering.  
Observera att värdena i tabellen gäller givet ett stopp. För underrede så utgår fördelningen mellan olika brandeffektkurvor från en konservativ kategorisering.

Brandeffektkurva	Passagerarutrymme	Underrede	Förarhytt
<1MW	94,1%	-	-
Slow 2 MW	-	75 %	-
Slow 2 MW, efter 30 min medium till 15 MW	-	25 %	-
Medium 2 MW	2,9 %	-	-
Slow 15 MW	-	-	50 %
Slow 20 MW	-	-	50 %
Medium 2 MW, efter 15 min medium till 15 MW	2,9 %	-	-

### 3.2.4 Brandgasventilation

Inom överdäckningen planeras mekanisk brandgasventilation så att brandgaser från brinnande tunnelbanetåg inte hindrar utrymning och försvårar räddningsinsats samt för att begränsa påverkan på närliggande station respektive befintliga bergtunnlar. Brandgasventilation ska installeras i anslutning till befintliga tunnelmynningar respektive i anslutning till plattformsrummet.

I detta skede är utformningen av brandgasventilationen inte bestämd vilket ger stora osäkerheter i tillförlitligheten. Generellt anges dock höga minimikrav för drift och krav på tillgänglighet för säkerhetssystem för tunnlar. De höga kraven bedöms innebära en relativt hög sannolikhet för att brandgasventilationen fungerar vid händelse av brand.

Sannolikheten för att brandgasventilationen fungerar kommer att delas upp på om systemet uppfyller sin funktion för att förhindra rökspredning till befintlig bergtunnel respektive Liljeholmens tunnelbanestation, fungerar helt eller inte alls. Det finns ett flertal faktorer som påverkar om systemet ska fungera helt, dels att branden detekteras, att ventilationssystemets alla delar fungerar samt tåget och brandens placering i förhållande till utsug och fläktar.

För att inte underskatta påverkan av reducerad, eller utebliven brandgasventilation med hänsyn till osäkerheter i utformning och rutiner för kapacitetskontroller m.m. görs följande antagande<sup>4</sup>:

- Fullt flöde: 80 %
- Inget flöde: 20 %

### 3.2.5 Resandemängd

Sannolikhetsfördelningen mellan studerade resandemängder vid brand i tunnelbanetåg följer förutsättningarna som redovisas i avsnitt 2.3.

### 3.2.6 Tid till påbörjad utrymning

Tid till påbörjad utrymning består av varseblivningstid (tid från att branden startar till att personer upptäcker branden) och förberedelsetid (tid för förberedande aktiviteter innan förflyttning mot utgång påbörjas. Tid till påbörjad utrymning varierar beroende på personers placering i förhållande till branden samt tillgången till utrymningslarm.

<sup>4</sup> Antagandet baseras på ett liknande system vid överdäckningen av Mariagårdstärpan i anslutning till Citybanans spårtunnel. Med hänsyn till osäkerheter kring utformningen av brandgasventilationen görs ett konservativt antagande avseende brandgasventilationens funktion vid händelse av brand.

## Underlag

I förstudien för nya tunnelbanan har det tagits fram underlag för lämpliga tider till påbörjad utrymning vid tågbrand i tunnel [18]. Resultatet baseras på de tekniska förutsättningarna och passagerarnas situation vid de dimensionerande bränderna.

Tid till påbörjad utrymning för den aktuella sträckan kommer att utgå från ovanstående utredning. Tid till påbörjad utrymning förväntas bero på brandens placering vilket i sin tur påverkar brandtillväxten (se avsnitt 3.2.1 och 3.2.3).

## Brand i passagerarutrymme (medium brandtillväxthastighet)

Då det inte finns möjlighet till självutrymning i C20 så baseras tiden till påbörjad utrymning på den fördjupade scenarioanalysen av brand inne i passagerarutrymmet. Vid jämförelser med liknande system så görs dock en anpassning till hur tiden till påbörjad utrymning har hanterats i Citybanan.

Den troligaste tiden till påbörjad utrymning av hela brandvagnen bör sättas till 3 minuter. Då effektutvecklingen under de inledande minuterna i praktiken ofta kan förväntas tillväxa långsammare än medium så bör även 5 minuter till påbörjad utrymning studeras. Övriga vagnar bedöms utrymma 1-2 minuter efter branddrabbad vagn. Se tabell.

Tabell 8. Tid till påbörjad utrymning för branddrabbad vagn / intilliggande vagn / vagn längre bort vid brand i passagerarutrymme.

Tid till påbörjad utrymning (kategori)	Andel	Tider		
		Brandvagn	Intilliggande vagn	Vagn längre bort
<b>Kort</b>	75 %	3 min	4 min	5 min
<b>Lång</b>	25 %	5 min	6 min	6 min

## Brand utanför passagerarutrymme (slow brandtillväxthastighet)

Tabell 9. Tid till påbörjad utrymning för branddrabbad vagn / intilliggande vagn / vagn längre bort vid brand utanför passagerarutrymme.

Tid till påbörjad utrymning (kategori)	Andel	Tider		
		Brandvagn	Intilliggande vagn	Vagn längre bort
<b>Kort</b>	60 %	5 min	6 min	7 min
<b>Medel</b>	29	7 min	8 min	9 min
<b>Lång</b>	11 %	10 min	11 min	12 min

## 3.2.7 Konsekvensberäkningar brand i tunnelbanetåg

Skademodell för brand i tunnelbanetåg redovisas i avsnitt 1.2.2. Konsekvenser av brand i tunnelbanetåg baseras på brand- och utrymningssimuleringar. Konsekvensen vid scenarier med brand i tunnelbanetåg bedöms utifrån en sammanvägning av brandgasfyllnadsberäkningar och utrymningsberäkningar. Hänsyn tas även till restrisk med hänsyn tagen till att självutrymning inte kan förväntas ske för alla utrymnande.

## 4. Referenser

- [1] Trafikanalys, "Bantrafikskador 2021 (Statistikrapport 2022:20)," 2022:20.
- [2] Brandskyddslaget AB, "Lilljeholmen Överdäckning - Brand- och utrymningsanalys, Programhandling, Granskningsversion 2, 2022-09-23," 2022.
- [3] T. Susic, "Bilaga 3 - Frekvensbedömning och konsekvensbedömning Typtunnlar, Ostlänken, Järna-Linköping," Trafikverket, 2017.
- [4] Trafikförvaltningen, *Information från Ian Hutchings, Samordning Externa Projekt på Trafikförvaltningen i Region Stockholm*, 2022-03-22, 2022-03-22.
- [5] Trafikförvaltningen, *Information från Hans Höwits, säkerhetsstrateg på Trafikförvaltningen i Region Stockholm*, 2019-09-06, 2019-09-06.
- [6] Trafikanalys, "Bantrafik 2021 (Statistikrapport 2022:24)," 2022:24.
- [7] Expressen, "Artikel 2020-06-25: Tunnelbanetåg har spårat ur – orsakat av solkurva," 2020.
- [8] Relcon, "Analys av olycksstatistik i HÄR 1994-1999, Brand, sammanstötning och urspårning, 2000-02-24," 2000.
- [9] Holmstedt-Jönsson, "Frekvensbedömning och konsekvensbedömning, Mälarbanan, Huvudsta-Duvbo, 9921-00-025\_R25, daterad 2018-06-07," 2018.
- [10] Transportstyrelsen, "Säkerhetsmål för trafikanter i vägtunnlar, spårtunnlar och tunnelbana," 2016.
- [11] Brandskyddslaget, "Dimensionerande brandeffektkurvor i Nackagrenen, version 2, 2014-03-05," 2014.
- [12] Trafikverket, *Prognos för persontrafiken 2040 – Trafikverkets basprognoser 2020-06-15*, 2020.
- [13] Förvaltning för Utbyggd Tunnelbanan, "1352-P11-24-00029, Utrymningsberäkningar normalsektion – sannolikhet för självutrymning, enkel- och dubbelspårstunnel, 2016-05-27," 2016.
- [14] Förvaltning för Utbyggd Tunnelbana, "1352-P11-47-00001, Anvisning för utrymningsberäkningar I spårtunnel, 2016-05-24," 2016.
- [15] ÅF, "Citybanan i Stockholm säkerhetsvärdering tunnlar, Rapport T0-0203-0303-01 (0237-0206-039)," 2006.
- [16] Bäckmans\_verkstäder, "BOR," 2002.

- [17] J. Bäckman, *Railway safety – Risks and Economics*, Johan Bäckman, Department of Infrastructure and planning, Kungliga Tekniska Högskolan, 2002.
- [18] Brandskyddslaget, "Andel fall med möjlig självutrymning - Tid till påbörjad utrymning i spårtunnlar, 2015-05-28," 2015.