

RISKBEDÖMNING

BASSTANDARDTUNNEL 400 M

2023-12-22



Riskbedömning

Basstandardtunnel 400 m

KUND

Transportstyrelsen

KONSULT

WSP Sverige AB

121 88 Stockholm-Globen

Besök: Arenavägen 7

Tel: +46 10-722 50 00

WSP Sverige AB

Org nr: 556057-4880

wsp.com

KONTAKTPERSONER

Göran Nygren, WSP, goran.nygren@wsp.com

DOKUMENTHISTORIK OCH KVALITETSKONTROLL

Utgåva/revidering	Utgåva 1	Revision 1	Revision 2	Revision 3
Anmärkning	-			
Datum	2023-12-22	[Datum]	[Datum]	[Datum]
Handläggare	Göran Nygren,			
Signatur	GN			
Granskare	Henrik Selin	[Granskad av]	[Granskad av]	[Granskad av]
Signatur	HS			
Godkänd av	Göran Nygren	[Godkänd av]	[Godkänd av]	[Godkänd av]
Signatur	GN			
Uppdragsnummer	10357291			

Sammanfattning

I föreliggande kvantitativa riskbedömning studeras olyckshändelser med bränder i fordon som inträffar under driftskedet för en fiktiv vägtunnel, i denna rapport kallad Bastunnel 400.

WSP har av Transportstyrelsen fått i uppdrag att utvärdera vilken säkerhetsnivå en 400 m lång bastunnel får med de förutsättningar och de framtagna säkerhetskrav som finns i rapporten; Riskanalysmetod & Basstandard, underlag till revidering av föreskrift 2019:93. [1]

Rapporten omfattar följande varianter på en vägtunnel som är 400 m, 3 % lutning i längdled; uppför och nedförslutning, samt utan lutning. Analysen omfattar också en känslighetsanalys med avseende på förekomsten av fordon drivna av gas, CNG alternativt vätgas. Förekomsten av gasfordon ger ett betydande riskbidrag i tunneln på grund av de olycksscenarioer som kan uppstå i samband med skada eller brandpåverkan på ett fordon's gastank (gasmolns-explosion och jetflamma). I dagsläget är antalet gasfordon dock mycket få och vid en eventuell framtida ökning av gasfordon bedöms det nödvändigt att reglera eventuella säkerhetsåtgärder kopplade till dessa på nationell nivå.

Resultatet av analysen visar att lutningen i tunneln har stor inverkan på spridning av brandgaser, vilket var ett förväntat resultat. Beräkningarna visar på stora skillnader mellan antal omkomna för nedförslutning -3% och uppförslutning +3%. Som en jämförelse visar också beräkningarna att då tunnel inte lutar blir skillnaderna också stora i jämförelse med nedförslutning -3%.

De brandförlopp som sker i vägtunnel med uppförslutning genererar inga konsekvenser för personer som står i kön bakom/uppstoms olyckan.

Resultatet från riskbedömningen visar tydligt att riskbidraget kommer från att trafikanter som anländer till olycksplatsen dvs uppströms olyckan i trafikriktningen påverkas av brandgaser. Eftersom tunneln har ett relativt högt trafikflöde kommer kö uppstå i denna del och därmed påverkas trafikanterna av konsekvenserna av en brand, dvs brandgaser.

Resultatet av beräkningarna för en vägtunnel med nedförslutning -3% visar att risknivån i tunnelsystemet ligger över acceptansnivån vilket innebär att utformningen inte kan accepteras. Analysen visar att bastunnel utan mekanisk ventilation och lutning om -3 % leder till att den kö som byggs upp bakom en olycksplats kommer drabbas av brandens konsekvenser varpå oacceptabelt många personer omkommer.

En systematisk bedömning av vägtunnelsystemets samtliga aspekter enligt föreskrift om säkerhet i vägtunnlar, TSFS 2019:93, visar att Bastunneln 400 har en hög risknivå och därmed bör nedförslutning i kombination med att ingen mekanisk ventilation finns i vägtunneln anses vara en speciell utformning, dvs tunneln behöver analyseras utifrån en helhetsbedömning vilket innebär att en riskbedömning behöver genomföras i enlighet med föreskriften, TSFS2019:93.

Sammantaget bedöms analyserat säkerhetskoncept med ingående riskreducerande system, för vägtunnlar med 3% uppförslutning eller ingen lutning, enligt denna rapport ge en säkerhetsnivå som uppfyller kraven i gällande lagstiftning och slutsatsen täcker även in en längre vägtunnel 401-500 m med ÅDT 11 250.

Innehåll

1	INLEDNING	5
1.1	BAKGRUND.....	5
1.2	SYFTE	5
1.3	MÅL.....	5
1.4	OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR.....	6
1.5	UNDERLAGSMATERIAL.....	7
1.6	KVALITETSSÄKRING.....	7
2	METOD.....	8
2.1	METODBESKRIVNING.....	8
2.2	BEGREPP OCH DEFINITIONER.....	9
3	LAGSTIFTNING OCH STYRANDE DOKUMENT	11
3.1	FÖRFATTNINGAR.....	11
3.2	STYRANDE DOKUMENT	11
3.3	BESKRIVNING AV LAGAR OCH STYRANDE DOKUMENT.....	11
4	OBJEKTSBESKRIVNING OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ANALYSEN	13
4.1	TRAFIKPROGNOS FÖR TUNNELN.....	13
4.2	GRUNDLÄGGANDE FÖRUTSÄTTNINGAR.....	13
4.3	FÖRUTSÄTTNINGAR KRAVSTÄLLNING	14
4.4	OBJEKTSBESKRIVNING	17
4.5	TRAFIKSAMMANSÄTTNING - TRAFIKPROGNOS	19
5	BESKRIVNING AV OLYCKSSCENARIER	21
5.1	BRÄNDER I FORDON	21
5.2	TRAFIKOLYCKOR.....	22
5.3	FARLIGT GODS-OLYCKA.....	22
5.4	OLYCKA MED GASDRIVNA FORDON	22
5.5	FORDON I TUNNELN.....	23
6	BESKRIVNING AV HÄNDELSETRÄDET	24
7	SANNOLIKHETS- OCH FREKVENSBERÄKNINGAR.....	26
7.1	FREKVENSBERÄKNING FÖR BRAND I TUNNEL	26
7.2	BRANDENS STORLEK	27
7.3	TRAFIKSITUATION VID OLYCKSTILLFÄLLET.....	28
7.4	DETEKTIONSSYSTEM FUNGERAR SOM PLANERAT	28
7.5	VÄGTRAFIKCENTRALEN AGERAR OPTIMALT	28
7.6	OLYCKSPÅS I TUNNELN – ANTAL TRAFIKANTER.....	29
8	KONSEKVENSBERÄKNINGAR	31
9	RESULTAT	33

10 KÄNSLIGHETSANALYSER.....	35
10.1 GASDRIVNA FORDON	35
10.2 ANALYS AV INDATA	39
11 DISKUSSION.....	41
11.1 RISKBEDÖMNINGENS BERÄTTIGANDE	41
11.2 OSÄKERHETER I KVANTITATIV RISKANALYS.....	41
11.3 VALD ANALYSMETOD.....	43
11.4 BASTUNNEL OCH VÅGTUNNELS LUTNING.....	44
11.5 BASTUNNELN OCH TRAFIKFLÖDET	44
11.6 BUSSENS PLACERING I SIMULERINGARNA	44
12 SLUTSATS	45
BILAGA A. REFERENSER	47
BILAGA B. GASDRIVNA FORDON	49
BILAGA C. KONSEKVENSANALYS.....	59
BILAGA D. HÄNDELSETRÄD.....	60

1 INLEDNING

WSP har av Transportstyrelsen fått i uppdrag att utvärdera vilken säkerhetsnivå en 400 m lång bastunnel får med de förutsättningar och de framtagna säkerhetskrav som finns i rapporten; Riskanalysmetod & Basstandard, underlag till revidering av föreskrift 2019:93. [1]

I detta inledande kapitel ges en bakgrund till varför denna riskbedömning har upprättats. Vidare beskrivs riskbedömningens syfte och mål, omfattning och avgränsningar, huvudsakligt underlagsmaterial som legat till grund för bedömningen, samt en beskrivning av handlingens kvalitetssäkring.

1.1 BAKGRUND

I Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd, TSFS 2019:93, om säkerhet i vägtunnlar finns det ett övergripande krav på att en samlad bedömning ska genomföras för att avgöra vilka säkerhetsåtgärder som ska vidtas vid dimensionering av säkerheten i en vägtunnel. Den samlade bedömningen ska resultera i en säkerhetsnivå som sedan ska jämföras med de kriterier, utgörs av ett F/N diagram, som presenteras i kap 3, § 3, i TSFS 2019:93. Detta innebär att den som genomför riskbedömningen för en tunnel behöver genomföra en semikvantitativ eller kvantitativ riskanalys. TSFS 2019:93 ställer även krav på att kvantitativ riskanalys ska genomföras för tunnlar som är över 500 m om de har en speciell utformning eller speciella förutsättning.

Transportstyrelsen avser att förenkla dimensioneringsprocessen för kortare tunnlar, dvs kortare än 500 m och där trafikintensiteten, ÅDT per tunnelrör, är lägre än 11 250 respektive 15 000 och kopplat mot tunnellängden mellan 401-500 m respektive 300-400 m. Trafikverket har i TRVINFRA-0233 krav på olika säkerhetssystem som är kopplade till både tunnellängd och trafikflöden. Utifrån tunnellängd och trafikflöden hamnar en tunnel i en viss tunnelklass, TA-TC tunnel.

Genom att följa en given kravställning och förutsättningar i föreskriften ska kortare vägtunnlar, mindre än 500 m, undantas från kravet på samlad bedömning. Detta givet att vägtunnel inte har en speciell utformning och/eller en speciell förutsättning.

I denna riskbedömning görs därmed en fullständig riskbedömning för att testa vilken säkerhetsnivå en 400 m lång bastunnel med ÅDT 15 000 får med givna förutsättningar. Givet en acceptabel säkerhetsnivå kan tunnlar därefter utformas med en basstandard.

Riskbedömning bedöms behöva utföras för vägtunnlar vars längd understiger 500 m om tunneln har en speciell utformning eller speciella förutsättningar.

Analysen genomförs med en bedömt lämplig detaljeringsgrad utifrån aktuell kravbild för driftskede för en fiktiv tunnel, Bastunnel 400.

1.2 SYFTE

Riskbedömningen syftar till att utvärdera vilken säkerhetsnivå en 400 m lång vägtunnel har med givna förutsättningar samt utgör underlag för beslut avseende om säkerhetskonceptet för en bastunnel är acceptabel utan att den behöver kompletteras med ytterligare krav på riskreducerande åtgärder. Analysen ska därmed bidra till riskinformerade beslut och val för att erhålla en risk- och säkerhetsnivå som uppfyller krav i enlighet med gällande lagstiftning.

1.3 MÅL

Målet med riskbedömning kan sammanfattas som att den ska redogöra för tunnelsystemets förväntade riskbild under driftskedet avseende de beaktade olycksscenarierna. Risknivån värderas mot gällande acceptanskriterier för vägtunnlar, se TSFS 2019:93. Scenariobeskrivningarna skall

omfatta riskuppskattning, d.v.s. uppskattning av frekvens och konsekvens, samt ta hänsyn till planerad utformning av tunnelsystemet och dess säkerhetskoncept. Målet är även att genomförd bedömning ska kunna utgöra ett underlag för beslut om att Bastunnelar under 500 m kan utföras med förenklad dimensionering dvs att krav och råd i föreskriften följs utan krav på riskbedömning, givet att vägtunnel inte har en speciell utformning och/eller en speciell förutsättning.

1.4 OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR

Riskbedömningen omfattar tekniska risker som karaktäriseras som plötsligt inträffade och oönskade händelser under driftskedet. Fokus har legat på att bedöma olyckornas omedelbara konsekvenser ur ett personsäkerhetsperspektiv, d.v.s. konsekvenser för trafikanter i tunneln. Följande konsekvenskategorier har ej beaktats i denna riskbedömning:

- Konsekvenser som kan klassificeras som skador på egendom eller kulturmiljö, d.v.s. skador på tunnlar och deras installationer, intilliggande byggnadsverk och undermarksanläggningar samt fordon.
- Konsekvenser på naturmiljö.
- Sekundära konsekvenser i form av exempelvis samhällskostnader till följd av avbrott i trafiken, återanskaffning och reparation etc.
- Konsekvenser för personer utanför anläggningen.
- Konsekvenser på grund av kö ingår inte i uppdraget eftersom det inte får förekomma köbildning i en bastunnel.
- Transporter av farligt gods får ej transporteras igenom den aktuella vägtunneln. Dock omfattar detta de märkningspliktiga transporterna av farligt gods, och mindre mängder kan likväl transporteras igenom tunneln. De mindre mängderna analyseras inte utifrån att de innehåller farligt gods.
- Utredning av eventuella effekter av långvarig exponering av hälsovådliga ämnen, buller eller liknande har heller inte beaktats.
- Ej heller risker såsom riktade våldsdåd och antagonistiska händelser eller risker på omledningsvägnät har analyserats.
- Riskbedömningen omfattar inte "vanliga" trafikolyckor, som leder till att personer omkommer av krockvåld. Enkom brand beaktas.
- I den händelsesträdsmodell som används beaktas inte brandspridning till fordon som inte är involverade i den ursprungliga olyckan. Detta är en förenkling, men förenklingen bedöms vara acceptabel mot bakgrund av analysens syfte och mål då det bedöms finnas goda möjligheter att utrymma tunneln innan brandspridning till fler fordon sker och detta således inte förväntas utgöra en tillkommande betydande risk för trafikanter. Brandspridning mellan fordon kan leda till att en redan stor brand blir ännu större. Denna brandtillväxt kan visserligen i praktiken vara skillnaden mellan liv och död för trafikanter som vistas nedströms olyckan, det vill säga i den riktning som brandgaser sprider sig. Detta till följd av att det aktuella konsekvensområdet blir större och förhållandena ännu sämre samt genom att brandsläckning försvåras. Brandspridning mellan fordon har dock bedömts huvudsakligen påverka de konsekvenskategorier som inte ingår i analysen. Detta till följd av att kritiska och dödliga

förhållanden för personer nedströms infaller redan innan brandspridning till fordon som inte involveras i den ursprungliga olyckan inträffar.

Bedömningen görs inte utifrån någon tidshorisont med avseende på trafikprognos utan görs mot de trafikflödet som maximalt får användas för en bastunnel med längden 400 m dvs ÅDT 15 000, se även kapitel 4 med avseende på förutsättningar i övrigt.

Denna version av riskbedömningen omfattar inte den utvärdering av kostnad-nyttoanalys som TSFS 2019:93 föreskriver i kapitel 3 och §3.

1.5 UNDERLAGSMATERIAL

Riskbedömningen baseras i huvudsak på nedanstående dokument och handlingar:

- Riskanalysmetod och basstandard, underlag till revidering av föreskrift 2019:19, daterade 2022-12-28, WSP. [1]
- Kriterier och gränsvärden vid utrymning av tunnlar, Delutredning 2, 2023-10-04, WSP [2]

1.6 KVALITETSSÄKRING

Denna riskbedömning är upprättad av Göran Nygren (Brandingenjör/ Civilingenjör riskhantering) som tillika har varit uppdragsansvarig. I enlighet med WSP:s miljö- och kvalitetsledningssystem, certifierat enligt ISO 9001 och ISO 14001, omfattas denna handling av krav på internkontroll. Detta innebär bland annat att en från projektet fristående person granskar förutsättningar och resultat i rapporten. Ansvarig för denna granskning har varit Henrik Selin (Civilingenjör riskhantering).

2 METOD

I detta avsnitt redovisas den metod som har använts för denna riskbedömning.

2.1 METODBESKRIVNING

Riskbedömningen baseras på litteraturstudier, erfarenhetsmässiga bedömningar, statistik, beräkningar och händelseträdsmetodik. Analysen är således såväl kvalitativ som kvantitativ till sin natur.

Händelseträdsmetodiken är ett verktyg för att på ett systematiskt sätt ta fram och illustrera en olyckas möjliga förlopp beroende på vilka skyddsbarriärer som finns och hur de fungerar. Dessa barriärer kan bestå av såväl tekniska som administrativa åtgärder. Manuell brandbekämpning, stoppa trafik, tillgång till utrymningsvägar och nödbelysning utgör exempel på skyddsbarriärer. Händelseträd kan sägas vara en illustration över möjliga olycksscenarioer som kan uppkomma till följd av en inledande händelse, exempelvis brand i fordon till följd av tekniskt fel i fordonet eller en trafikolycka. För mer detaljerade beskrivningar av händelseträd som analysmetod och för presentation av risknivå hänvisas till publikationer av bland annat LTH Brandteknik [3] och Boverket [4].

Följande övergripande moment har utförts inom denna riskbedömning:

- Litteraturstudie, inläsning och kunskapsinhämtning. Dessa moment har utförts löpande genom projekteringen. Huvudsakligt underlag utgörs av de förutsättningar som stämts av med beställaren, Transportstyrelsen, och förutsättningar från rapporten Riskanalysmetod och basstandard, underlag till revidering av föreskrift 2019:19. [1]
- Kvalitativ analys av objektet och dess förutsättningar.
- Identifiering och val av inledande händelser samt relevanta och representativa olycksscenarioer.
- Konstruktion av händelseträd.
- Kvantitativ uppskattning av frekvensen för de olika inledande händelserna samt sannolikhetsfördelningar i trädets. Uppskattning av frekvensen för de inledande händelserna och sannolikhetsfördelningarna har utförts på olika sätt beroende på hur tillgängligt underlag har sett ut samt dess tillämpbarhet för det aktuella objektet. För flera av skattningarna har relevant underlag saknats, vilket betyder att dessa skattningar är förknippade med osäkerheter..
- Uppskattning av konsekvenserna av de olika olycksscenarioerna. Underlagsmaterial för bedömning av de förväntade konsekvenserna vid brand inhämtas huvudsakligen från de kvantitativa studier av brand- och utrymningsförlopp (simuleringar och beräkningar) som har genomförts inom ramen för uppdraget. Den slutliga skattningen av förväntat antal omkomna för respektive scenario har genomförts i form av erfarenhetsmässiga bedömningar baserade på tillgänglig information.
- Resultatsammanställning.
- Känslighets- och osäkerhetsanalys.

Händelseträdsmetodik innefattar en delmängd av alla möjliga scenarier som kan uppkomma. Detta är nödvändigt för att kunna begränsa mängden av scenarier till en hanterbar mängd. Många mindre scenarier kan därmed sägas vara sammanställda i de utvalda scenarierna men att den verkliga spridningen av scenarier är mycket större. De har i bedömningen eftersträvat att använda

medelvärden för dessa scenarier i bedömningarna så långt som möjligt, i vissa fall ger medelvärden dock en snedvridning av risknivå varpå fördelningar har varit nödvändiga att introducera, t ex är medelbeläggningen på trafikanter i bussar över ett dygn relativt låg, under rusningstrafik kan t ex ena riktningen på en linje gå med nästan tomma bussar och andra riktningen med överfulla bussar.

2.2 BEGREPP OCH DEFINITIONER

I samband med riskhantering används i allmänhet en rad olika begrepp och definitioner som får betraktas som facktermer, samtidigt som de inte är entydigt definierade. Dessa förhållanden kräver att en genomgång görs av viktiga begrepp och definitioner.

Säkerhetskoncept

Ett *säkerhetskoncept* består av de tekniska och administrativa åtgärder som avser reducera frekvensen för olyckor och/eller minska deras konsekvenser till en för objektet godtagbar nivå. Vad som utgör en godtagbar nivå, eller med andra ord i säkerhetssammanhang, vad som utgör en acceptabel risknivå, definieras i allmänhet av den rådande säkerhetsambitionen. Att uppfylla kraven i svensk lagstiftning utgör en vanlig och fullt acceptabel säkerhetsambition. En sådan ambition innebär att ett minimum av säkerhetsåtgärder och installationer införs och följaktligen till en risknivå som är i linje med acceptabel risknivå. Ett säkerhetskoncept skall medföra en acceptabel risknivå med avseende på personskada, egendomsskada (kulturmiljö) och miljöska (naturmiljö). Därutöver, vilket för en vägtunnel torde vara centralt, skall även följdkostnader för samhället, exempelvis kostnader för trafikavbrott och återanskaffning, beaktas.

Årsmedelsdygnstrafik (ÅDT)

Utgör det genomsnittliga antalet fordon per dygn förbi en given plats.

Risk

Med *risk* avses kombinationen av frekvensen för en händelse och dess konsekvenser. Vid kvantifiering används sambandet: $Risk = Frekvens \times Konsekvens$

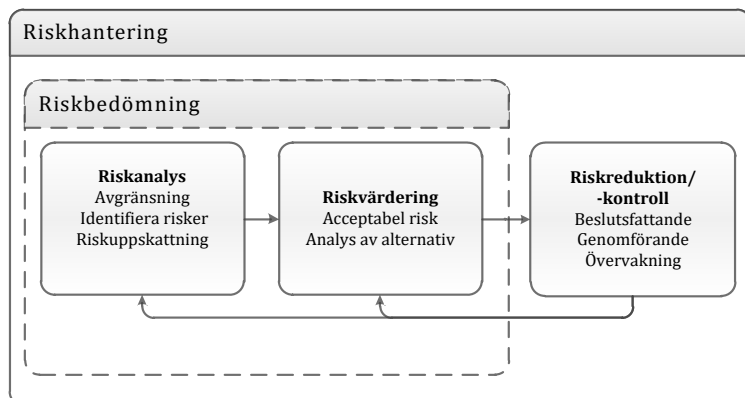
Risk utgör enligt denna definition ett mått på den absoluta (faktiska eller objektiva) risken.

Sannolikhet och frekvens

Begreppen *sannolikhet* och *frekvens* används ofta synonymt trots att det finns en skillnad mellan dem. Frekvensen uttrycker hur *ofta* något inträffar under en viss tidsperiod till exempel antalet bränder per år och kan därigenom anta värden som är både större och mindre än 1,0. Sannolikheten anger i stället hur *troligt* det är att en viss händelse kommer att inträffa och anges som ett värde mellan noll och ett. Kopplingen mellan frekvens och sannolikhet utgörs av att den senare kan beräknas om den första är känd.

Risikanalys och riskbedömning

De begrepp som används i denna rapport utgår från den s.k. riskhanteringsprocessen [5] [6], se Figur 1. Begreppen risikanalys och riskbedömning med flera används dock ofta synonymt, även i lagstiftningar och andra styrande dokument. I praktiken är detta oftast inget större problem, det gäller dock att vara vaksam på vad en rapport eller specifik analys innehåller.



Figur 1. Riskhanteringsprocessen.

F/N kurva

F/N kurva utgör en funktionsgraf där frekvensen för en olycka kan avläsas mot de antalet personer som drabbas av en olycka. Frekvensen beräknas kumulativt för olycka olycksscenarier. Kurvan redovisas logaritmiskt.

3 LAGSTIFTNING OCH STYRANDE DOKUMENT

Vägtunnelprojekt omfattas av flera lagstiftningar och styrande dokument. I detta avsnitt redovisas gällande lagstiftning och styrande dokument med huvudfokus på risk- och säkerhetsaspekter.

3.1 FÖRFATTNINGAR

Varje vägtunnel har en rad olika lagar som måste beaktas och följas. Nedan listas de lagar som har ansetts som mest centrala för det aktuella projektet ur ett risk- och säkerhetsperspektiv:

- Miljöbalk (1998:808)
- Lag (2006:263) om transport av farligt gods
- Lag (2006:418) om säkerhet i vägtunnlar
- Plan- och bygglag (2010:900)
- TSFS 2019:93 – Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar m.m med ändring 2022:13

3.2 STYRANDE DOKUMENT

Utöver nationella lagar så finns det även andra styrande dokument som påverkar hur tunnlar och överdäckningar utformas och utrustas. Dessa behöver i många fall också beaktas, förutom att Trafikverket följer sina krav används den ofta av kommuner också. Vissa kommuner har en teknisk handbok, Trafikverket har sina krav i följande dokument: TRVINFRA-00233 – Krav med rådstext, Tunnelbyggnad (hädanefter förenklat till TRVINFRA).

3.3 BESKRIVNING AV LAGAR OCH STYRANDE DOKUMENT

I detta avsnitt ges en kortare beskrivning av de lagar och styrande dokument som listas ovan i detta kapitel. Beskrivningen ges utifrån hur de påverkar det aktuella projektet samt hur de samspelar med varandra.

Miljöbalken (MB) och Lagen om skydd mot olyckor (LSO) anger säkerhetskrav i olika form, men inga detaljföreskrifter. Lag om transport av farligt gods omfattar utöver allmänna krav på farligt gods-transporterna även krav på tunnelkategorisering. I Bastunnel 400 tillåts ej farligt godstransporter.

Lag om säkerhet i vägtunnlar samt tillhörande förordning gäller endast tunnlar längre än 500 meter, vilket gör att de inte gäller för denna vägtunnel. Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar (TSFS 2019:93) däremot, baseras på krav i Plan- och Bygglagen (PBL) och gäller även för tunnlar mellan 100-500 meter. TSFS 2019:93 utgör därför den mest detaljerade lagstiftningen avseende tunnelsäkerhet för aktuellt projekt.

I Plan- och Bygglagen anger säkerhetskrav i olika form, men inga detaljföreskrifter.

TRVINFRA ingår i Trafikverkets infrastrukturregelverk och anger hur väg- eller järnvägstunnlar ska utformas och dimensioneras samt hur drift och underhåll ska utformas.

Detaljanvisningar avseende tunnelutformning finns i Trafikverkets och Transportstyrelsens gällande styrande dokument (TSFS 2019:93 samt TRVINFRA).

När TRVINFRA 0233 används anger denna tilläggskrav till TSFS 2019:93 som ska gälla. TRVINFRA pekar således ut att fler krav i föreskriften än vad Transportstyrelsen ställer formellt. Dock kan

byggherren för en specifik tunnel ange ytterligare krav på utformning och/eller utrustning med avseende på exempelvis säkerheten vid användning.

I denna analys tas dock inte andra krav en TSFS 2019:93 upp.

4 OBJEKTSBESKRIVNING OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ANALYSEN

I detta kapitel beskrivs den basstandardtunnel som riskbedömningen avser och de förutsättningar som objektet har. Tunneln benämns här efter som Bastunnel 400.

4.1 TRAFIKPROGNOS FÖR TUNNELN

Bastunnel 400 bedöms inte generera någon betydande ökning av den totala trafiken i området.

I trafikprognosen för Bastunnel 400 antas ÅDT på aktuell sträcka bli 15 000 fordon i vardera riktningen, detta eftersom denna gräns är vald utifrån tunnelklasser i TRVINFRA 0233. Det har antagits att 8 % av trafiken kommer att utgöras av tung trafik. Busstrafiken kommer att varieras mellan 1 och 2 %.

4.2 GRUNDLÄGGANDE FÖRUTSÄTTNINGAR

I rapport Riskanalysmetod & basstandard [1] togs förslag fram på de förutsättningar som gäller för en bastunnel. Nedan presenteras de riskfaktorer, speciell utformning och speciella förutsättningar, som bidrar till att basstandard inte kan appliceras på en tunnel som är mellan 100-500 m lång. Flera av nedanstående gränsvärden används i analysen för att testa ytterligheterna på kravnivån.

- Speciell utformning
 - Påfarter eller avfarter inne i tunneln eller invid tunnelmynningarna (här kan 10 s regeln användas som gränsvärde).
 - Dubbelriktad trafik i samma tunnelrör.
 - Längslutningar överstigande 3 %, beräknad i enlighet med TSFS 2019:93 kap 3 § 7-8.
 - Horisontell linjeföring som medför att vägtunneln ej är överblickbar. Tunneln anses vara överblickbar när mynningarna kan ses från respektive mynning.

- Speciella förutsättningar
 - Trafikmängd över ÅDT 15 000 för tunnlar upp till 400 m, och 11 250¹ för tunnlar 401–500 m.
 - Förekomst av tät köbildning/trafikstockning.
 - Överdäckning.
 - Sänktunnel.
 - Förekomsten av farligt gods i tunnlar.

Om en vägtunnel har en speciell utformning och/eller en speciell förutsättning behöver en riskbedömning genomföras där tunnelns säkerhetsåtgärder fastställs och värderas mot acceptanskriterierna i föreskriften. I denna riskbedömning förutsätts ingen av ovan presenterade punkter vara uppfyllda dvs Bastunnel 400 har ingen speciell utformning eller speciella förutsättningar.

I aktuell analys görs en fullständig riskbedömning för att testa vilken risknivå en 400 m lång bastunnel får med givna förutsättningar.

¹ ÅDT är beräknat utifrån skillnaden i längd gentemot att 300 m tunnel är 25 % kortare mot 400 m varpå sänkning på 25 % av ÅDT bör ge likvärdig samhällsrisknivå.

Risakanalys bedöms även behöva utföras för vägtunnlar vars längd understiger 500 m om tunneln har en speciell utformning eller speciella förutsättningar.

Köer förutsätts inte ske, definitionen av kö är när medelhastighet understiger 20 km/h vilket kan vara nära en situation där trafikstockning övergår till stillastående köer.

4.3 FÖRUTSÄTTNINGAR KRAVSTÄLLNING

ÅDT i denna analys antas till maximalt 15 000 per tunnelrör.

Tabell 1. Grundläggande säkerhetskrav för vägtunnlar mellan 300-400 meter (ÅDT mindre än 15 000).

Delområde	Hänvisning till föreskrift i TSFS 2019:93	Hänvisning till krav i TRVINFRA-00233	Vägtunnel 300-400 m
Bärförmåga	10 §, 11 §	K43590, K73619, K70256, K44152	HC 60
Brandteknisk avskiljning mellan tunnelrör	12§	K43588	Ja. EI 60.
Dörrar	13 §, 29 §	K43589	Ja. Dörr utförs i brandteknisk klass EI 60-C. Dörrar från tunnelröret till en utrymningsväg ska vara lätt öppningsbara och ska öppnas i utrymningsriktningen.
Ventilation	14-20 §§	K43559	Nej, då tunneln inte har kö förutsätts i denna analys att tunneln ventileras med hjälp av fordonen, dvs pistongverkan.
Dränering/avvattning farligt gods	21 §	K44401	Nej, basstandard förutsätter att Transport av farligt gods ej tillåts behöver inte avvattningen anpassas för att reducera risker kopplade till transporter av farligt gods.
Hjälptelefon/handbrandsläckare	22 §	K43559	Ja. Två handbrandsläckare och en hjälptelefon ska finnas vid tunnelmynningarna samt i tunneln med högst 150 meters mellanrum (placeras företrädesvis i anslutning till utrymningsväg).
Utrymnings-/angreppsväg inom tunneln	23-24 §	K158725	Ja. Utrymningsvägar ska anordnas inom tunnel med ett avstånd om högst 200 m till tunnelmynning. Dvs, minst en utrymningsväg inom tunneln krävs för tunnlar mellan 300-400 m. Förläggs mitt i tunneln.

Delområde	Hänvisning till föreskrift i TSFS 2019:93	Hänvisning till krav i TRVINFRA-00233	Vägtunnel 300-400 m
Räddningsrum, kompletterande åtgärder för att underlätta för personer med nedsatt rörlighet	25 §, 27 §	K43648	Nej, inga höjdskillnader föreligger mellan tunnelrören
Gångbana	28 §	-	Ja, i tunnlar med två körfält ska det finnas en 0,8 m bred gångbana på båda sidorna av körfälten i tunnelröret.
Passagemått	26 §	K43661	Dörrar för utrymning utförs med en fri öppningsbredd om minst 0,8 m.
Belysning	32 §	K44319	Ja, Belysning ska anordnas i tunnlar så att trafikanternas sikt blir tillfredsställande i infartszonen och inne i tunneln.
Reservbelysning	33 §	-	Ja, Reservbelysning ska finnas i tunnlar så att trafikanterna har tillräcklig sikt för att kunna köra ut ur tunneln vid avbrott i strömförsörjningen.
Vägledande utrymningsljus	34 §	-	Ja
Fast släcksystem	36 §	-	Nej
Vägmärken	37-38 §, se även TSFS 2019:74	-	Ja, Det ska finnas vägmärken och andra anordningar uppsatta som upplyser trafikanter om alternativa vägar då en tunnel är avstängd. Alla dörrar som leder till en utrymningsväg ska på båda sidorna ha en unik identifiering. Informationsskyltar ska placeras i trafikutrymmet så att det framgår vilka dörrar eller utgångar som inte är en del av en utrymningsväg
Detektionssystem			Ja, om utrymning sker över intilliggande tunnelrör. Krav avseende branddetektionssystem specificeras först i TSFS 2019:93 under vissa förutsättningar från 500 m samt även i TRVINFRA-00233 från 500 m. Dock anges i TRVINFRA-00233 att om utrymning sker över annat tunnelrör ska trafiken i det andra tunnelröret kunna stoppas, styras eller varnas. I TSFS 2019:93 anges att "trafiken ska stoppas utan dröjsmål". [7]
Utrymningslarm	-		Nej, I TSFS 2019:93 ställs ej krav på utrymningslarm oavsett tunnellängd. Baserat på att trafikmängden understiger 11 250 hänförs tunneln till tunnelklass TC

Delområde	Hänvisning till föreskrift i TSFS 2019:93	Hänvisning till krav i TRVINFRA-00233	Vägtunnel 300-400 m
			<p>enligt TRVINFRA-00233 vilket medför att det heller ej ställs krav på utrymningslarm enligt TRVINFRA-00233.</p> <p>Det bedöms som att det ej föreligger krav på att kortare tunnlar ska förses med utrymningslarm enligt grundläggande säkerhetskrav. En tunnel med begränsad tunnellängd och horisontell linjeföring bedöms ge tillräckliga möjligheter till tidig varseblivning.</p>
Övervakningssystem	39-42 §	K43565	Ja, Tunnel ska ha övervakningssystem som minst omfattar driftfunktioner.
Trafikledningscentral	39-42 §	K44293	Ja, om utrymning sker över intilliggande tunnelrör samt om ingen automatisk styrning av avstängningsmöjligheter tillses.
Brandvattenförsörjning	35 §	K43559	Ja, Eftersom utrymnings-/angreppsväg krävs inom tunneln bedöms det även föreligga behov av brandvattenförsörjning i anslutning till utrymnings-/angreppsväg.
Avstängningsmöjligheter	43-46 §	K43559	<p>Ja, om utrymning sker över annat tunnelrör.</p> <p>Om utrymning sker över annat tunnelrör bedöms det krävas avstängningsmöjligheter för att minimera risken för påkörningsolyckor i icke brandutsatt tunnelrör. Bedömningen är även att trafiken ska kunna stoppas utan dröjsmål, vilket även är förenligt med vad som anges i TSFS 2019:93 avseende stängning av tunnel.</p>
Kommunikationssystem	47-48 §	K43664	Nej
Strömförsörjning och elkretsar	49-50 §	K44323, K44325	Ja, tunnlar ska vara försedda med reservströmkällor för att säkerställa att säkerhetsutrustningen för utrymning fungerar under den tidsperiod som krävs för utrymning.
Skydd för säkerhetsutrustning	51 §	K44329	Ja, säkerhetsutrustningen i tunnlar ska skyddas mot skada som kan uppstå vid mekanisk påverkan. Den ska även fungera i händelse av brand under den tid som krävs för utrymning och räddningstjänstens insats.

Delområde	Hänvisning till föreskrift i TSFS 2019:93	Hänvisning till krav i TRVINFRA-00233	Vägtunnel 300-400 m
Höjdbegränsningsportal	-	K43562	Ja
Åtgärder för att förhindra att brandgaser tränger in i intilliggande tunnelrör	18 §	K43622	Ja, om utrymning sker/insats över intilliggande tunnelrör. En rökgasskärm installeras mellan tunnelrören utanför mynningarna för att förhindra att brandgaser sprids mellan tunnelrören, ca 25 m.

4.4 OBJEKTSBESKRIVNING

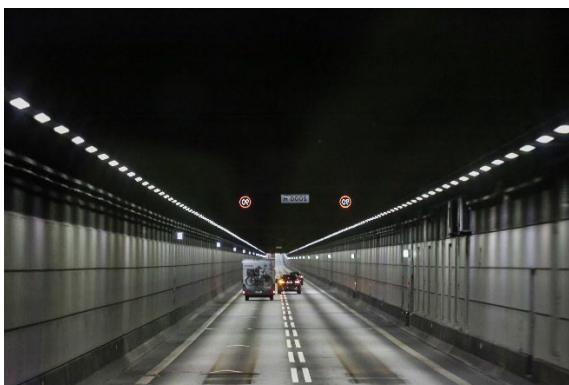
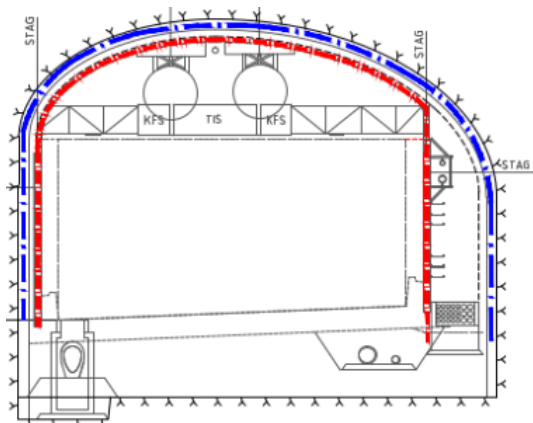
I nedanstående tabell ges en sammanfattande bild av Bastunnel 400's egenskaper och andra aspekter av särskild betydelse för säkerheten. Angivna data utgör tillika grundläggande förutsättningar för riskbedömningen och baseras på Riskanalysmetod & Basstandard, underlag till revidering av föreskrift 2019:93 [1]. I tabell 2 sammanfattas de system som ingår i analysen.

Tabell 2. Sammanställning av utformning avseende Bastunnel 400.

Aspekt	Bastunnel 400
Prognos – Trafikflöde år 20XX Vardagsmedeldygn (resp riktning)	15 000 fordon, per tunnelrör
Total längd i ledens huvudsträckning	400 m
Totalt antal tunnelmeter	800 m
Antal tunnelrör	2
Antal körfält huvudsträckning	2 i vardera tunnelrör
Hastighetsbegränsningar i trafiktunnlar	80 km/h
Körfältens bredd	Minst 3,5 m
Nödgångvägar på vardera sida av körfälten	0,8 m
Tunnels totala bredd	8,6 m / tunnelrör
Takhöjd i tunnel	6 m (fri höjd 4,7 m)
Rökgasskärmar vid mynningarna	25 m långa (mellan tunnelrören)
Linjeföring, horisontell led	Tunneln har en rak linjeföring mynning till mynning
Linjeföring, vertikal led (lutning)	3 % (maximal lutning) och utan lutning
Bärande huvudsystem	Huvudsakligen förstärkt berg (sprutbetong) och betongkonstruktion

Avsedd trafikering/fordonskategorier	Motorfordon enbart
Andel tung trafik	8 %
Avsedd tunnelkategori avseende farligt gods-transporter	Klass E, d.v.s. farligt gods tillåts ej.
Tunnelklass i enlighet med TRVINFRA	TC
Trafikstandard	Motsvarar gata på ytvägnät
Risk för köbildning	Nej, trafikstockningar/köbildning tillåts ej.
Passage direkt under byggnader (risk för särskilt stora konsekvenser vid tunnelkollaps till följd av brand och explosion)	Nej
Vägtrafikcentral (VTC)	Ja
Automatiskt brandlarm	Ja automatiskt brandlarmsystem
Ventilationssystem/System för brandgaskontroll	Nej
Automatisk incidentdetektering	Nej
System för trafikstyrning och signalering	Infartsbommar.
Kommunikationssystem	Täckning för mobiltelefon, hjälptelefoner, blåljusmyndigheternas RAKEL.
Egen räddningsstyrka	Nej
Brandvattenförsörjning	I anslutning till utrymnings- och angreppsvägar. Vid mynning och utrymningsväg.
Handbrandsläckare	Ja, 50 m in från mynning och vid utrymningsväg.
Utrymningsbefrämjande utrustning och åtgärder	Nödbelysning, utrymningsskyltar, roterande utrymningsljus, anpassningar för funktionsnedsatta.
Maximalt avstånd mellan utrymnings- och angreppsvägar samt mynning	200 m mellanutrymningsvägar och mynning
Fast släcksystem	Nej

Geometrin för Bastunnel 400 har antagits vara likt den betongtunnel som ses till höger i figur 2 nedan. Vald geometri, betongtunnel, bedöms normalt mindre eftersom en bergtunnel utförs med valvverkan och därmed blir högre. Valet påverkar till viss del konsekvenserna vid brand eftersom ett mindre tvärsnitt snabbare blir fyllt av brandgaser än ett större.



Figur 2: Exempel på tunnelsektion bergtunnel, till vänster. Installationsutrymmet ovan det fria utrymmet ger normalt sett ett större tvärsnitt. I aktuell analys har geometrin för en betongtunnel antagits, bild till höger.

4.5 TRAFIKSAMMANSÄTTNING - TRAFIKPROGNOS

I avsaknad av en detaljerad trafikprognos görs nedan följande antaganden med avseende på trafikering. Trafikprognosen för samtliga trafikslag är ett ÅDT om 15 000. I denna analys bortses från motorcyklar.

Trafiksammanställningen för sträckan där Bastunnel 400 är förlagd har antagits ha följande sammansättning av trafik och trafikanter:

Tabell 3: Fordonsslag i trafik.

Fordonsslag	Andel	Antal per dag (ÅDT)	Trafikanter per fordon
Personbil	85-86 %	12750-12900	1,4*
Lätt lastbil	5 %	750	1,2
Tunga fordon	8 %	1200	1,2
Bussar	1-2 %	150-300	8, 15 och 95

*Datakälla: Trafikanalys: Transportarbete 2000-2021, Trafikanalys: Trafikarbete på svenska vägar

Trafiksammanställningen är antagen utifrån att tunneln dels finns i en urban miljö, med avseende på ÅDT, och att andelen tunga fordon ska vara relativt högt. Utifrån statistik kan andelen tunga lastbilar dvs över 3,5 ton räknas fram. Under 2021 var trafikarbetet på Sveriges statliga vägar för samtliga fordon ca 62257,2 miljoner fordonskilometer. Tung trafik hade ett trafikarbete om 8360,8 miljoner fordonskilometer under 2021. Detta ger att ca 13,4 % av trafikarbetet på statliga vägar utgjordes av tung trafik. För en bastunnel gäller dock att andelen tung trafik inte överstiger 8 % varpå denna siffra används.

Beläggingsgraden på bussar, påverkar antalet trafikanter i en vägtunnel och därmed även den population som kan påverkas av konsekvenserna vid en olycka. I Stockholm är beläggingsgraden i genomsnitt över ett dygn ca 30 %, där en ledbuss har ca 54 sittplatser och en standardbuss ca 34 sittplatser. Detta ger en snittbeläggning om ca 13 passagerare [8]. Många busslinjer har passagerare som åker i ena riktningen i rusningstrafik på morgonen och sedan går med mycket mindre eller väldigt få passagerare tillbaka i den andra riktningen. Under rusningstrafiktimmarna är beläggingsgraden 40 % och om ena riktningen har låg beläggning under dessa timmar är det troligt att den andra har en mycket högre beläggingsgrad än 40 % troligt mellan 60-70 %. Detta leder till att ett genomsnitt av beläggingsgraden i buss kommer ge en sned risknivå. Att utrymma ett fåtal personer ur en buss är enklare än att utrymma en full buss och detta leder till vitt skilda konsekvenser. Därav behöver antal trafikanter varieras utifrån tid på dygnet.

Utifrån den data som finns för Stockholm var det under 2016 ca 50 % av bussarna ledbussar. Ledbussar har en kapacitet om ca 113 passagerare varav 54 är sittande. För en normalbuss är dessa siffror 81 total resp 34 sittande.

Följande antagande görs Bastunnel 400:

1. Vid rusningstrafik körs bussar med ett fåtal passagerare i ena riktningen och bussar i den andra riktningen får en belägningsgrad om 100 %. Ett antagande är att rusningstrafiken utgörs av 4 timmar per dygn. Med andra ord kan antalet timmar med halveras per dygn med avseende på passagerarantal till 2 timmar. Den andra 2 timmarna tas med under punkt 3.
2. Under rusningstrafik 2 timmar per dygn har bussarna ca 95 passagerare.
3. Under resterande tid, dagtid, antas en genomsnittsbiläggningsgrad om 35 % med avseende på sittplaster, dvs mellan kl 06-21 minus de 2 timmarna som utgör rusning. 15 passagerare per buss.
4. Nattetid antas biläggningsgraden vara 20 % dvs 8 passagerare.
5. Fördelning av turtätheten kommer ha stor påverkan. Utifrån den statistik som redovisas med avseende på personkilometer för buss i Stockholm 2016 kan följande indelning göras.

Mellan 06-21, undantaget högtrafik 2 timmar, utförs ett trafikarbete som motsvarar 76 %, nattetid ca 7 % och rusningstrafik 17 %.

Fördelning av busstrafik över dygnet analyseras enligt nedan:

Tabell 4: fördelning av trafikanter i bussar kopplat till tid på dygnet

TID	Andel	Antal bussar per dag (1-2 %)	Trafikanter per fordon
Natt (21-06)	7	10-21	8
Dag (06-21)	76	114-228	15
Rusning (2 timmar av dagtid)	17	25-51	95

5 BESKRIVNING AV OLYCKSSCENARIER

I detta kapitel görs en genomgång av de olika olycksscenarierna som har bedömt vara relevanta för denna riskbedömning. Identifiering av relevanta risker utgår från det tunnelns förutsättningar och baseras på en översiktlig bedömning av de konsekvenser som kan uppstå vid en potentiell olycka. Identifieringen utgår från krav i regelverken, litteraturstudier och erfarenhetsmässiga bedömningar.

Eftersom syftet med analysen är utvärdera om det finns ett behov av att införa flera riskreducerande åtgärder har fokus varit att de identifierade och analyserade risker ska täcka in de risker som ger upphov till allvariga konsekvenser där flertal personer påverkas. Valet av relevanta olycksscenarier innebär inte att andra olycksscenarier inte kan inträffa eller är irrelevanta, de bortses ifrån huvudsakligen för att de inte anses behövas för att ge en god bild av den totala risken i vägtunneln.

Identifierade risker utgörs av:

- Brand i fordon, personbilar, bussar och tunga lastbilar.
- Brand eller defekt i fordon som drivs med fordonsgas får jetflamma eller explosion/deflagration.

5.1 BRÄNDER I FORDON

De förväntade konsekvenserna av en brand i ett fordon beror i huvudsak på de styrande parametrarna brandtillväxthastighet, maximal brandeffekt och brandens varaktighet. Ur personsäkerhetsperspektiv är generellt det tidiga brandförloppet avgörande. Det är i det tidiga skedet som självutrymning, antingen med fordon eller till fots, är möjligt. För att undersöka risknivån med avseende på personsäkerhet måste således i första hand brandens utveckling under utrymningsförloppet studeras. Det görs ingen skillnad på om branden initieras som följd av trafikolycka eller som följd av fordonsdefekt (varmgång motor, bromsar etc.) i beräkningarna i denna riskbedömning.

Gemensamt för parametrarna brandtillväxthastighet, maximal brandeffekt och brandvaraktighet är att de i huvudsak styrs av vad som brinner och var det brinner. De förväntade konsekvenserna av en brand kommer således bero av vilken fordonskategori som brinner. Konsekvenserna kan variera från obetydliga till mycket omfattande.

Baserat på de fordonskategorier som kommer att trafikera tunneln kan följande principiella brandscenarier identifieras: personbil, lätt lastbil, buss och lastbil. Eldrivna fordon bedöms ge liknade olycksscenarier som bensin-/dieseldrivna fordon, dock med skillnaden att EI-fordonen är svårare att släcka. Detta leder till att räddningstjänsten har svårare att göra en insats och att det således kan dröja längre innan trafikleden kan öppnas igen efter en olycka med brand i EI-fordon. Vid brand i batterier skapas även giftigare gaser än vid brand i fossildrivna fordon, vilket gör att närområdet kring bilen är något farligare att vistas i för trafikanter [9]. Den huvudsakliga faran i fordonets direkta närhet utgörs dock fortfarande av värmestrålningens påverkan från branden. Utifrån ett personsäkerhetsperspektiv bedöms skillnaderna därför inte ha någon större inverkan på utrymning av trafikanter.

Observera att antalet möjliga brandscenarier i praktiken är mycket stort då brandförloppet beror på en rad olika faktorer. Exempelvis om brandspridning mellan fordon sker innebär att antalet tänkbara scenarier ökar markant. Brandscenarierna ser också olika ut beroende på vilken del av tunneln som branden uppstår.

I denna riskbedömning antas konsekvenserna av en brand i tunneln främst bero på följande parametrar:

- Om branden kan släckas i ett tidigt skede av trafikanter.

- Trafiksituationen i tunneln.
- Vilken typ av fordon som börjar brinna.
- Huruvida detektionssystem och övriga säkerhetsinstallationer fungerar eller ej.
- Vägtrafikcentralens agerande.
- I vilken del av tunneln som branden uppstår.
- Om det finns en buss närvarande i tunnelröret där branden uppstår, samt hur många passagerare den har.

5.2 TRAFIKOLYCKOR

Trafikolyckor kan i första hand leda till att trafikanter involverade i olyckan förolyckas genom att krockvåldet leder till akuta fysiska skador. Denna del av den totala olycksrisken bedöms vara absolut störst, men beaktas inte vidare i denna riskbedömning då konsekvenserna förväntas bli begränsade till trafikanterna i det/de fordonet/-en som är involverade i trafikolyckan. Denna typ av olyckor ska förebyggas med trafiksäkerhetsåtgärder.

5.3 FARLIGT GODS-OLYCKA

Transporter av farligt gods är inte tillåtet i tunneln. Eftersom farligt gods-transporter inte är tillåtet i tunneln beaktas dessa inte i analysen.

5.4 OLYCKA MED GASDRIVNA FORDON

I dagsläget är utgör andelen gasdrivna fordon en mycket liten del av den totala fordonstrafiken i Sverige. I samband med utfasningen av fossila bränslen förväntas gasdrivna fordon dock kunna bli vanligare i framtiden. Stockholm stad har bland annat som målsättning att vara en fossilfri stad till 2040 vilket leder till att en omställning av drivmedel i fordon behöver ske [10]. Om en olycka skulle inträffa med ett fordon som drivs av exempelvis fordonsgas eller vätgas kommer olycksförloppet att bli annorlunda jämfört med det som beskrivs i avsnitt 5.1. Olyckor med gasfordon skulle potentiellt kunna leda till gasmolnexplosion eller jetflamma. Förutom detta kan det tryckkärl som gasen finns i rämna varpå en tankruptur uppkommer där dels en tryckvåg skapas, dels att splitter och fragment sprids samt att gasen eventuellt antänds och en explosion inträffar.

De troligaste olycksförloppen för gasdrivna fordon är att fordonets bränsletank påverkas av en brand så att en jetflamma eller explosion uppkommer. Detta kan exempelvis ske om fordonet involveras i en trafikolycka som leder till en brand, alternativt att fordonet har ett tekniskt fel som leder till en brand eller att gas läcker ut och antänds.

Olyckor med fordon med trycksatta kärl t.ex. konsekvensen explosion kommer att påverka trafikanter både nedströms och uppströms olycksplatsen. Skillnader i skadefallet för en olycka med fordonsgas beror på olyckssituation d.v.s. antalet trafikanter i tunneln, tät trafik, kö/trafikstockning, lågtrafikvolym samt tiden till att olyckskonsekvensen uppkommer.

Olyckor med gasfordon behandlas i denna analys som en känslighetsanalys på grund av osäkerheterna kring hur vanligt förekommande drivmedlet kommer vara i framtiden samt osäkerheter kring hur dessa olyckor sker och vilka konsekvenser de får. Se vidare avsnitt 10.1.

5.5 FORDON I TUNNELN

Olyckor kan se olika ut, dels kan fordon börja brinna pga tekniska fel som orsakas av fel i produkten, förslitningar, dåligt underhåll mm; dels kan fordon börja brinna på grund av det krockvåld som inträffar vid olyckstillfället. Andra orsaker är också anlagd brand t ex att passagerare i en buss anlägger brand.

Konsekvensernas storlek beroende på var olycka i en tunnel inträffar och om andra trafikanter påverkas av brandgaser m.m. I en tunnel där trafiken inte har höga flöden som orsakar trafikstockningar och köer dagligen kommer trafiken framför en olycka med brand avvecklas då dessa kör ut i tunneln. I tunnlar har det ibland visats sig att trafikanter som kommer fram till olycksplatsen väljer att köra förbi och därmed in i den delen av tunneln som är fylld med brandgaser. Dessa trafikanter uppfattar inte faran med deras agerande. I en kort tunnel kan detta agerande vara mindre allvarligt men om sikten är kraftigt nedsatt och någon trafikant väljer att stanna eller krockar i den brandgasfyllda miljön innebär det att utrymning behöver göras i denna miljö för en viss andel av trafikanterna.

En annan orsak till utrymning i brandgasfylld miljö är om olyckan är en upphinnande olycka. Detta leder till att den andel av trafikanter som är mellan första olyckan och den andra är olyckan där brand uppstår påverkas av en brands konsekvenser.

6 BESKRIVNING AV HÄNDELSETRÄDET

Riskenivån i tunneln beräknas genom händelseträdmodellen som kombineras med indata från konsekvensanalysen. Den händelseträdsmodell som har använts för att beräkna frekvensen för de olika riskscenarierna består av fem nivåer där varje nivå har ett antal grenar som anger förutsättningarna som särskiljer de olika scenarierna. Genom att multiplicera ingångsfrekvensen med de aktuella grenarna för respektive nivå erhålls en frekvens för det specifika riskscenariot [11]. Dessa frekvenser kopplas sedan ihop med en konsekvensanalys utifrån simulerade scenarier baserade på statistiska och skattade värden. Exempel på händelseträd visas i Bilaga D. Kopplingen mellan frekvensen och konsekvensen kan därefter redovisas i en riskkurva (F/N-kurva) för tunneln, se kapitel 9.

Ingångsfrekvensen baseras på grundfrekvensen för en brand i ett fordon till följd av en trafikolycka eller fordonsfel. Detta har sedan vägts samman med sannolikheten för trafikanter lyckas släcka branden i ett tidigt skede. Eftersom den analyserade tunneln lutar med +3% och -3% kommer förutsättningarna i respektive trafikriktning att skilja sig åt. Det kan förutsättas att trafikanter framför en olycka i en tunnel utan köer kan fortsätta sin färd genom tunneln och därmed inte bli utsatta för konsekvenserna kopplade till en eventuell olycka. De trafikanter som finns bakom olyckan dvs hamnar i kö är de trafikanter som därmed kan utsättas för konsekvenser av olyckan. Separat analys görs på en tunnel som inte lutar som en del av en känslighetsanalys.

Felfungerande system i händelse av brand analyseras utifrån att detektionssystemet och system för att stänga tunneln med hjälp av bommar felfungerar. Detta då stängning av tunnel vid manuell hantering antas bli förskjuten i tid så att skyddsåtgärden får en mycket begränsad effekt eftersom hela tunneln bakom olycksplatsen troligen fylls upp med fordon. När tunneln stängs via systemet begränsas de trafikanter som tar sig in i tunneln och därmed blir det färre personer som utsätts för olyckans konsekvenser och behöver utrymma. Dessutom minskar risken att bli påkörd i motstående tunnelrör eftersom trafiken stoppas i båda tunnelrören. I de fall tunneln inte lyckas stängas finns en risk för att utrymmande blir påkörd i motstående tunnelrör. Det förutsätts här att systemen ska utföras med redundans och t ex kan flera larmvägar, reservkraft och olika aktiveringsmöjligheter av system.

Händelseträdets tre olika nivåer med tillhörande grenar redovisas i nedanstående punktlista:

- Nivå 0: Ingångsfrekvens för brand i fordon
- Nivå 1: Potentiell brandkurva
 - Nivå 1, gren 1: 6 MW (motsvarande brand i personbil).
 - Nivå 1, gren 2: 30 MW (motsvarande brand i buss och lätt lastbil).
 - Nivå 1, gren 3: 100 MW (motsvarande brand i lastbil).
 - Nivå 1, gren 4: Olycka med gasfordon (utgör en känslighetsanalys separat händelseträd).
- Nivå 2: Säkerhetsinstallationernas funktion, detektionssystemet fungerar och stängning av tunnel.
 - Nivå 2, gren 1: Samtliga säkerhetsinstallationer fungerar som avsett.

- Nivå 2, gren 2: Säkerhetsinstallationer fungerar ej som avsett, fel i detektionssystem eller på bommar.
- Nivå 3: Närvaro av buss i tunneln i händelse av brand.
 - Nivå 3, gren 1, Ingen buss i tunneln.
 - Nivå 3, gren 2, 1 buss i tunneln.
 - Nivå 3, gren 3, 2 bussar i tunneln.
- Nivå 4, Tid på dygn när olyckan sker.
 - Nivå 4, gren 1, Natt (kl 21-6).
 - Nivå 4, gren 2, Dag (kl 6-21, exkl 2 timmars rusning).
 - Nivå 4, gren 3, Rusning (2 timmar under dagtid).

Detta händelseträd resulterar olika unika olycksscenarier som bedöms täcka de relevanta risker som beaktas i denna riskbedömning. De använda frekvenserna och sannolikheterna redovisas i nästkommande kapitel 7.

Vägtrafikcentralens agerande kan i vissa tunnlar ha en påverkan på säkerhetsnivån, dvs om deras agerande leder till en senare aktivering av olika system som t ex sprinkler eller utrymningslarm mm. För aktuell tunnel bedöms detektionssystemet kunna stänga tunneln direkt vid aktivering då dels tunneln har relativt lite trafik, dels att en störning pga falsklarm bedöms bli kortvarig, ett antal minuter, vilket innebär en mindre störning på trafikleden, samt att detektionssystem i vägtunnlar kan betecknas som driftsäkra installationer. Behovet av en ledningsfunktion kan därmed ifrågasättas ur säkerhetsperspektiv om systemen är autonoma. Behovet bedöms vara mer kopplat till att ha en god driftsäkerhet och hög tillgänglighet på trafikleden.

7 SANNOLIKHETS- OCH FREKVENSBERÄKNINGAR

I detta kapitel redovisas de sannolikheter och frekvenser som har använts i beräkningarna.

7.1 FREKVENNS FÖR BRAND I TUNNEL

Statistik över bränder i tunnlar visar att majoriteten av bränderna uppstår på grund av en fordonsdefekt eller i samband med en trafikolycka [12]. Sannolikheten för att en brand uppstår beror på en rad faktorer, t.ex. fordonstyp, vilket skick fordonet är i, eventuella defekter på fordonet.

Brandfrekvenserna för det aktuella tunnelsystemet antas kunna representeras av medelvärdet mellan vad som i referenslitteraturen kallas minimum och maximum för standardtunnlar [13]. Antagna brandfrekvenser redovisas i Tabell 5.

Tabell 5. Antagna brandfrekvenser [13].

Fordonskategori	Totalt antal bränder per miljoner fordonskm
Lätta fordon	0,02
Tunga fordon	0,03
Av vilka inte bringas under kontroll	0,01
Fordon som transporterar farligt gods	0,01
Av vilka inte bringas under kontroll	0,004

Genom att multiplicera förväntat antal bränder per miljoner fordonskilometer med uppskattat trafikarbete i tunneln kan en frekvens för brand i tunneln räknas ut.

Med ett uppskattat trafikflöde på 15 000 fordon ett vardagsmedeldygn blir trafikarbetet i tunneln ca 4,0 miljoner fordonskilometer per år, för båda tunnelrören. Detta ger en frekvens för brand i tunneln på 0,073 bränder per år i lätta fordon och 0,0096 i tunga fordon. Viktat på trafikandelar lätta respektive tunga fordon blir ingångsfrekvensen för brand i tunneln 0,042, vilket motsvarar ungefär en frekvens för brand i tunneln en gång på 12 år.

I Tabell 5 ovan visas också statistik för hur många bränder som trafikanter inte kunnat släcka i förhållande till antalet bränder i lätta och tunga fordon samt fordon som transporterar farligt gods. Utifrån tabellen kan sannolikheterna för en lyckad brandsläckning generellt utläsas till 66 % för farligt gods-fordon respektive 60 % för övriga fordon. Detta förutsätter att handbrandsläckare finns i tunneln vilket också är ett krav.

I en studie som genomförts av PIARC släcktes 40 % av bränderna med handbrandsläckare av trafikanter medan resterande 60 % av bränderna krävde att räddningstjänsten släckte [14].

Mot bakgrund av ovan antas brandsläckning av trafikanter lyckas i 50 % av fallen.

Med bakgrund av denna statistik som finns rörande handbrandsläckare ska det finnas handbrandsläckare installerade i tunnelrören då många fordonsbränder kan släckas av trafikanterna. Om branden släcks i ett tidigt skede bedöms den inte utgöra något hot mot övriga trafikanter i tunneln och beaktas därmed inte vidare i riskbedömningen.

7.2 BRANDENS STORLEK

Det finns begränsad statistik för hur bränder utvecklar sig och till vilken storlek de tillväxer. För personbilar indikerar statistiken att branden blir i storleksordning 5-6 MW om den inte bara blir liten (0-1 MW). I tabell nedan sammanställs data från flera olika källor där flertalet presenteras i *Experience with Significant Incidents in Road Tunnels* [15] men även i *Fire and Smoke Control in Road Tunnels* [14].

Tabell 6. Statistik och uppskattningar av bränders storlek i tunnlar.

	Personbilar			HGV			PIARC [14]
	Österrike	Korea	Italien (guide)	Österrike	Korea	Italien (guide)	
0-1MW	58 %	77 %	40 %	37 %	17 %	85 %	
5-8MW	36 %	23 %	60 %	23 %	42 %		87 %
25-30MW				14 %	33 %	12 %	11 %
50MW					8 %	2 %	
100MW				1 %		1 %	2 %

Kategorierna i respektive källa är något olika varför vissa förts samman och tolkats för att ge en bättre överblick. Koreas statistik sticker ut avseende andelen bränder kring 30 MW medan övriga ligger under 15 %. Enligt litteraturen skiljer sig även statistiken åt beroende på om tunneln är övervakad eller inte. Det skulle kunna innebära att i oövervakade tunnlar faller en del mindre bränder bort från statistiken, vilket ger en större andel stora bränder. Det finns dock inga sådana uppgifter om de tunnlar som ingår i statistiken ovan.

För den fortsatta analysen görs ansatsen att hälften av alla uppkomna bilbränder når 6 MW och resten förblir små. För tung trafik antas 20% kunna nå 30 MW och 2 % nå närmre 100 MW. 50% av bränder i tung trafik antas bli runt 6 MW, d.v.s. resterande 28% blir under 1 MW. I detta antagande tillförs andelen bussar ca 1 % hänförs i till tung trafik desamma gäller för 50 % av lätta lastbilar, dessa fordon kommer dock i konsekvensuppskattningen tillfalla kategorin bränder som maximalt blir 30 MW.

Det ger med 4 miljoner fordonskilometer och 11,5% tung trafik (inkl lätta lastbilar och bussar enligt ovan) totalt brandfrekvenser och fördelning enligt Tabell 7.

Tabell 7. Beräknat antal bränder och fördelning mellan brandstorlek. I fortsatt händelseträdsanalys används fördelning av bränder större än 1 MW (sista kolumnen).

Brandstorlek	Frekvens (antal/år)	Intervall (år)	Andel	Andel >1 MW
<1 MW	0.0393	25	0.464	
6 MW	0.043	24	0.500	0.933
30 MW	0.0028	362	0.033	0.065
100 MW	0.0003	3623	0.003	0.0034

7.3 TRAFIKSITUATION VID OLYCKSTILLFÄLLET

Trafikflödet genom tunneln varierar normalt över dygnet och det bedöms viktigt att skilja på vilken trafiksituation som en trafikolycka inträffar vid.

Trafikflödet i Bastunnel 400 är dock aldrig så stort att kösituationer normalt uppkommer. Troligen kommer köer ändå att inträffa i en tunnel t ex när trafikolyckor uppkommer längs vägsträckan. Riskpåverkan av kö är inte definierad men i flera källor används 20 km/h uppkommer när hastigheten går som ett tröskelvärde.

Eftersom köbildning och trafikstockning inte tillåts i en bastunnel görs antagande att trafiken är jämnt fördelad över dygnet då riskpåverkan av kö inte finns i tunneln.

7.4 DETEKTIONSSYSTEM FUNGERAR SOM PLANERAT

Tunnelsystemet utrustas med redundanta och/eller oberoende system som tillsammans innebär att en brand eller en trafikolycka (med eller utan efterföljande brand) förväntas detekteras snabbt och med hög sannolikhet. Att detektionssystemet fungerar är också viktigt för att andra säkerhetsfunktioner ska aktiveras automatiskt. Det antas att sannolikheten för att detektionssystemet fungerar är 98 %. En hög sannolikhet motiveras med att krav ställs på att detektionssystemet förväntas detektera bränder vid en brandeffekt om 1 MW. Tunneln utrustas också med nödtelefoner vilket gör det möjligt för trafikanter att larma vägtrafikcentralen. Det kan också förväntas att trafikanter kontakter 112 via mobiltelefoner men att det kan vara svårt att i vissa fall att koppla samman trafikledningscentral och trafikant samt att platsbestämma olycksplatsen. Varpå detta troligen gör att eventuella manuella styrningar tar många minuter längre än om ett detektionssystem aktiveras.

Bommar och stängning av tunneln bedöms mindre tillförlitligt och bedöms ha en tillförlitlighet om ca 80 %. Detta ger en sannolikhet på att tunneln stänger om ca 78 %. I siffran 0,78 ligger dels att bommen inte går ner om någon står under, dels att bommen felfungerar.

Om bommen stänger tunneln antas detta ske efter ca 3,5 min efter brandstart. Bakom antagandet ligger att detektionstiden bedöms till ca 2 min, att bommen inte stänger om fordon är i vägen pga sensorer vilket leder till ett par försök innan tunneln helt lyckas stängas. Med ett jämnt fördelat trafikflöde över dygnet ger detta att ca 36 fordon hinner åka in i tunneln bakom olyckan. Detta ger begränsad kö-längd till ca 160 m i respektive körfält.

7.5 VÄGTRAFIKCENTRALEN AGERAR OPTIMALT

Personal i Vägtrafikcentralen (VTC) förutsätts vara väl utbildade och övade i att hantera de situationer som uppkommer. Då det gäller att personal agerar korrekt i stressade och kritiska situationer bedöms det dock finnas en förhållandevis hög sannolikhet för felhandling. Att VTC överhuvudtaget får chansen att ingripa är beroende av om olyckan detekteras automatiskt, alternativt att VTC snabbt informeras via telefon. Inom parametern måste normalt således skillnad göras beroende på om detektionssystemen fungerar eller ej.

I denna analys kommer VTC agerande ha mindre påverkan då detektionssystemet kommer att styra ut stängning av tunneln automatiskt. Påverkan kan dock ske i de fall då detektionssystemet felfungerar men larmet rings in via telefon. Tiden för att ringa in och att VTC agerar genom att stänga tunneln bedöms dock inträffa sent i olycksförloppet dvs då stängning av tunneln bedöms göra mindre nytta. Det är t ex väsentligt att stänga tunneln för att motsatta tunnelröret utgör säker plats och att utrymmande inte ska bli påkörda samt att inte flera trafikanter ska köra in i det olycksdrabbade tunnelröret. Om stängningen sker sent är redan personer i motsatt tunnelrör och trafiken har antingen anpassats till gående i vägren eller så har någon eventuellt blivit påkörd i en ny olycka.

Eftersom detektionssystemet i detta fall är autonomt antas VTC agera korrekt i 100 % av fallen när detektionssystemet fungerar och när det felfungerar har deras agerande ringa påverkan.

7.6 OLYCKSPLATS I TUNNELN – ANTAL TRAFIKANTER

En olycka kan komma att få olika karaktär och utfall beroende på var olyckan inträffar. Möjligheten att utrymma tunneln påverkas av var olyckan inträffar och även hur branden och brandgaserna eller en eventuell tryckvåg vid jetflamma/gasexplosion sprids och hur många trafikanter som påverkas av detta.

Bastunnel 400 består av två raka tunnelrör men där lutningen är maximerad i förhållande till kravställningen i TSFS 2019:93, dvs 3 %. Det kan förväntas att en tunnel med 3 % nedförslutning och utan mekanisk ventilation kommer att få en påverkan på trafikanter som är uppströms olycksplatsen. I det fall när tunneln lutar uppåt och är utan mekanisk ventilation kan det förväntas att personer uppströms olycksplatsen inte påverkas av brandgaser och har goda förutsättningar att utrymma.

Fördelningen av bränder till följd av trafikolycka eller fordonsdefekt mellan de olika delarna av tunneln bedöms, eftersom olyckskvoten antas vara densamma i hela tunneln, endast bero på det totala trafikarbetet och respektive dels längd i detta fall lika långa, 400 m. Eftersom tunneln antas ha ett jämnt fördelat trafikflöde dvs ÅDT om 15 000 i vardera tunnelrör är fördelningen av trafikarbetet, och därmed antalet olyckor jämt fördelade, redovisas i Tabell 8.

Tabell 8. Andel av trafikarbete i respektive del av tunneln.

Del av tunnel	Total sträcka	Andel av trafikarbete baserat på sträcka
Tvåfiligt tunnelrör med nedförslutning 3 %	400 meter	50%
Tvåfiligt tunnelrör med uppförslutning 3 %	400 meter	50%

Olycksplatsen i tunneln kan påverka personantalet både uppströms och nedströms olycksplatsen som kan påverkas av brandgaser beroende på vilket håll tunneln lutar. En olycka kan inträffa på olika platser i en tunnel, ur ett riskperspektiv kan mitten av tunneln sägas ge konsekvenser som motsvarar ett medelvärde på olika olycksplatser i vägtunneln. Olycksplatsen för placering av brand görs därför i mitten av tunneln.

Trafiksammansättningen, se även kap 4.5, i tunneln innebär att personbilar utgör 86%, lätta lastbilar 5 %, tunga lastbilar 8 % och bussar 1 %. Om det uppstår en kö, i detta fall framförallt den kö som förutsätts bildas bakom olyckan, kan varje personbil antas uppta ca 7 m köfält och tunga fordon och bussar i snitt 25 m. Det innebär att en kö med 100 fordon, dvs en statistiskt jämnt fördelad kö med alla fordonsslag, upptar ca 880 m köfält. Antas 1 % vara bussar kan därmed sannolikheten för att det finns en buss i ett genomsnittligt köfält om 400 m skattas till ca 0,5, vid två köfält med samma trafiksammansättning blir denna siffra ca 1 st buss. Tar man dessutom hänsyn till att brand kan uppkomma på en genomsnittlig plats med avseende på konsekvenspåverkan dvs mitt i tunneln, halveras sannolikheten för att en buss finns uppströms branden (till 0,5) och detsamma gäller för nedströms branden (denna antas kör ut ur tunneln), om kö finns i båda köfälten. Vidare antas det att bussarna har de passagerare antal som redovisas i tabell 4.

Sammantaget används fördelning bussar i tunneln enligt Tabell 9 för att välja konsekvens.

Tabell 9. Fördelning av scenarier med bussar uppströms.

Del av tunnel /Fördelning scenarier	Ingen buss	8 pers. i bussen	15 pers. i bussen	95 pers. i bussen
Tvåfiligt tunnelrör halva tunneln (södergående/norrgående) Uppströms trafikriktningen	0,5	0,035	0,38	0,085

Ytterligare ett scenario är att det skulle kunna finnas mer än en buss i tunnelröret samtidigt då en olycka inträffar. Detta skulle kunna leda till större konsekvenser, men ökar komplexiteten i analysen, för denna analys har sannolikheten för två bussar beaktats i tunneln. Sannolikheten för att 2 bussar finns i anläggningen är $0,5 \times 0,5 = 0,25$ (25%). Sannolikheten för flera bussar bedöms föreligga vid framförallt rusningstrafik. För att fånga upp frekvensen för flera bussar än 2 st tas andelen av sannolikheten för flera bussar och fördelas ut jämt på 1 st buss och 2 st bussar. Detta ger att: ingen buss i tunneln får sannolikheten 50 %, 1 st buss $0,5 \times 0,5 = 25\%$, två bussar $0,5 \times 0,25 = 12,5\%$. Detta gör att 12,5% fördelas på 1 resp 2 bussar. Detta ger en ny fördelning om 1 buss = 31,25% och 2 bussar = 18,75 %. Då osäkerheterna är stora med avseende på hur många bussar som förekommer samtidigt i en kortare tunnel görs denna förenkling som inte påverkar sannolikheten för olycka i tunneln då den är opåverkad avseende antalet bussar. Däremot påverkas konsekvenserna, slutsatser bedöms dock kunna dras mellan skadefallet på 1 respektive 2 bussar för att värdera effekten av flera vid värderingen. Det görs därför inga konsekvensberäkningar för scenarier med fler än två bussar i tunneln samtidigt. I det scenariot där tunneln stängs bedöms förekomsten av flera bussar mer osannolik varpå detta scenario endast beräknas med 1 st buss i 50 % av fallen.

8 KONSEKVENSBERÄKNINGAR

Konsekvensberäkningar har utförts i en brandförloppsmodell (CFD) kopplat till en utrymningsmodell där risken att omkomma beräknas baserat på de utrymmandes påverkan av brandgaser. I analysen används FED, d.v.s. beräkning av de utrymmandes ackumulerade dos av olika ämnen i brandgaser, temperatur och nedsatt sikt för att beräkna om de kan nå en utrymningsväg eller inte. Konsekvensberäkningarna redovisas i Bilaga C.

Generellt visar konsekvensanalysen att brand i personbil eller mindre brand i tungt fordon (ca 6 MW) inte leder till omkomna trafikanter.

Som förväntat har lutningen i tunneln stor inverkan på spridning av brandgaser. Beräkningarna visar på stora skillnader mellan antal omkomna för nedförslutning -3% och uppförslutning +3%. Som en jämförelse visar också beräkningarna att då tunnel inte lutar blir skillnaderna också stora i jämförelse med nedförslutning -3%.

De brandförlopp som sker i vägtunnel med uppförslutning genererar inga konsekvenser för personer som står i kön bakom/uppströms olyckan.

De brandförlopp som sker i vägtunnel med nedförslutning -3% ger varierat antal omkomna där 241 personer är maximalt när 2 bussar finns i tunneln och branden utgör en lastbil som brinner med 100 MW. När inga bussar förekommer i vägtunneln i detta scenario omkommer 39 personer. Även i scenariot med 30 MW ger omkomna men något färre, se tabell 10.

I analysen har en vägtunnel med 0% lutning beräknats som en referens till de som lutar. I scenariot har vägtunneln trafikanter i kön uppströms branden och i scenariot med 100 MW omkommer 3 personer i samtliga scenarier. De omkomna i dessa scenarier tillhör kategorin utrymmande med sämre förmåga att röra sig.

Tabell 10. Sammanställning av beräkningsresultat från konsekvensanalysen, tabellen redovisar antalet omkomna i förhållande till brandstorlek och antal bussar samt antalet bussar.

Brand	Tunneldel lutning i tunnel	Antal personer i bussar och totalt antal i tunneln				
		Ingen buss, totalt 50 pers.	8 pers buss, totalt 58 pers.	15 pers buss, totalt 65 pers.	95 pers buss, totalt 145 pers	2 bussar, 190 pers, totalt 254
100 MW	-3 %nedförslutning	39	47	54	134	241
	+3 % uppförslutning	0	0	0	0	0
	0% ingen lutning	3	3	3	3	3
30 MW	-3 %nedförslutning	12	20	23	96	179
	+3 % uppförslutning	0	0	0	0	0
	0% ingen lutning	0	0	0	0	0
6 MW	-3 %nedförslutning	-*	-*	-*	-*	-*
	+3 % uppförslutning	-*	-*	-*	-*	-*
	0% ingen lutning	-*	-*	-*	-*	-*

* Eftersom inga konsekvenser påverkar utrymmande i scenarier med 30 MW bedöms det heller inte finnas påverkan vid 6 MW.

Vid bedömning av konsekvenser kopplade till scenarier i felträdet används konsekvenserna ovan, men i vissa fall med påslag, i de fall tunneln inte stänger är kön ca 20 % längre, pga detta läggs 20 % flera omkomna på resultatet vilket är att betäckna som konservativt. I de fall två bussar förekommer nattetid och dagtid har bedömningen gjorts att de personer som finns i tillkommande buss (den andra bussen) omkommer i samma utsträckning som i buss 1, den som simulerats.

Utifrån konsekvensanalysen kan dels konstateras att brand i tunnel där lutningen är nedför -3% kommer brandgaser spridas mot de trafikanter som är i kön bakom branden, dels styrs skadefallet av hur många trafikanter de finns i tunneln vid scenarier med -3% framförallt med avseende på hur många bussar det är i vägtunneln.

Lutning i uppførsbacke + 3% eller tunnel med 0% lutning ger signifikant mindre utfall av omkomna.

Konsekvensanalysen finns redovisad i sin helhet i Bilaga C.

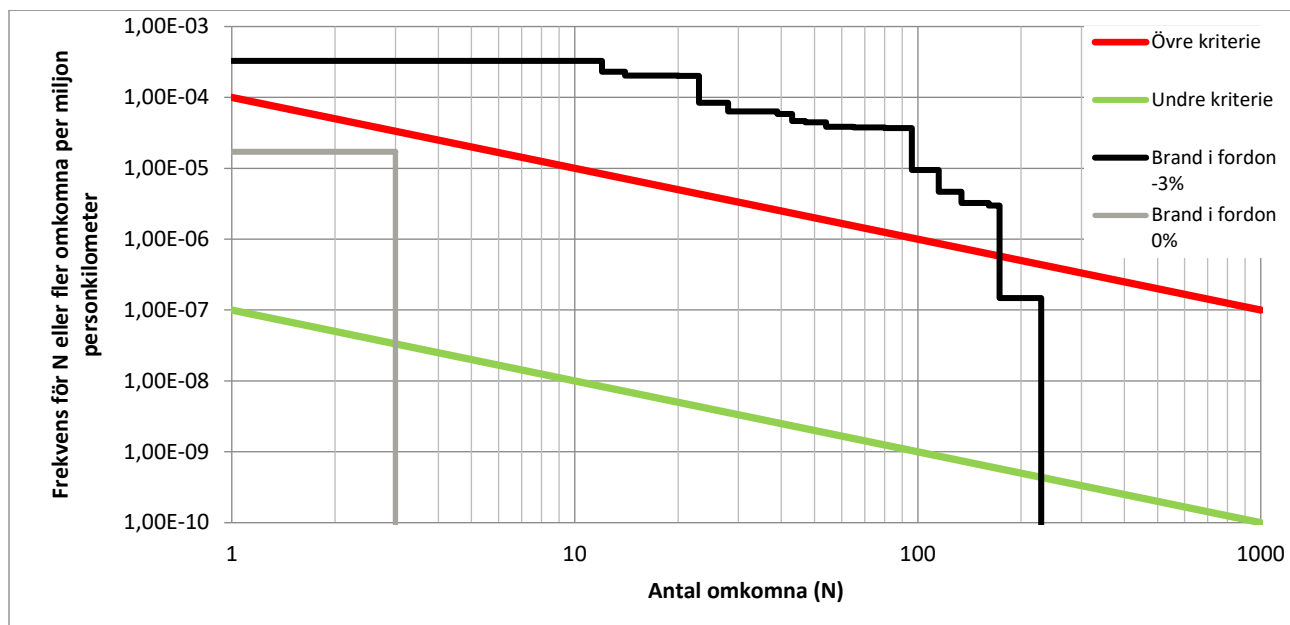
9 RESULTAT

Resultatet av uppskattade och beräknade frekvenser samt beräknade konsekvenser redovisas i ett F/N-diagram. I F/N diagrammet visas hur många personer som kan förväntas omkomma i tunnelsystemet med en viss frekvens.

För att värdera risken används kriterier fastställda i TSFS 2019:93. Kriterierna i föreskriften gäller för en miljon fordonskilometer. Eftersom denna tunnel har ett uppskattat trafikarbete på 4 miljoner fordonskilometer per år har kurvorna normerats ned avseende på detta samt ned avseende på antal trafikanter per fordon som beräknats till 1,6 personer (1,6 personer per fordon är framräknat med hjälp av tabell 3 samt att medelvärde på personer i buss över dygnet). Det övre och undre kriteriet visas med röd respektive grön linje i diagrammet. Brand i fordon -3% avser Bastunnel 400 med en nedförslutning om -3% och kurva för +3% redovisas inte eftersom konsekvenserna inte ger några omkomna varpå risknivån är noll. Referens tunneln med 0% lutning har en risknivå som redovisas i kurva Brand i fordon 0%. Då risknivån med 1 % bussar är så pass hög för lutning -3% och lutning 0% är utanför kriteriet görs bedömningen att variation av andel bussar ej är nödvändig att genomföra eftersom justeringen endast påverkar frekvensen och i så fall flyttar risknivån uppåt.

Kurvorna är framtagna med ett ÅDT om 15 000 fordon i vardera tunnelröret, dvs trafikarbetet i redovisade kurvor gäller endast ena riktningen 2 miljonerfordonskilometer. TSFS 2019:93 har dock kravet att, "En tunnel ska vara så utformad att säkerhetsnivån uttryckt i ett F/N-diagram inte överskrider en övre acceptansnivå med en fiktiv startpunkt $F=1 \times 10^{-4}$ omkomna per miljon personkilometer vid $N=1$ och lutning -1.", dvs kravnivån gäller båda riktningarna. Efter som riskbidraget från +3% tunneln är noll gäller därmed kurva i detta fall båda tunnelrören dvs hela vägtunneln.

Resultatet av genomförda beräkningar visas i Figur 3.



Figur 3. F/N-kurva för grundberäkning.

Resultatet av beräkningarna för en vägtunnel med nedförslutning -3% visar att risknivån i tunnelsystemet ligger över acceptansnivån vilket innebär att utformningen inte kan accepteras. Analysen visar att Bastunnel 400 utan mekanisk ventilation och -3 % leder till att den kö som byggs

upp bakom en olycksplats kommer drabbas av brandens konsekvenser varpå oacceptabelt många personer omkommer.

Tunnel utan lutning 0%, har en risknivå som tangerar gränsen för "Fåtal omkomna" dvs 3 personer. Analysen visar att Bastunnel 400 inte bör tillåta nedåtlutning i trafikriktningen i tunnelns längd. Vägtunnlar med uppförslutning upp till +3% kan däremot tillåtas. I aktuellt fall skulle detta innebära höjdskillnader mellan de två tunnelrör vid mynningarna om mitten där utrymningsvägen var i samma nivå.

Om olycksscenarioer med fler än två bussar närvarande i tunnelröret då olyckan inträffar skulle ha beaktats i beräkningarna skulle den borte delen av F/N-kurvan (vid stora konsekvenser) förflyttas längre bort på x-axeln, men sjunka på y-axeln. Risknivån hade därmed fallit av mer mot 300 på x-axeln när frekvensen på y-axeln blivit något lägre. Risknivån hade i stort legat på samma nivå som i figur 3.

10 KÄNSLIGHETSANALYSER

För att analysera resultatets robusthet har en känslighetsanalys utförts avseende förekomsten av gasdrivna fordon i tunneln och på frekvensen av brand i fordon samt förekomsten av bussar i tunneln. Förekomsten av gasdrivna fordon är osäker och har valts ut då dess fordon baseras på antaganden och att underlaget är osäkert samt att de bedöms kunna ha betydande påverkan på risknivån.

10.1 GASDRIVNA FORDON

Utifrån studerade rapporter, se även Bilaga B för en mer utförlig beskrivning av dessa, kan det konstateras att beräkningar av konsekvenserna vid olika scenarier med gasdrivna fordon skiljer sig åt. Förutsättningarna i beräkningarna skiljer sig åt. I vissa fall har man exempelvis satt in trafik/fordon i tunnel varpå trycket ökar och ibland utan trafik. Nedan sammanställs de olika beräkningarna i intervall. I samtliga fall är de genomförda beräkningarna gjorda på en konsekvens, t.ex. att en gasflaska får ruptur, dock är inte följderna och påverkan på de andra flaskorna medtagna, eller att en brand eskalerar och hur dessa konsekvenser utvecklas. Kombinationen av konsekvenserna av brand och explosion behöver antas för att skatta hur många personer som inte bedöms kunna genomföra en utrymning, d.v.s. omkommer.

Explosion utgör både konsekvensen av en detonation och/eller en deflagration. Vätgas är mer troligt att den detonerar och CNG/fordonsgas mer troligt att den leder till en deflagration. Explosionstrycket i genomgången litteratur är i storleksordning med kravställning i TRVINFRA tabell K8.7 eller lägre d.v.s. 100 kPa. Varaktigheten är dock högre, vilket kan påverka dimensioneringen av tunnlar om gasdrivna fordon ska utgöra en dimensionerande förutsättning.

Tabell 11. Uppskattade konsekvenser avseende olycka med gasfordon.

ID	Typ av olyckskonsekvens	Konsekvens
1	Tryckupbyggnad tankruptur, utan förbränning vätgas och CNG	7–25 kPa övertryck
2	Eldklot, förbränning av CNG	10–45 m riskzon
3	Explosion CNG	4–10 kPa, 250 ms
4	Explosion vätgas	40 – 80 kPa
5	Jetflamma CNG/vätgas	18-37 m riskzon

För konsekvensuppskattning av olyckor med gasdrivna fordon görs en sammanvägning av olyckor med både fordonsgas/CNG och vätgas trots att de har olika konsekvenser och speciellt avseende explosioner. Osäkerheterna är stora och även om personer i tunneln i många scenarier bedöms utsättas för värden under tröskelvärden för personskada på grund av tryckvåg kan konsekvenserna av brand- och brandgaser i kombination med tryckvåg/övertryck som leder till, t ex öron ruptur, att personer träffas av projektiler/splitter samt sannolikhet för att bli omkull- eller iväg kastad, inte bedömas mer än övergripande. Vid en olycka t.ex. i buss med flera tankar där en exploderar blir förloppen troligen mycket olika med omfattande efterföljande konsekvenser i olika kombinationer beroende på olika förutsättningar, t.ex. påverkan på fordon i närhet, vilket också bidrar till mycket osäkerheter, konsekvenser av efterföljande brand, skador på och konsekvenser av andra gasflaskor som involveras etc.

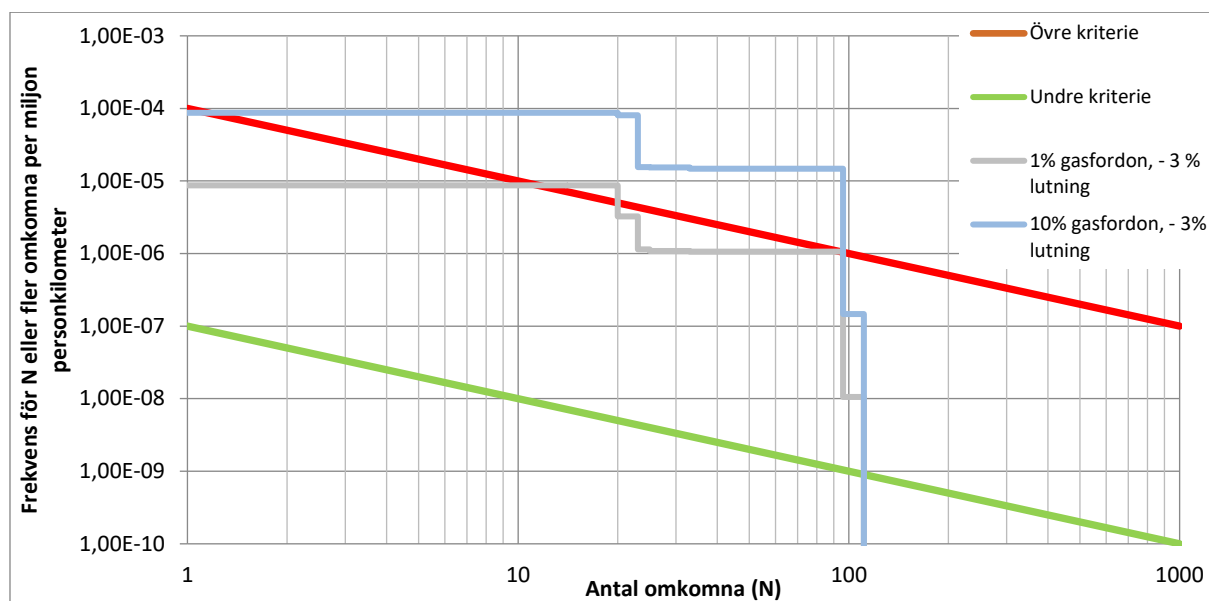
Vid en olycka med gasfordon med konsekvenser likt de genomgångna antas därför följande:

- Direkt antändning antas ske i 99 % av utsläppen. Det ger att sannolikheten för fördröjd antändning skattas till 1 %.

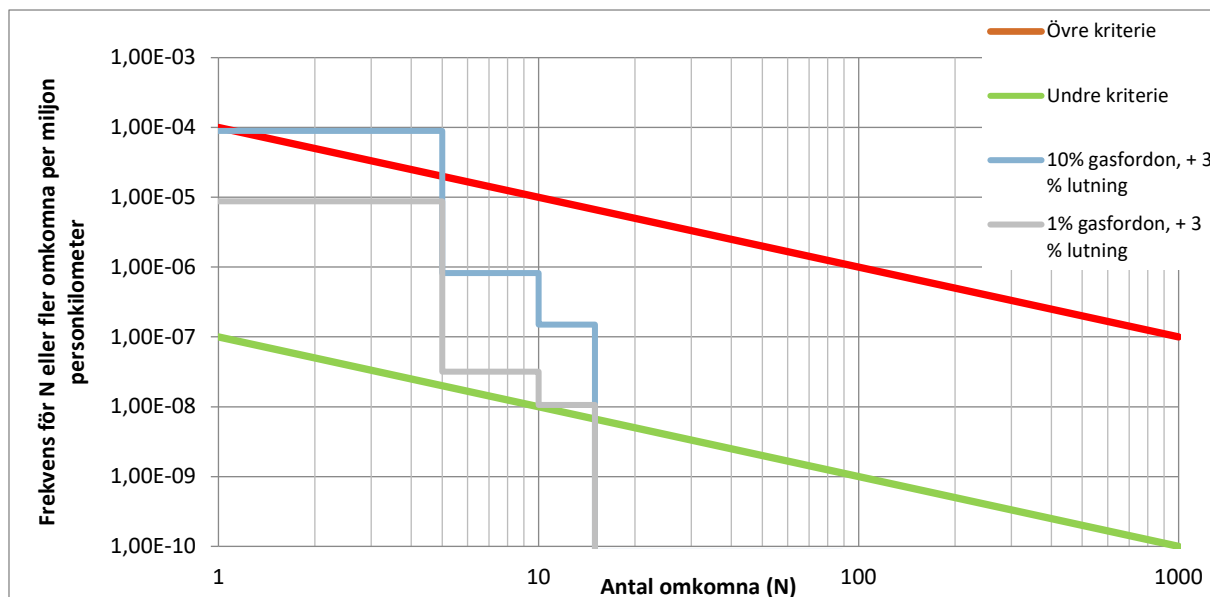
- Alla fordon med gasdrift antas vara vätgasfordon (utifrån olika miljömål).
 - Vätgasfordonen antas ge en tryckvåg vid explosion som skapar ett övertryck om 60 kPa i tunneln utifrån att alla fordon inte är fulltankade. Antagandet ligger i överkant av ett medelvärde av intervallet. Konsekvenserna leder till, öron ruptur, svåra skador på trafikanter, hjärnskador t.ex. att trafikanter kastas i väg, splitter, försvårad utrymning då dörrar i utrymningsväg kan skadas och blir svåra att öppna mm.
 - I explosionens närzon är tycket högt, stor risk för splitter m.m. varpå alla trafikanter inom 50 m antas omkomma omedelbart.
 - Tryckvåg från tankruptur utan antändning av gas antas vara inkluderad i risken för tryckvåg med förbränning d.v.s. vätgas antas alltid skapa gasmolnsexplosion då tändenergin är låg och en tunnel med fordon och installationer utgör tänkbara tändkällor.
 - Eldklot bedöms inte skapas utifrån att vätgas troligen exploderar/detonerar på grund av den låga tändenergin.
- Sammantaget antas konsekvenserna av olycka med explosion ge ett värde på antalet omkomna trafikanter i vägtunneln om ca 70 % av populationen i tunneln, 0,7 x populationen som är i tunneln bedöms omkomma: [min, trolig, max] [14, 89, 177]. Antagandet utgår från att brand troligen uppkommer efter explosionen och att antalet omkomna därmed bör överstiga de som dör vid en 30 MW brand. Antagandet är mycket grovt och osäkerheterna stora.
- Persontätheten i ett tunnelrör vid momentan ruptur antas utgöras av:
 - Persontätheten i tunneln vid full kö uppströms branden = max 254 trafikanter, rusning.
 - Persontätheten i tunneln med halva kötätheten = trolig 127 trafikanter, dagtid.
 - Persontätheten i tunnel med lågtrafik = min 20 trafikanter, natttid.
- 99,99 % av olyckor med explosion bedöms inträffa till följd av brand d.v.s. efter ca 15 min, d.v.s. riskbidraget bedöms utgöras till största del av en 30 MW brand.
- 0,01 % pga felfrekvens på flaska eller pga krockvåld som leder till momentan ruptur. Felfrekvensen för trycksatta flaskor är ca $5E-7$ och utgör en delmängd i 0,01 %. [16]
- Konsekvenserna av en jetflamma förväntas vara i storleksordning densamma som för en brand med 30 MW. Antagandet bygger på följande:
 - Jetflamma initieras troligen via brandförlopp, d.v.s. utrymning är redan påbörjad från konsekvensområdet. Detta stämmer dock inte i de fall då TPRD (Thermal Pressure Relief Device, en typ av smältsäkring) felfungerar och släpper ut gas som antänder. Jetflamma antas utgöra ca 99 % av totala mängden utsläpp av gas. Resterande del antas utgöra explosion, se ovan.
 - Jetflamma vid olycka antas i medelvärde bli ca 15 m för bussar.
 - Jetflamma vid olycka med personbilar antas bli ca 2 m. Scenarier med personbilar antas vara inkluderade i personbilsbränderna i grundberäkningen ca 6 MW.
 - Innan smältsäkringar/TPRD aktiveras har troligen mellan 5 – 10 min förflutit i de flesta fall.

- Utsläpp via smältsäkringar/TPRD utan brand bedöms leda till antändning med jetflamma. Varpå omgivning troligen påverkas men att passagerare i bussen kan utrymma innan bussen antänder.
- I jetflammans närzon antas ca [5, 10, 15] personer omkommer initialt vid momentan antändning för bussar.
- Andelen fordon med gas som drivmedel ansätts till 1-10%.
- För olyckor som sker i uppförslutning görs följande antagande:
 - Vid explosion: fördröjd antändning efter 15 min ger inga omkomna.
 - Vid explosion: direkt antändning, som för nedförslutning, se ovan.
 - Vid jetflamma: fördröjd antändning 5-10 min ger inga omkomna.
 - Vid jetflamma direkt antändning, endast döda i närzonen [5, 10, 15].

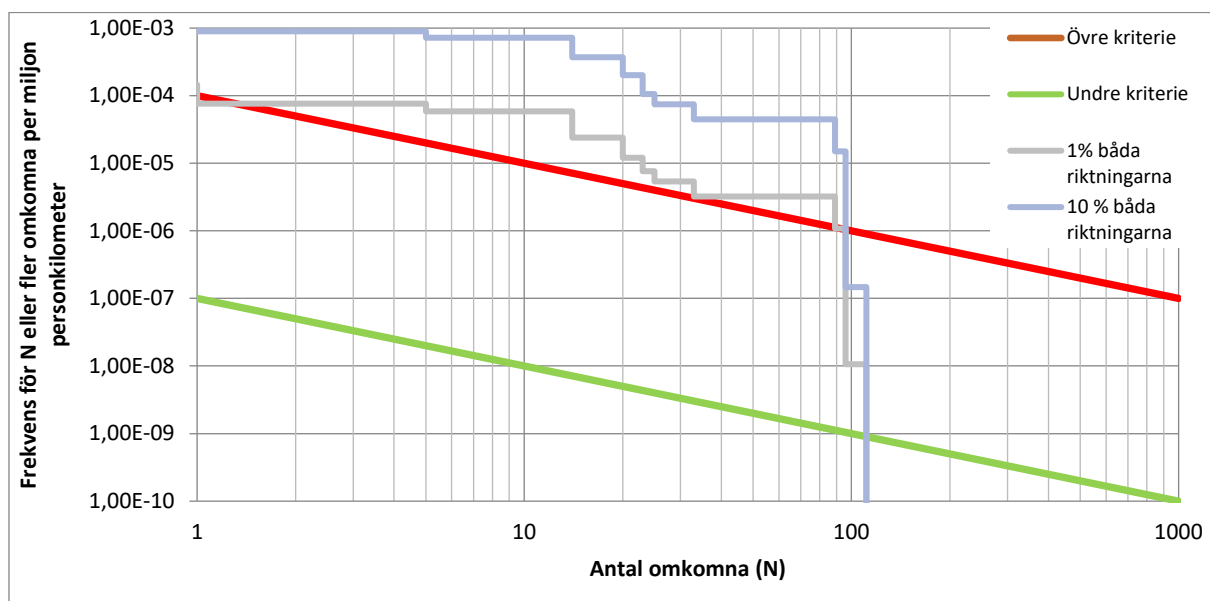
Resultatet för gasdrivna fordon redovisas medan utan påslag från Brand i fordon. Beräkningarna visar på likande problem med att brandgaser sprids mot trafikriktningen och påverkar trafikanter som är i kön uppströms olycksplatsen.



Figur 4: Känslighetsanalys med avseende på gasfordon, vägtunnel med medlutning -3 %.



Figur 5: Känslighetsanalys med avseende på gasfordon, vägtunnel med motlutning +3 %.



Figur 6: Känslighetsanalys med avseende på gasfordon, vägtunnel båda riktningar dvs +/-3 % lutning.

Resultat av känslighetsanalysen visar att gasdrivna fordon har betydande bidrag till risknivån i vägtunneln. Det råder stora osäkerheter kring hur stor andel av fordonen i framtiden som kommer att drivas av fordonsgas. I fallet med 1 % av fordon som drivs med fordonsgas/vätgas överstiger risknivån det övre acceptanskriteriet för hela tunneln, dvs båda riktningarna. Med större andel av fordon som har gasdrift utgör risken för att flera fordon med gas involveras i samman olycka d.v.s. flera olika fordon kan komma att involveras och ge de konsekvenser som beskrivits ovan i serie/eller samtidigt. Detta utgör en stor utmaning för räddningstjänsten då det blir svårt att genomföra en insats för att häva konsekvenserna och samtidigt ha en arbetsmiljö som är acceptabel.

Om scenario utsläpp som leder till explosion kan elimineras, eller mer troligt att en andel flyttas över på konsekvensen jetflamma, sjunker risknivån signifikant. Vätgas bedöms då den är lättantändlig

riskreducera sig själv i viss bemärkelse då den troligen antänder direkt vid utsläpp. Detta kan dock leda till snabba brandförlopp i fordon nära antändningskällan.

Kärlsprängning vid kollision eller vid tekniskt fel påverkas dock inte utan ger omfattande konsekvenser. Vid en större andel fordon med CNG/fordonsgas kan konsekvensen av gasmolnexplosion bli större, dock är brännbarhetsområdet för CNG/fordonsgas mycket mindre än för vätgas. Om luftomsättningen i tunneln ökar och om den kan förväntas vara hög minskar sannolikheten ytterligare för att gasen ska vara inom brännbarhetsområdet. I fallet med Bastunnel 400 förväntas inte luftomsättningen vara hög.

Genomförd känslighetsanalys avseende gasdrivna fordon är att beteckna som övergripande med grova antaganden och det finns därmed skäl till att eventuellt utföra mer detaljerade utredningar, dock är kunskapsläget avseende olyckskonsekvenser och sannolikheter för att de uppkommer i dagsläget förknippade med osäkerheter. Om vätgas/fordonsgas blir en framtida betydande andel av fordonsflottan bör de risker som dessa bidrar med analyseras djupare men då ur ett generellt perspektiv och ställningstagande eftersom riskerna är aktuella på många fler platser än i tunnlar, t.ex. kan garage i köpcentrum eller under större byggnader ge betydligt större risker.

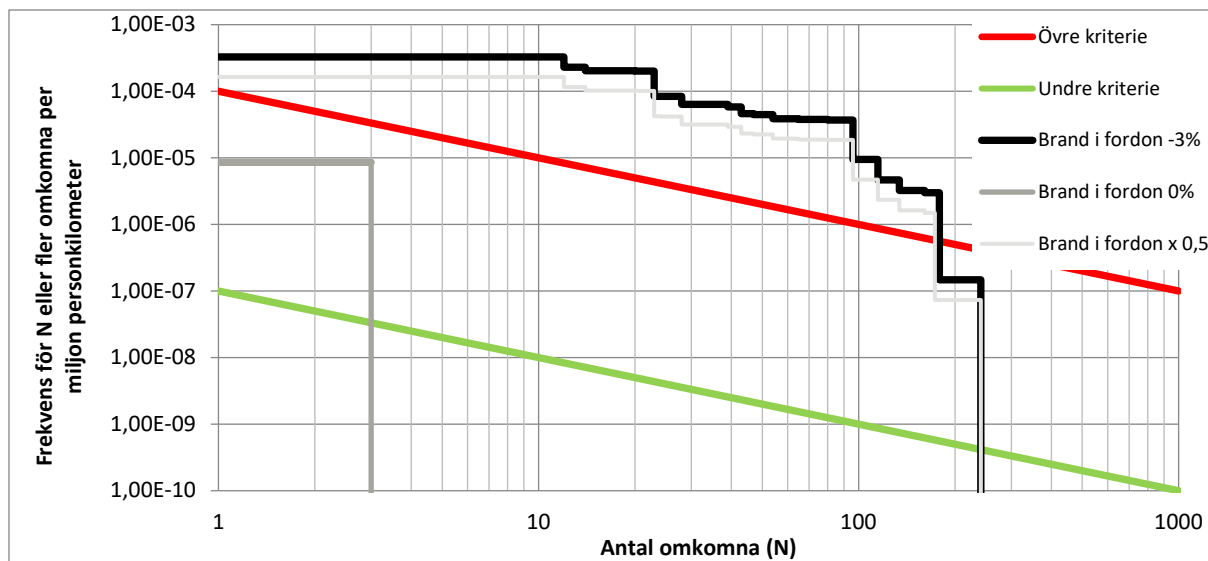
10.2 ANALYS AV INDATA

Utifrån genomförda beräkningar av brand i fordon utgör närvaro av bussar och ingångsvärdet av brand i fordon indata till analysen som påverkar risknivån signifikant. Känsligheten i dessa värden analyseras genom att ändra värdet för på så sätt se hur dessa påverkar resultatet i stort. Antagna värden ändras stort för att se hur de påverkar resultatet. Följande värden har därför testats med avseende på känsligheten i val av indata.

1. Ingångsvärde brand i fordon.
2. Mängden bussar.

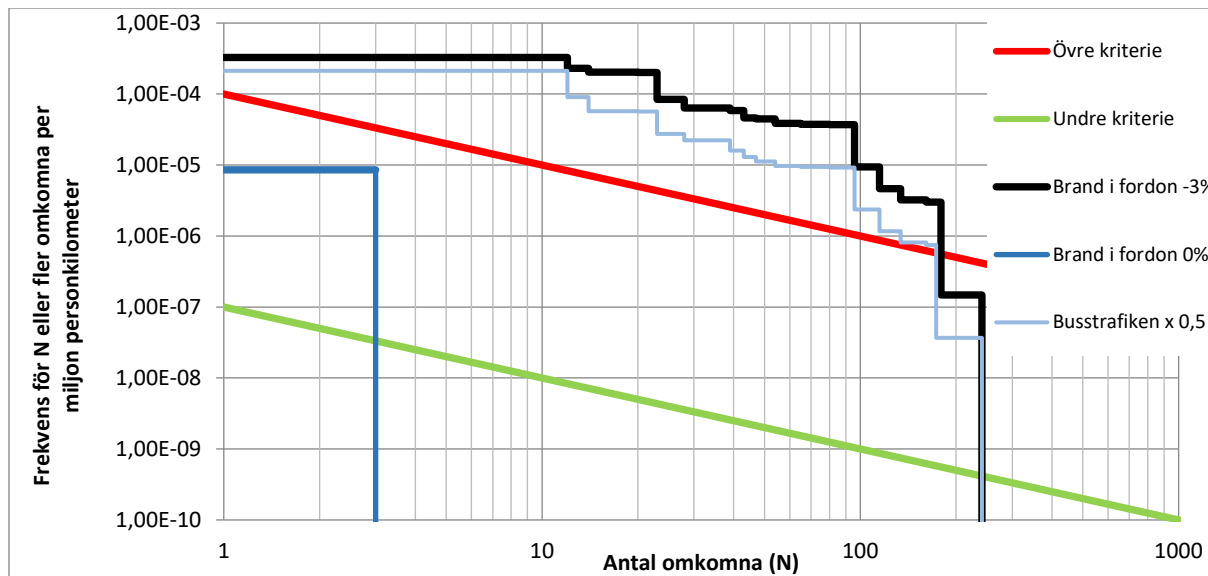
Följande resultat uppnås för dessa 2 punkter:

1. Ingångsvärdet brand i fordon, vid en halvering av ingångsvärdet förflyttar sig risknivå enligt nedan, riskminskning med 50 %. Förflyttningen är dock inte så pass stor att risknivån förflyttas under övre kriteriet, till ALARP området.



Figur 7: Jämförelse mellan en ingångsvärdet brand i fordon.

- Halvering av busstrafiken: en halvering av andel bussar i trafik ger en påverkan på risknivå med ca 60%.



Figur 8: Jämförelse mellan ingångsvärdet andel bussar i anläggningen.

Ovan genomförda analys av indata till händelseträdsmodellen visar på signifikant påverkan på risknivån i tunneln men inte tillräckligt stor för att påverka slutsatsen av analysen. Detta trots att extremvärden valts för att testa känsligheten. Bastunnel 400 risknivå är högre än acceptable vid 3% nedförslutning, trafikanter som hamnar i kö bakom olycksplatsen påverkas av olycksscenarioernas konsekvenser. Det behövs riskreducerande åtgärder för att minska risknivån, t ex skulle mekanisk ventilation eventuellt kunna vara en lösning alternativt att utrymningsvägarna i tunneln förtätas.

11 DISKUSSION

I detta kapitel diskuteras vald analysmetod och osäkerheter som förknippas med riskbedömningen. Det är viktigt att analysera osäkerheter i en riskbedömning som avser utgöra beslutsunderlag. I kapitlet redovisas en övergripande beskrivning av osäkerheterna och slutsatser från kvantitativ osäkerhets- och känslighetsanalys avseende ingående parametrar i kap 10.

De antaganden som har gjorts i analysen har i många avseenden varit av konservativ karaktär så att risknivån inte ska underskattas. När det rör andra osäkerheter som t.ex. gasfordon är osäkerheterna större då det är mycket svårt att föreslå ett olycksförlopp.

Avslutningsvis diskuteras resultatets innebörd för behovet av riskreducerande åtgärder för en Bastunnel.

11.1 RISKBEDÖMNINGENS BERÄTTIGANDE

Riskbedömning är inte den exakta vetenskap som det vid första anblicken kan ge sken av [25]. Brist på relevanta data, behov av att göra antaganden och förenklingar, svårigheter att få fram tillförlitliga uppgifter samt mer eller mindre osäkra skattningar, som ibland bygger på varandra i flera led, tycks vara regel snarare än undantag. Detta är dock på inget sätt unikt för den aktuella analysen. Dessa svårigheter innebär också att olika riskanalyser/riskanalytiker ibland kan komma fram till motstridiga resultat p.g.a. skillnader i antaganden, metoder och/eller ingångsdata.

Varför skall det då spenderas tid och pengar på att genomföra riskanalyser om de nu är behäftade med problem som gör att de inte kan ge svar på alla frågor om riskerna i analysen? Det finns flera skäl till att systematiska riskanalyser är att föredra framför andra mer informella/intuitiva sätt att hantera den kunskapsmassa som finns beträffande risker med trafikering i vägtunnlar.

Användningen av riskanalysmetoder av den typ som tagits fram i denna analys innebär att befintlig kunskap insamlas/struktureras/sammanställs på ett systematiskt sätt och att kunskapsluckor kan identifieras. Det medför i sin tur att analysens förutsättningar kan prövas/ifrågasättas/korrigeras av oberoende analytiker/forskare/expertter och att angelägna forskningsområden kan formuleras.

En annan kanske ännu viktigare fördel med att genomföra riskanalyser är att de antaganden och värderingar som ligger till grund för olika riskuppskattningar tydliggörs. Det innebär att det bör bli lättare att undvika onödiga missförstånd vid information/diskussion/förhandling mellan beslutsfattare/transportörer/allmänhet. Riskanalyser utgör därigenom ett viktigt led i den demokratiska process som omger hantering av risker i olika projekt i samhället.

11.2 OSÄKERHETER I KVANTITATIV RISKANALYS

Osäkerheter i kvantitativa riskanalyser kan enligt *Uncertainty in Quantitative Risk Analysis* [22] i allmänhet hänföras till två fundamentala kategorier; stokastiska osäkerheter (icke reducerbara) eller kunskapsbaserade osäkerheter (reducerbara). I denna analys finns båda kategorierna representerade.

Följande indelning av osäkerheter är i praktiken mer användbar:

- Modellosäkerheter
- Fullständighetsosäkerheter
- Parameterosäkerheter

Modellosäkerheter uppkommer till följd av att en modell, konceptuell eller matematisk, oundvikligen är en förenkling av verkligheten [17]. I denna riskbedömning används ett flertal specifika modeller för kvantifiering av frekvenser och konsekvenser. Modellerna avser beskriva verkligheten i erforderlig utsträckning. De modeller som används utgör verktyg för att på ett systematiskt och transparent sätt få en uppfattning om risknivåerna och skall inte betraktas leda till annat än fingervisning om storleken på frekvenser och konsekvenser. Modellerna bedöms, trots att de är att betrakta som grova, kunna ge en bra bild av hur ett verkligt förlopp ter sig. Det bör poängteras att varje modell i sig själv förknippas med ett antal antaganden. Det statistiska underlaget som modellerna bygger på är förknippat med osäkerheter. Vad gäller händelseträdsmodellen bör nämnas att den är framtagen för denna analys och inte utgör någon verifierad modell.

Även en modell som korrekt beskriver de förhållanden den innefattar kan innehålla **fullständighetsosäkerheter**, det vill säga osäkerheter till följd av att modellen inte innehåller all relevant information [17]. Denna analys söker ta hänsyn till i princip hela spektret av konsekvenser av brand- och explosionsolyckor i anläggningen. En olycka är ofta en händelsekedja med flera händelser som leder fram till en olyckshändelse som därefter kan utveckla sig på en mängd olika sätt beroende på förutsättningarna. Antalet variationer i olycksscenarierna kan därför betraktas som oändliga, vilket gör att riskbedömningen måste begränsas till ett antal specifika scenarier som ska representera alla de händelser som kan inträffa. Trots fullständighetsosäkerheter i använda modeller bedöms analysen kunna leda till ett tillräckligt gott beslutsunderlag för dess syfte, d.v.s. att analysera vilka kombinationer av skyddsåtgärder som bedöms nödvändiga för att erhålla en acceptabel risknivå i tunneln.

Parameterosäkerheter uppkommer till följd av att indata som används i beräkningarna är behäftade med osäkerheter [17]. Osäkerheterna kan ha sin grund i att det studerade fenomenet innehåller naturlig variation (icke reducerbara, stokastiska osäkerheter) eller för att de verkliga värdena helt enkelt inte är kända (reducerbara kunskapsosäkerheter). I utförd analys finns osäkerheter som kan hänföras till båda dessa kategorier av osäkerheter. Det har gjorts flera antaganden, ibland mycket grova, där det saknats fakta och statistik om olika faktorer. Den statistik som finns gällande olycka med brand i tunnel, andelen bussar eller konsekventer av gasdrivna fordon m.m. är förknippade med osäkerheter. I denna analys har statistiska uppgifter använts, det vill säga uppgifter som redogör för en historisk situation, för att skatta en framtida situation som också innehåller naturlig variation.

Utöver nämnda osäkerhetskategorier har ett antal specifika antaganden och avgränsningar införts i konsekvensanalysen. Bland annat antas att personer som befinner sig i tunneln vid en olycka har ett beteende som antas vara rationellt ur ett tekniskt perspektiv, d.v.s. de reagerar på den fara de upplever och förstår hur de ska agera föra att sätta sig i säkerhet. Antaganden som detta bidrar också till den totala osäkerheten. För att beakta att personer utrymmer på olika signaler, synliga lågor och brandgaser, i kombination med andras agerande har trafikanterna delats in i zoner med olika varseblivningstid. De trafikanter som är närmast olyckan agerar först och får andra som kanske inte har samma uppsikt över olycksplatsen att förstå och agera. De antaganden som har gjorts är att betrakta som konservativa, se även Bilaga C.

Att kvantitativa riskbedömningar till stor del grundar sig på bedömningar och grova skattningar måste beaktas vid beslutsfattande baserat på de resultat och slutsatser som presenteras.

11.3 VALD ANALYSMETOD

Alla riskanalyser, oavsett metodik, är förenade med osäkerheter och begränsningar [17]. De antaganden och förenklingar som görs i en riskanalys är behäftade med osäkerheter. Denna riskanalys utgör inget undantag.

Händelseträdsmetodik utgör grunden för de kvantifieringar av risknivån som utförs. Händelseträdsmetodiken är ett verktyg för att på ett systematiskt sätt ta fram och illustrera olycksscenarier och deras samband. Händelseträdsmetodik ger dock i sig ett begränsat stöd och bygger i hög grad på utförarens kunskaper. Att öka upplösningen på en riskanalys kan ge ökad detaljeringsgrad på olycksscenarier men behöver dock inte minska osäkerheterna kring dessa. För att inte skapa en mycket komplex och tung analys behövs därför en överskådlig nivå sättas. I genomförd analys har ett antal typscenarier använts för att exemplifiera de bränder som kan uppkomma samt att medelvärden använts i vissa sammanhang för att analysen inte ska bli för stor och svår att överskåda. Denna hantering bedöms inte vara menlig för resultatet och de slutsatser som dras så länge inte de mindre allvariga och mer allvarliga inom detta spann för medelvärdet glöms bort vid analysen av resultatet och val av riskreducerande åtgärder. I analys har t.ex. andelen gasfordon och de konsekvenser som dessa kan generera vid en olycka behövt hållas på en övergripande nivå då osäkerheterna och den forskning samt statistik kring dessa olyckor i dagsläget är förhållandevis liten.

I riskbedömningen kvantifieras frekvenser och sannolikheter samt konsekvenser för händelser som kan inträffa i Bastunnel 400 som är kopplade till framför allt olyckor med brand i fordon. Händelserna är av olika karaktär. Dels finns det scenarier som förväntas ske relativt sällan (eller i praktiken inte alls). Om dessa inträffar kan det leda till allvarliga eller till och med extremt allvarliga konsekvenser, ett exempel på detta är om 10-tals bussar samtidigt är i tunnel då det börjar brinna i en lastbil. Dels finns det scenarier som förväntas inträffa relativt ofta men i stället har betydligt lindrigare konsekvenser. Analyser av händelser med den förstnämnda karaktäristiken är alltid behäftade med stora osäkerheter vad avser uppskattning av framför allt förväntad frekvens, men också förväntad konsekvens. Denna riskbedömning behandlar olyckshändelser som styrs av händelsekedjor och förlopp som kan vara mycket svåra att prediktera och som i mångt och mycket, och i praktiken, styrs av tillfälligheter som exempelvis enskilda trafikanters beteende eller en trafikoperatörs handlingar. Även om händelseträden ämnar ta hänsyn till ett stort antal olika scenarier, finns det ingen möjlighet att täcka in *samtliga*. Därmed beskriver även omfattande händelseträdd endast en grovt förenklad bild av verkligheten. Olyckor med brand inträffar på vägnätet och vissa av dessa förvärras inte av tillkomsten av en vägtunnel andra gör det, den sistnämnda ska hanteras till en acceptabel nivå inom en tunnel med riskreducerande åtgärder.

Sammantaget betyder detta att aktuell riskbedömning är behäftad med många och relativt stora osäkerhetsfaktorer. Detta kan sägas vara en naturlig följd av att det i riskbedömningen beskrivs en framtida riskbild för en i nuläget icke existerande anläggning baserat på en kombination av dagens kunskapsnivå och historiska data. Av denna anledning har genomgående konservativa antaganden gjorts och resultatets känslighet för variationer i olika indata testats i känslighetsanalyserna i kapitel 10. Slutsatsen av känslighetsanalysen är att tunnlar med nedåtlutning har en högre risknivå vilket behöver utredas i en riskbedömning och att slutsatsen är oberoende extrema variationer på indata till antal bussar och ingångsvärdet brand i fordon. Förekomsten av gasdrivna fordon är osäker och en mindre mängd 1 % ligger inom ALARP och bör därmed utredas.

11.4 BASTUNNEL OCH VÄGTUNNELS LUTNING

Inom ramen för analysen har krav i TSFS 2019:93 testats t ex maximal lutning. Bastunnel 400 är tänkt att vara en enkelt utrustad tunnel utan särskilda säkerhetssystem t ex saknar vägtunneln fläktar för miljöventilation och brandgasventilation. Med lutningen 3% sprids brandgaser mestadels i den riktning tunneln lutar. I de fall olyckan sker i en nedförslutning och att trafik anlöper tunneln och olycksplatsen och därmed hamnar i kö bakom olycksplatsen blir trafikanterna i denna del påverkade av olyckas konsekvenser. Eftersom trafikflödet är relativt högt, ÅDT 15 000, kommer kö uppstå bakom olyckan i princip vid varje olyckstillfälle. Dessa trafikanter blir därav oskyddade och behöver utrymma skyndsamt. Korta vägtunnlar, 100-500 m, med lutning bör därför hanteras som en speciell utformning dvs vägtunneln säkerhetsåtgärder ska värderas mot en samlad bedömning där tunnelns säkerhetsåtgärder fastställs och värderas mot acceptanskriterierna i nämnda föreskrift.

11.5 BASTUNNELN OCH TRAFIKFLÖDET

ÅDT 15 000 har varit en av förutsättningarna mot bakgrund att TRVINFRA 00233 har denna som gräns mellan tunnelklasser, maximalt flöde för TC tunnelklass. ÅDT 15 000 i vardera riktning är en relativt vältrafikerad anläggning där det varje minut passerar ca 10 bilar vid jämn fördelning över dygnet ($24 \times 60 = 1440$, $15000/1440 = 10,4$) i vardera riktning. Detta innebär troligen att under dagtid är det betydligt fler fordon per minut och på natten färre. Trafikflödet och kopplingen mot risknivå bör utredas mer än vad som gjorts i denna analys med avseende på köbildning och krav bör utformas så de går att verifiera, framför allt kopplingen mellan köbildning och trafikflödet. ÅDT svarar inte på hur dygnsvariationer ser ut för en viss vägsträcka dvs under rusningstimmarna på en specifik väg kan flödet nå sitt max vilket resulterar i sänkt hastighet och sedan stop and go köer alt långsamtgående trafik.

11.6 BUSSENS PLACERING I SIMULERINGARNA

Genomförd konsekvensanalys visar att riskbidraget från bussar är signifikant del av den totala risknivån för tunneln vid de olyckor som analyserats. Antalet personer i en tunneldel med buss om ca 25 m tunneldel kan innehålla ca 8 -100 personer jämfört med om bilar tar upp samma sträcka ca 3-4 personer eller en lastbil 1 person. Beroende på var en eller flera bussar i förhållande till en brand befinner sig kan vara avgörande. I genomförd analys har fordonet som brinner blockerat utrymningsvägen mitt i tunneln. Detta gör att trafikanter behöver ta sig som mest 200 m till mynningen för att genomföra utrymningen. En förtätning av utrymningsvägar skulle kunna varit en lösning men detta bör hanteras inom ramen för en samlad bedömning för tunnlar som lutar. Utrymningen är tillfyllest för Bastunnel 400 som inte har en lutning eller för tunnlar som har en uppförslutning i trafikriktningen.

12 SLUTSATS

En systematisk bedömning av tunnelsystemets samtliga aspekter enligt föreskrift om säkerhet i vägtunnlar, TSFS 2019:93, visar att Bastunnel 400 har en hög risknivå och därmed bör nedförslutning i kombination med att ingen mekanisk ventilation finns i vägtunneln anses vara en speciell utformning, se nedan.

Resultatet från riskbedömningen visar tydligt att riskbidraget kommer från att trafikanter som anländer till olycksplatsen dvs uppströms olyckan i trafikriktningen påverkas av brandgaser. Eftersom tunneln har ett högt trafikflöde kommer kö uppstå i denna del och därmed påverkas trafikanterna av konsekvenserna av en brand, dvs brandgaser. Riskreducerande åtgärder är inte utredda inom ramen för uppdraget.

För tunnlar med aktuell utformning, Bastunnel 400, som projekteras utan lutning eller är i en uppförslutning i trafikriktningen bedöms risknivå vara acceptabel, dvs dessa bör kunna utföras med en Basstandard i enlighet med dessa förutsättningar:

- Trafikmängd ÅDT 15 000, för tunnlar upp till 400 m.

Basstandard kan inte appliceras på en tunnel som är mellan 100-500 m lång om speciell utformning eller speciella förutsättningar enligt nedan förekommer:

- Speciell utformning
 - Påfarter eller avfarter inne i tunneln eller invid tunnelmynningarna (här kan 10 s regeln användas som gränsvärde)
 - Dubbelriktad trafik i samma tunnelrör
 - Längslutningar: 0 % för nedförslutning och 3% för tunnlar med uppförslutning, beräknad i enlighet med TSFS 2019:93 kap 3 § 7-8.
 - Horisontell linjeföring som medför att vägtunneln ej är överblickbar. Tunneln anses vara överblickbar när mynningarna kan ses från respektive mynning.
- Speciella förutsättningar
 - Trafikmängd över 15 000 för tunnlar upp till 400 m
 - Förekomst av tät köbildning/trafikstockning
 - Överdäckning
 - Sänktunnel
 - Förekomsten av farligt gods i tunnlar
- Grundläggande säkerhetskrav för vägtunnlar i kapitel 4.3 ska uppfyllas, se även andra krav för tunnlar mellan 401-500 m i rapport [1].

Mot bakgrund av omfattningen av denna analys, Bastunnel 400, är det förknippat med vissa osäkerheter att dra slutsatser kring en tunnel som är 401-500 m och har ett ÅDT om 11 250. Konsekvensberäkningarna visar dock på goda möjligheter till att risknivån i en 100 m längre tunnel än analyserad bör vara goda. Bastunnel 500 m har t ex 2 utrymningsvägar och ett lägre ÅDT.

Det finns stor del osäkerheter kring gasdrivna fordon både avseende sannolikheten för tekniska fel som ger upphov till brand och konsekvenser vid brand. Analysen visar att tunnlar med uppförslutning ger ren risknivå inom ALARP. Det är i dagsläget väldigt få fordon som har gasdrift och det är osäkert hur de framtida fordonen kommer att utformas med avseende på brand. Därav föreslås att risknivåer för gasdrivna fordon inte blir styrande med avseende på Basstandard utan att detta bevakas på annat sätt av Transportstyrelsen.

Statistiskt underlag visar på att tillgång till handbrandsläckare reducerar risken för större bränder stort varpå de bedöms nödvändiga och i sammanhanget utgör en mindre kostnad.

Beräkningarna i Bilaga C visar att rökasskärmar i mynningarna som är 25 m långa stoppar effektivt att brandgaser inte sprids mellan tunnelrören vid mynning.

Det kan konstateras att tunneln utgör en ur riskperspektiv komplex tunnel samt att risknivån är god om förutsättningarna för Basstandard följs.

Sammantaget bedöms analyserat säkerhetskoncept med ingående riskreducerande system enligt ovan ge en säkerhetsnivå som uppfyller kraven i gällande lagstiftning och krav för vägtunnlar 100-500 m för driftskedet.

Bilaga A. REFERENSER

- [1] S. L. G. Nygren, "Riskanalysmetod & Basstandard, underlag till revidering av föreskrift 2019:93," Stockholm, 2023.
- [2] S. L. G. Nygren, "Kriterier och gränsvärden vid utrymning av vägtunnlar, Delutredning 2," Stockholm, 2023.
- [3] Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola (LTH), "Brandskyddshandboken #7," 2022.
- [4] Boverket, "Riskanalysmetoder – Delprojekt 2.2, bilaga till regeringsuppdrag Personsäkerhet i tunnlar," 2005.
- [5] IEC, *International Standard 60300-3-9*, Geneva: International Electrotechnical Commission, 1995.
- [6] ISO, *Risk management - Vocabulary*, Geneva: International Organization for Standardization, 2002.
- [7] Transportstyrelsen, "Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar m.m, TSFS 2019:93," Transportstyrelsen, 2022.
- [8] Stockholmstad, "Miljöbarometern," Miljöbarometern, Stockholm, 2016. [Online]. Available: https://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/trafik/SL_och_lanet_2016.pdf.
- [9] MSB, *Elektriska fordon och räddning: En inhämtning av erfarenheter från fältet och rekommenderade arbetssätt*, 2020.
- [10] Stockholms stad, "Klimat och miljö," 25 Augusti 2022. [Online]. Available: <https://start.stockholm/om-stockholms-stad/sa-arbetar-staden/klimat-och-miljo/>. [Använd 06 10 2022].
- [11] Räddningsverket, *Handbok för riskanalys*, 2003.
- [12] Räddningsverket, *Räddningsinsatser i vägtunnlar*, Karlstad: Avdelningen för stöd till räddningsinsatser, 2005.
- [13] Centre d'Études des Tunnels (Tunnel Study Centre), *Guide to Road Tunnel Safety Documentation Booklet 4: Specific Hazard Investigations*, 2003.
- [14] PIARC, "Fire and Smoke Control in Road Tunnels," PIARC - World Road Association, Cedex, 1999.
- [15] PIARC, "Experience with Significant Incidents in Road Tunnels 2016R35," PIARC World Road Association, Cedex, 2016.
- [16] Committee for the prevention of disasters. CPR 18E, *Guideline for quantitative risk assessment, purple book*, The Netherlands, 1992.
- [17] H. Johansson, "Osäkerheter i variabler vid riskanalyser och brandteknisk dimensionering, rapport 3105," Lund, 1999.

- [18] V. Molkov, "Hydrogen vehicles safety in underground traffic infrastructure: overview of HyTunnel-CS," i *ISTSS*, Ulster, Northern Ireland, UK , 20023.
- [19] AGA Gas, *Säkerhetsdatablad för biogas, rev 1*, 2008-02-04.
- [20] NASA - Glenn Research Center, *Glenn Safety Manual, Chapter 6: Hydrogen w/Change 1 (5/11/2021)*, 2019-11-15.
- [21] Trafikanalys, "Vägtrafik," [Online]. Available: <https://www.trafa.se/vagtrafik/>. [Använd 06 10 2022].
- [22] M. Runefors, "Zonindelning vid räddningsinsatser mot fordon med alternativa bränslen," Lunds Tekniska Högskola, 2020.
- [23] Volodymyr Shentsov, Dmitriy Makarov & Vladimir Molkov, *Blast Wave after Hydrogen Storage Tank Rupture in a Tunnel Fire*, Newtownabbey, UK: Hydrogen Safety Engineering and Research Centre (HySAFER), Ulster University, 2018.
- [24] J. Hellsten, G. Nygren, *C4-PM-800-0902_bilaga 1, Slussens detaljplan*, WSP, 2016.
- [25] Jonatan Gehandler & Anders Lönnermark, *CNG vehicle containers exposed to local fires*, RISE , 2019.
- [26] V. Molkov, "Fundamentals of Hydrogen Safety Engineering I," 2012. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00418-2>.
- [27] L. Svensson, *Människans tålighet mot luftstöt vågor*, FOI-R--3905—SE, FOI, 2015.
- [28] FOI, *Fortifikationshandboken*, FOI, 1991.
- [29] S. Lamnevik , *Konsekvensanalys explosioner*, 2004.

Bilaga B. GASDRIVNA FORDON

Det har under flertal år pågått en debatt i samhället avseende att ersätta fossila bränslen mot mer förnybara. Flera alternativ till fossila bränslen har tagits fram, ett av alternativen är fordonsgas som t.ex. Trafikförvaltningen (SL) använder på ett stort antal bussar i Stockholm. Ett annat är el-drivna fordon, där antalet stadigt ökar, även avseende tyngre fordon som t.ex. bussar. Det har under de senaste åren också blivit mer vanligt att vätgas används som drivmedel och det finns planer att vätgasdrivna bussar kommer att introduceras inom t ex Trafikförvaltningens verksamhet i Stockholm men även på andra håll i landet.

Det råder mycket stora osäkerheter avseende hur stora volymer av en framtida trafik som kommer att utgöra gasdrift. Både avseende busstrafik och andra fordon, vilket drivmedel som används, t.ex. fordonsgas och vätgas, och i synnerlighet avseende vätgas som är ett relativt nytt drivmedel. Det finns mycket som pekar mot att el-drivna fordon kommer vara dominerande i en nära framtid men att vätgas, bränsleceller, kan vara ett alternativt drivmedel. Fordonsgas är ett etablerat drivmedel men framför allt avseende bussar i linjetrafik. Trafikförvaltningen i Stockholm har inget officiellt uttalande avseende hur de ser på drivmedelsfrågan i framtiden. Det finns dock viss indikation som pekar på att de i en framtid bedömer att el-/batteridrivna bussar kommer vara den stora majoriteten av bussar men att en del eventuellt kan utgöras av vätgasdrivna bussar. Fram för allt bussar som trafikerar längre sträckor.

Denna analys utgår från litteraturstudie och genomförda försök på gastankar. Analysen som utförs bygger delvis också på den analys som gjordes i samband med Slussens nya bussterminal i Stockholm med avseende på scenarier och sannolikhetsbedömningar. Avgränsningen görs med hänsyn till de osäkerheter som finns vid en eventuell framtida trafikering av dessa bränsleformer. Det sker också en del teknikutveckling avseende säkerheten kring vätgasdrivna fordon och t ex trycksatta tankar varpå scenarier som beskrivs nedan eventuellt kan vara förebyggda med hjälp av teknikutveckling av tankar. Ett exempel är utformningen av trycksatta tankar, där forskning pågår med tankar som tryckavlastar genom tankens väggar och därmed släpper igenom mindre mängder gas så att varken jetflamma eller explosion uppstår. [18]

B.1 OLYCKSSCENARIER MED GASDRIVNA FORDON

Utifrån att det finns stora osäkerheter kring både hur vanligt förekommande gasdrivna fordon kommer att vara i trafiken, och speciellt avseende hur busstrafikering sker i en anläggning, görs i denna riskanalys en mer övergripande analys av dessa fordon. Analysen beaktar osäkerheter både avseende den trafikvolym som utgörs av gasdrivna fordon samt de konsekvenser som en olycka kan leda till. I detta kapitel görs en presentation av gasdrivna fordon och risker kopplade till fordonen.

B.2 GASFORMIGA BRÄNSLEN

Det finns flera sorters gasformiga bränslen. Denna analys avgränsas till att omfatta tryckkomprimerad fordonsgas och vätgas. Utöver dessa finns t.ex. LNG, nedkyld flytande naturgas och LH2 nedkyld flytande vätgas för att nämna några.

B.2.1 Fordonsgas

Fordonsgas kan vara såväl förnybar (biogas) som fossil (naturgas). I båda fallen är den huvudsakliga beståndsdelan metan. Den fordonsgas som driver SL:s bussar består vanligen av en blandning av naturgas och biogas där merparten är förnybar, d.v.s. biogas. I Tabell 12 och Tabell 13 anges typisk sammansättning samt fysikaliska och kemiska egenskaper för fordonsgas [19].

Tabell 12. Typisk sammansättning för fordonsgas.

Komponentnamn	Innehåll
Metan (CH ₄)	> 97 %
Koldioxid	< 2,0 %
Nitrogen	< 0,8 %
Oxygen	< 0,2 %
Svavelväte	< 0,00005 %
Tetrahydrotiofen	< 0,0010 %

Tabell 13. Typiska fysikaliska och kemiska egenskaper för biogas.

Fysikaliskt tillstånd vid 20°C	Komprimerad gas
Färg	Färglös gas
Lukt	Distinkt och otrevlig om odöriserad, annars doftlös. Luktämne (odörisering) Tetrahydrotiofen (THT)
Relativ densitet (luft=1)	Lättare än luft d.v.s. <1
Vattenlöslighet [mg/l]	Icke känd men anses ha låg löslighet
Brännbarhetsgränser [vol% i luft]	ca 5-15 % gasinblandning i luft vid markatmosfärstryck samt i det normala utom- och inomhustemperaturområdet
Självantändningstemperatur [°C]	> 600 °C vid atmosfärstryck
Minsta tändenergi (MIE)	0,3 mJ (Vätgas har 0,02 mJ)

B.2.2 Vätgas

Vätgas består till 100 % av vätgas (H₂) och är i gasfas ner till ca -253 °C vid atmosfärstryck då den övergår till flytande form. Vätgas är mycket lättantändlig. Den energi som behövs för att antända en vätgas/luftblandning är endast 0.02 mJ, som kan jämföras med bensin där tändenergi är 10 gånger högre [20].

Tabell 14. Typiska fysikaliska och kemiska egenskaper för vätgas.

Fysikaliskt tillstånd vid 20°C	Komprimerad gas
Färg	Färglös gas
Lukt	Lukt, färg och smaklös
Relativ densitet (luft=1)	Mycket lättare än luft d.v.s. < 0,07
Vattenlöslighet [mg/l]	Icke känd men anses ha låg löslighet
Brännbarhetsgränser [vol% i luft]	ca 4-77 % gasinblandning i luft vid atmosfärstryck samt i det normala utom- och inomhustemperaturområdet

Detonationsgränser [vol% i luft]	ca 18-59 %
Självantändningstemperatur [°C]	Ca 571 °C vid atmosfärstryck
Minsta tändenergi (MIE)	0,017 mJ

B.3 TRAFIKVOLYMER MED GASDRIVNA FORDON

Det råder stora osäkerheter kring vilka trafikvolymerna som i framtiden kommer att utgöras av fordon med gasformiga drivmedel. Det kan t.ex. vara aktuellt för personbilar, bussar och lastbilar.

För Bastunnel 400 finns det ingen fastslagen volym bussar utan följande antaganden har gjorts.

För att fånga upp en eventuell framtida större fordonsflotta som drivs av gas behöver ett antagande göras av trafikflödet av dessa fordon, som en ansats görs denna känslighetsanalys med antagandet om att 1-10 % av framtidens fordon är gasdrivna. Utifrån att busstrafik är en låg andel av fordon i trafik ca 0,25 % av alla inregistrerade fordon kan den lägre siffran om 1 % ses som både att alla bussar och en viss del av biltrafiken utgör gasdrivna fordon medan den högre siffran om 10 % i största del utgörs av biltrafik med den mindre andelen bussar [21]. Utifrån att osäkerheterna är stora bör slutsatser dras med försiktighet.

B.4 IDENTIFIERING OCH BESKRIVNING AV RISKKÄLLOR

Det har inte hittats någon specifik statistik rörande brand eller olyckor med explosion (detonation/deflagration) med avseende på gasdrivna fordon. Vad gäller olyckor och brand kopplade till gasdrivna fordon behövs därför dessa kopplas mot statistik i allmänhet rörande brand i fordon och fordon med tekniska fel på fordonet.

Det finns två scenarier som kan leda till explosion för fordon som drivs av vätgas/CNG (Compressed natural gas)/fordonsgas:

- kärlsprängning/tankruptur och
- utsläpp av gas med fördröjd antändning, gasmolnsexplosion

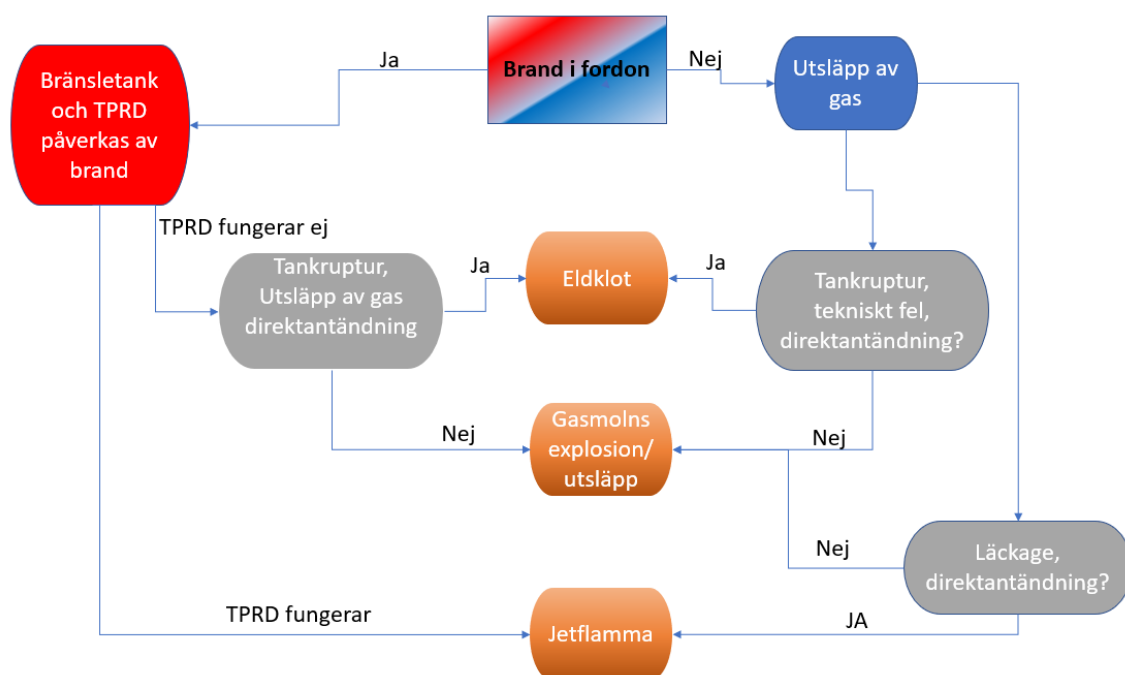
Vanligtvis finns det två skäl till att en gasflaska sprängs, antingen blir övertrycket större än flaskans designtryck alternativt har flaskans hållfasthet försämrats. Orsaker till att flaskans designtryck överskrids kan vara att den är överfylld, har blivit uppvärmd och smältsäkringarna inte utlöses eller fel på tryckregulatorn. Vanligaste orsaken till att hållfastheten försämras är att flaskan oxideras, materialfel, nötning på grund av vibrationer eller att en kollision sker med annat objekt (t.ex. i en fordonskollision).

När bränsletanken/kärlet brister expanderar gasen med en stötvåg som följd. Styrkan på stötvågen på olika avstånd, X m, från centrum av explosionen kan man uppskatta med TNT-metoden eller genom beräkningar t.ex. CFD modeller. Inom närområdet från centrum av explosionen uppkommer mycket stora materiella skador. Delar av fordonets kaross kan slitas upp och kastas av. Risk för att andra gasflaskors ledningar och att själva gasflaskorna skadas finns därmed. I en buss finns t.ex. fara för att taket ger vika med åtföljande gasutsläpp sker inne i bussen.

De identifierade riskerna kring hur olyckor med gasdrivna fordon uppkommer är följande:

- Tekniska fel på fordonet, t.ex. på grund av utmattning i material, fabriktionsfel mm.
- Brand i fordonet, t.ex. uppkommen vid kollision eller anlagd brand.
- Kollision vid en trafikolycka.

Förenklat kan detta beskrivas med nedanstående figur.



Figur 9. Förenklad figur avseende händelseförlopp med konsekvenser av gasutsläpp från fordon [22]. "TPRD" är en förkortning av "Thermal Pressure Relief Device" d.v.s. en tryckavlastningsventil aktiverad av temperatur (smältsäkring).

Skadehändelser kan uppstå av en mängd olika orsaker. Hur allvarligt ett scenario orsakat av utsläpp av fordonsgas/vätgas slutligen blir är beroende av en mängd faktorer, exempelvis vad som initierar utsläppet, vilken del i bränslesystemet som genererar utsläppet, hur omfattande utsläppet är (hålstorlek), trafiksituation, mängden gas som deltar i en eventuell förbränningen, om och i så fall när utsläppet antänds samt vilken påverkan utsläppet får på människor i fordonet eller dess omgivning. Vid brand i buss där den initiala branden inte involverar bränslet, vilket bedöms vara ett av de vanligare scenarierna, är tidsfaktorn fram till att gas släpps ut eller tanken havererar avgörande för om trafikanter hinner sätta sig i säkerhet eller ej innan gasen deltar i olycksförloppet.

Skadeverkan av olycka med avseende på läckage eller brand kan sammanfattas i följande:

- **Brand**, vid antändning av brännbar fordonsgasblandning eller vätgas (i luft) får formen av en jetflamma. Jetflammans utsträckning och värmestrålningen beror på hålstorlek och tryck i tank samt vilken gas som antänds. Flamman och värmestrålningen kan leda till att brand sprids till andra fordon samt kan påverka personer i närheten av flammen. Brandgaserna/värmen från branden kan orsaka att personer har svårt att utrymma och därmed skadas eller omkommer.
- **Explosion**, kan uppstå som deflagration vid förbränning av fordonsgas i luft. För vätgas kan detonation uppkomma vid förbränning i luft. Tryckförhållanden är därmed olika mellan dessa två gaser. Vid tankruptur kan även ett Eldklot skapas varpå tyckuppbyggnaden är mindre.

Explosioner i ett slutet utrymme skapa en tryckvåg, tryckvågen vid detonation är större än vid en deflagration.

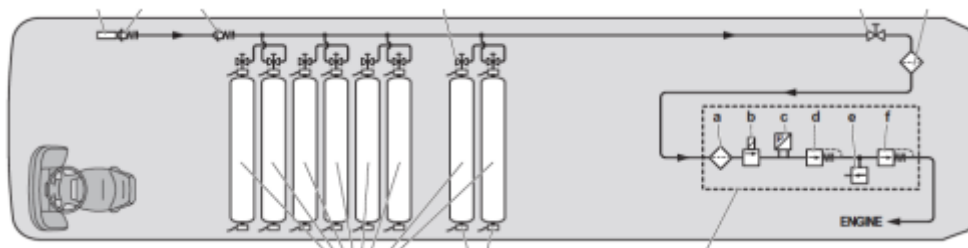
Hastigt frigörande av upplagrad energimängd i ett gasfordons bränsletankar (kärleksprängning) kan också skapa en tryckvåg. Förutom själva tryckvågen kan en explosion sprida kaststycken, splitter och brand i omgivningen. Vilket försvårar utrymningen ytterligare för eventuella personer som är kvar i tunneln. Påverkar explosion andra gasflaskor på fordonet kan detta leda till ytterligare explosioner och förbränning.

Smältsäkringar/TPRD ventiler aktiveras vid temperaturer kring 110-130 °C och syftar till att tryckavlasta bränsletankarna vid förhöjd temperatur och därmed undvika risken för kärleksprängning.

Om ventilen felfungerar finns en stor risk för kärlsprängning vid brand och därmed explosion d.v.s. detonation eller deflagration. Vid fungerande smältsäkring/TRPD strömmar i stället gas ut vilket antingen resulterar i en fördröjd antändning av gasen (explosion) eller direkt antändning och därmed en jetflamma. Det finns även en möjlighet att gasen inte antänds vare sig direkt eller fördröjt vilket i sådant fall enbart leder till ett utsläpp av gas.

Bränslesystemen för en fordonsgasdriven buss ser förenklat ut enligt nedan:

F (flaskor)	Bränsletankarna (gasflaskor monterade på taket)
H (Högtryck)	Ledningssystem med tillhörande armatur (högtryck)
S (Säkerhetsutrustning)	Säkerhetsutrustning (felfungerande smältsäkring på högtrycksidan eller utlöst smältsäkring p.g.a. bussbrand)
L (Lågtryck)	Ledningssystem med tillhörande armatur (lågtryck, efter tryckreducering)



Figur 10. Schematisk bild över flaskpaket, ventiler och rör på fordonsgasbuss. Vy ovanifrån. Figuren är hämtad från fordonshandboken till Volvobussar.

Fordon med CNG/foronsgas kan ha flera scenarier beroende på var i systemet ett hål skapas på bränslesystemet. Då osäkerheterna är stora avseende hur vanligt förekommande CNG/foronsgas kommer vara i framtiden görs i denna riskbedömning vissa förenklingar och antaganden. Lågtrycksidan på fordonen är övervakad med tryckfallsventil samt att konsekvenserna är lindrigare, antas därför ge sammankonsekvenser som en brand. Dessa scenarier kan ses som starten på ett förlopp som längre fram leder till påverkan på högtrycksidan och de scenarier tas med där explosionsscenarioerna på lågtrycksidan är också av mindre karaktär och hänförs därför in i brandscenarier.

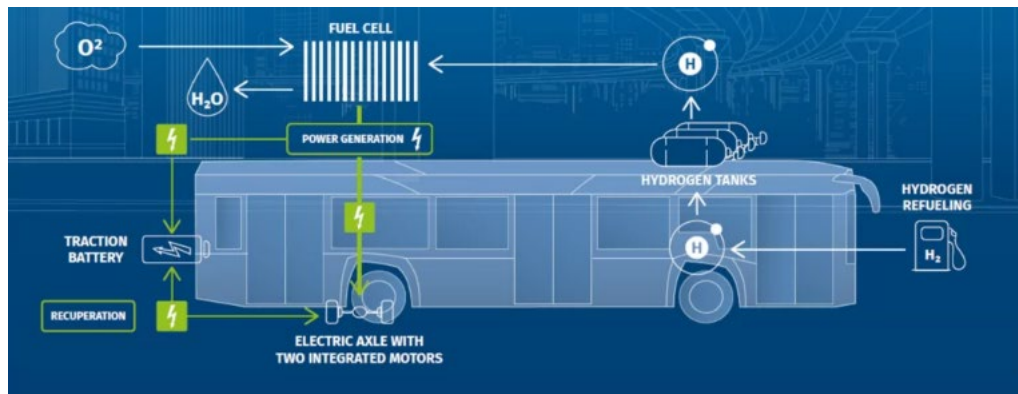
Bussarna är utrustade med rörbrottsventiler vilket gör att när trycket i rörledningarna försvinner stänger en ventil så att gasen slutar strömma ut i rörsystemet.

Bränslesystemen för en vätgasdriven buss ser förenklat ut enligt följande:

Bränslesystemet på en vätgasbuss liknar till stora delar det på en fordonsgasbuss. Skillnaden är att bränslecellen omvandlar vätgas till elektricitet som sedan laddar batterier och driver en elmotor snarare än att driva en explosionsmotor.

Huvudsakliga riskkällor som har identifierats i bränslesystem på en vätgasbuss är följande:

F (flaskor)	Bränsletankarna (gasflaskor monterade på taket)
H (Högtryck)	Ledningssystem med tillhörande armatur (högtryck)
S (Säkerhetsutrustning)	Säkerhetsutrustning TPRD (Thermal Pressure Relief Device) (felfungerande smältsäkring eller utlöst smältsäkring p.g.a. bussbrand)



Figur 11. Schematisk bild över flödespaket, ventiler och rörsystem och motor.

Bussarna är utrustade med övertrycksventilventiler samt vätegasdetektorer vilka stänger ner flödet av gas vid aktivering ut i rörsystemet.

B.5 UNDERLAG FÖR BEDÖMNING

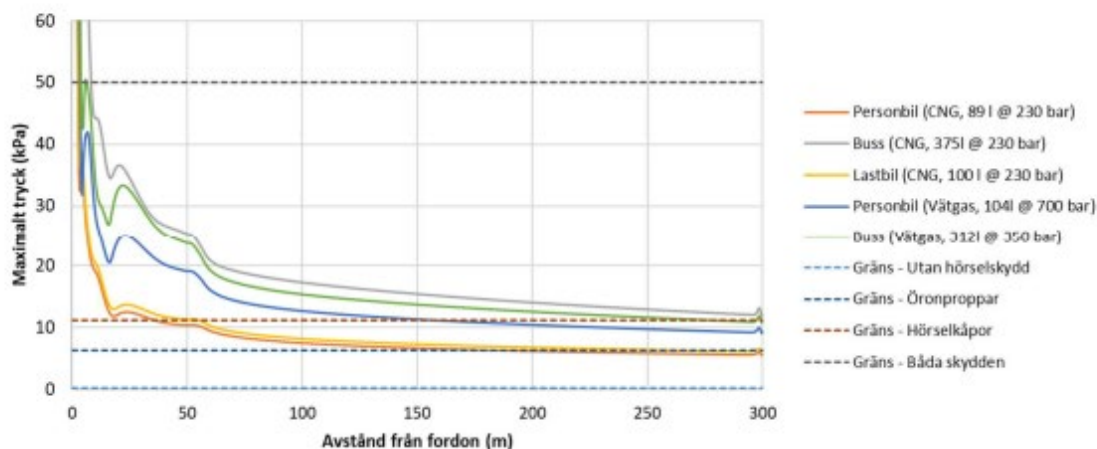
Vätgas och CNG/fordonsgas

Explosioner

I den genomförda litteraturstudien för denna riskbedömning har några olika beräkningsunderlag hittats som ger en relativt god bild av hur konsekvenserna av en explosion i en tunnel blir. Några försök där explosioner och tryck har uppmätts har dock inte påträffats. Följande litteratur bedöms som referenser:

- Zonindelning vid räddningsinsatser mot fordon med alternativa bränslen [22]
- Blast Wave after Hydrogen Storage Tank Rupture in a tunnel fire [23]
- Appendix A - Riskanalys avseende bussar med fordonsgas i bussterminal Slussens nya bussterminal [24]
- CNG vehicle containers exposed to local fires [25]

I rapporten, Zonindelning vid räddningsinsatser mot fordon med alternativa, har beräkningar utförts på en tunnel med dimensionerna 9 m bred och 4,5 meter hög. (En mindre tunnel ger något högre konsekvenser och en större tunnel ger något lägre konsekvenser.) Beräkningar visar på att trycket lokalt är högt vid tankruptur (utan gasmolnsexplosion) men att trycket sedan faller av. I rapporten gjordes även en analys av påverkan på hörsel och olika skyddsåtgärder vilket kan bortses ifrån i denna analys.

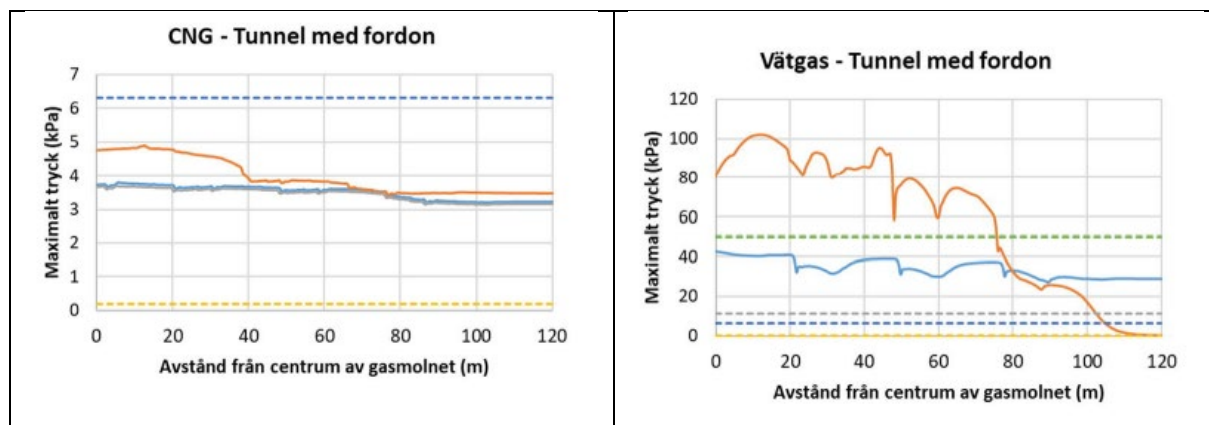


Figur 12. Maximalt tryck i tunnel till följd av gasexpansion vid ruptur utan antändning av gas.

Tryckförhållanden i tunneln efter 100 m är i storleksordning 7-17 kPa beroende på scenario och något fallande mot mynningen vid 300 m, se figur 12 ovan.

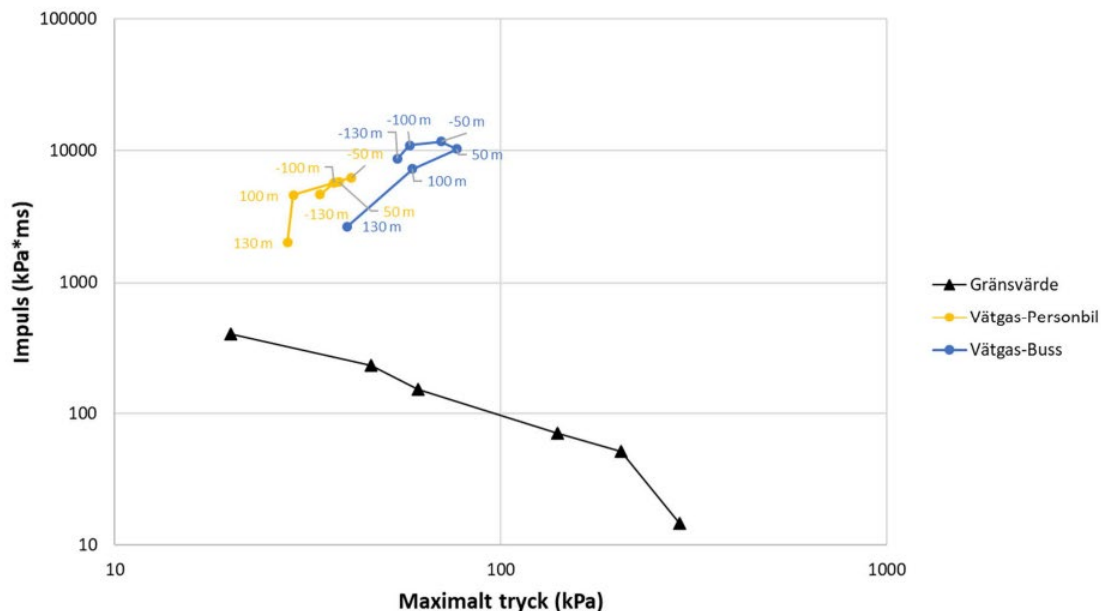
Om scenariot innefattar en antändning av gasen som leder till eldklot skapas ett riskavstånd på ca 10-45 m från olycksplatsen samt att personer påverkas av trycket från ruptur.

Vid en fördröjd antändning av ett utsläpp och gasmolnsexplosion har tryckupbyggnaden simulerats, se Figur 13, för tunneln. Vätgas kan enligt litteratur förväntas användas, även spontant utan tändkällor vid utströmning, d.v.s. ruptur utan antändning bedöms som mindre sannolik [26]. Vid simuleringarna har fordon antagits vara in i tunneln vilket ger mer konservativa värden än i de fall tunneln simuleras som tom.



Figur 13. Tryckupbyggnad vid förbränning och tankruptur. CNG till höger och vätgas till vänster.

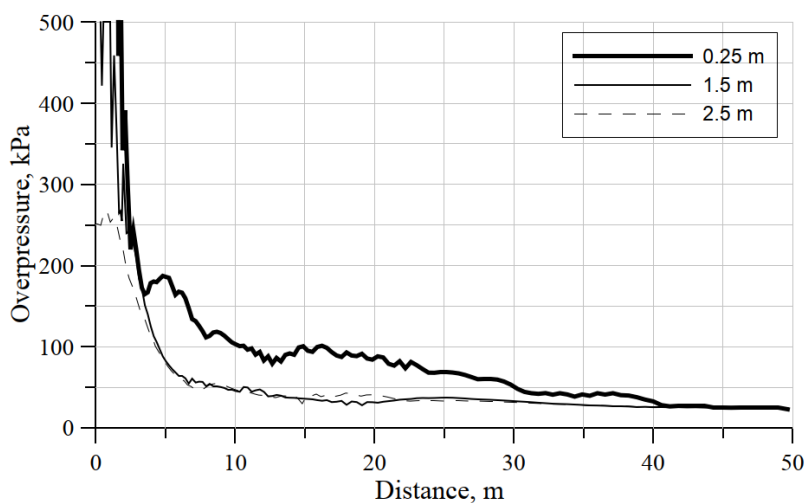
Utifrån att trycket är lågt i fallet med CNG bör de inte resultera i hjärnskadorna med avseende på tryck medan gränsvärdena för tryck och impuls överskrider avseende vätgas.



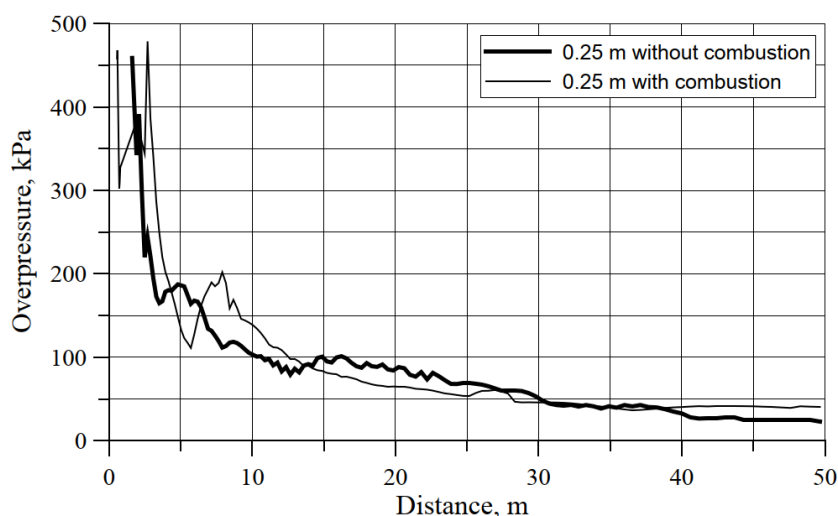
Figur 14. Tryckuppbyggnad och impuls i tunnel med fordon. Gränsvärdet i grafen avser lindriga hjärnskador.

I rapporten Blast Wave after Hydrogen Storage Tank Rupture in a tunnel fire, finns simuleringar genomförda som redovisar tryckuppbyggnad från vätgastankar där TPRD ej fungerar som avsett. De simuleringar som genomförts utgår från en tunnel med samma dimensioner som i [22], d.v.s. takhöjden 4,5 m och bredd på 9 m. Simuleringarna i rapporten är gjord på en 100 m lång tunnel. Beräkningarna genomfördes med en tank om 140 l och 5,5 kg vätgas. Tankarna med vätgas var vid simuleringarna fylld. Två olika scenarier beräknades, i det ena sker en förbränning av vätgas och i den andra inte. Tryckvågen är lokalt hög vid olycksplatsen för att sedan plana ut efter ca 30-40 m, i fallet med förbränning når tryckvågen ca 40 kPa övertryck och i fallet utan förbränning ca 25 kPa, se

Figur 15. Höjden där dessa övertryck beräknades på varierades men var högst på 0,25 m ovan mark i närzonen, se Figur 16.

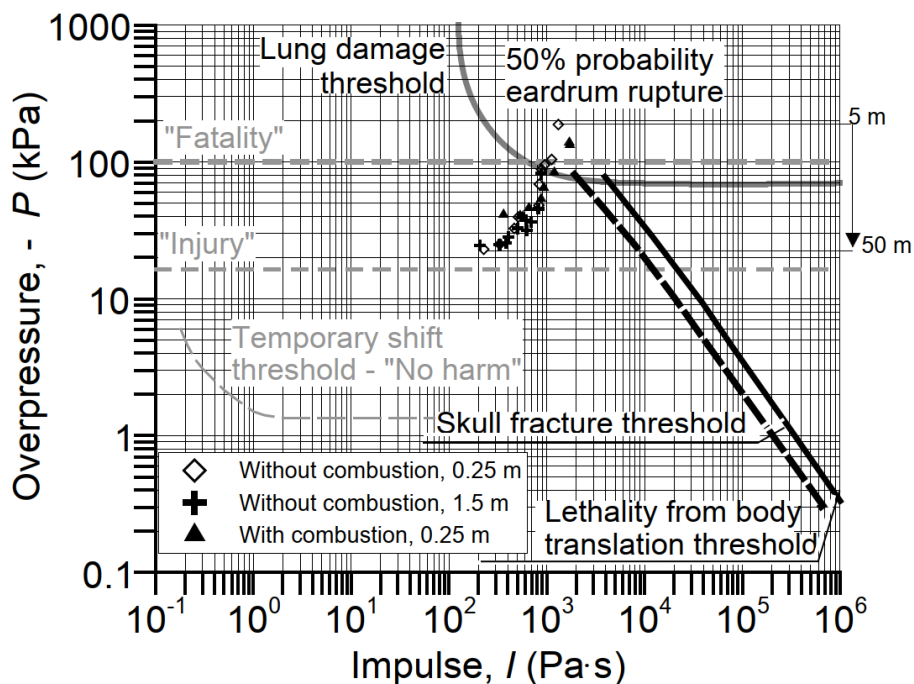


Figur 15. Övertrycket som funktion av avståndet på olika höjder ovan mark.



Figur 16. Övertrycket som funktion av avståndet med och utan förbränning på 0,25 m höjd ovan mark.

Rapporten redovisar i Figur 17 skador på lungor vid olika tryckförhållanden.



Figur 17. Skadeutfall vid tryck och impuls på 0,25 m höjd utifrån genomförda beräkningar [23].

Utifrån att impulsen i de genomförda beräkningarna ligger mellan 200 – 1100 Pa s, kan det konstateras att personer i tunneln kan komma att kastas omkull eller kastas i väg. Att bedöma och fastställa skadeutfallet av en explosion är komplext, och flera olika aspekter behöver läggas samman. Dels skador som är en direktverkan av tryckvågen, som t.ex. skadar känsliga organ som öron, lungor, hjärna och mag-/tarmsystem. Dels sekundära skador till följd av att kroppen kastas i väg av tryckvågen och träffar något eller blir träffat av något, t.ex. splitter, eller att tunga installationer i tunnel ramlar ner. Dels avseende brand och explosionsgaser och att kroppen utsätts för brännskador. I den genomgångna litteraturen har tryckvågen beräknats medan de övriga aspekterna inte tagits med varpå det är svårt att få en helhet kring skadeutfallet. [27] Komplexiteten ökar än mer i de fallen en

efterföljande brand uppstår där personer är skadade och kvar i tunneln, osäkerheterna kring skadeutfallet är därmed stora.

En person som utsätts för en tillräckligt stor impuls kommer att kastas omkull i stötens riktning. Beroende på hur personen landar, med vilken hastighet och vad som skadas varierar konsekvenserna. Som ett exempel anges gränsvärdet för att kastas i väg av en impuls till 380 Pa s för en person på 75 kg och en frontarea om 1 m². [28] [29]

I försök genomförda av RISE [25] testades komposittankar och ståltankar med olika tryck och förutsättningar för att undersöka när och om de exploderar t.ex. om en lokalbrand i ena änden av tanken kan leda till att kärlet sprängs. Försöken visar att lokalbrand där TPRD ej utsätts för höga temperaturer kan leda till explosion efter ca 15-20 min beroende på om det är en stål- eller kompositflaska. Större tankar är utrustade med 2 st TPRD, en i vardera ända, varpå sannolikheten för att båda inte utsätts för en kritisktemperatur och att båda felfungerar kan betecknas som låg.

Inom projektet Slussens bussterminal har två explosionsberäkningar med CNG/fordonsgas med CFD-programmet FLACS utförts. Den ena motsvarar den utsläppta mängd gas som simulerats fram vid hål i rör, ca 100 g gas, vilket motsvarar ett gasmoln på ca 1 m³. Den andra utgör ett gasmoln med 10 kg gas vilket motsvara ett gasmoln på 175 m³(7x5x5 m). [24]

Resultatet av beräkningarna visar att molnet med 100 g gas och stökiometri ger mycket små tryckökningar, mindre än 0,5 kPa (5 mbar), utan någon större påverkan på omgivningen.

Det större gasmolnet med 10 kg gas ger ett maximalt tryck på ca 13 kPa i den zon som förbränningen sker, d.v.s. i närhet av bussarna. Utanför denna zon faller trycket till i storleksordning 8-10 kPa med en impuls på ca 250 ms och är konstant över hela terminalens sträckning. Bussterminalens geometri är betydligt större än aktuellt objekt varpå trycket bedöms bli större i en vanlig vägtunnel.

Jetflamma (CNG/fordonsgas och vätgas):

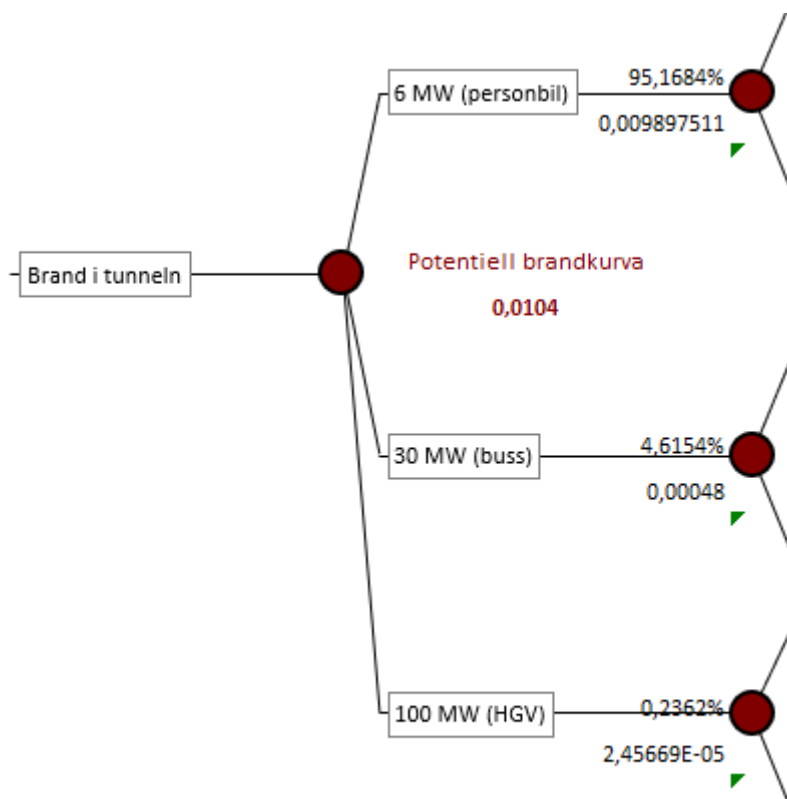
För vätgasscenarier som resulterar i jetflamma finns det osäkerheter i form av dels storlek på tryckutjämningsanordningens diameter, dels trycket i kärlet vid brand och riktning på jetflamman i förhållanden till trafikanter. Utifrån beräkningar genomföra av LTH för MSB [22] i samband med beräkningar av skyddsavstånd från ett fordon med tankar där öppningsdiametern är mellan 5 – 8,5 mm visar beräkningar att skyddsavstånden i storleksordning är lika stora för CNG/fordonsgas och vätgas. Konsekvenserna av en jetflamma skapar ett riskavstånd beroende på tryck i tankar (230 bar för CNG/fordonsgas och mellan 350-700 bar vätgas), öppningsdiametern (mellan 5-8,5 mm) och typ av gas ett riskavstånd mellan ca 18 och 37 m.

Bilaga C. **KONSEKVENSANALYS**

Konsekvensanalysen finns redovisad i separat dokument.

Bilaga D. HÄNDELSETRÄD

Nedan redovisas ett exempel på händelseträden som har utgjort grunden för beräkningarna. I Figur 18 visas ingångsfrekvensen för brand i tunneln och hur bränderna antas fördelas mellan de olika potentiella brandkurvorna.



Figur 18: Exempel på del av händelseträd, Nivå 1 med tre grenar.