

Risakanalys

Tunnelsäkerhet – Huvudentreprenad (EH)

E45 delen Lilla Bommen - Marieholm

Göteborgs stad, Västra Götalands län

Granskningshandling 2015-05-08

Projektnummer: AP109654



Dokumenttitel: E45 delen Lilla Bommen - Marieholm
Skapat av: [Cecilia Sandström]
Dokumentdatum: Granskningshandling 2015-05-08
Dokumenttyp: Rapport
Ärendenummer: TRV 2014/16346
Projektnummer: FS85438030/ AP109654
Version: 1.0

Publiceringsdatum: 2015-06-26
Utgivare: Trafikverket
Kontaktperson: Per Eriksson, Trafikverket
Uppdragsansvarig: Ylva Bäckman, Tyréns AB
Distributör: Trafikverket, 405 33 Göteborg, telefon: 0771-921 921

Kartmaterial: ©Lantmäteriet Medgivande I2013/0123

Innehåll

1.	Inledning	5
1.1.	Bakgrund	5
1.2.	Syfte	5
1.3.	Risikanalysens roll i förhållande till övriga utredningar	7
1.4.	Avgränsning	8
1.5.	Tillhörande utredningar	8
1.6.	Metod och genomförande	8
1.7.	Krav på riskanalys	8
2.	Förutsättningar	11
2.1.	Dimensionerande förutsättningar	11
2.1.1.	Köbildning	11
2.1.2.	Farligt gods	11
2.1.3.	Tunnelns utformning	11
2.1.4.	Trafikering	12
2.2.	Beskrivning av objektet	12
2.3.	Personbelastning	12
2.4.	Uppföljning av tidigare riskanalyser	12
2.5.	Programvara använd i beräkningar	12
2.6.	Risikvärdering	13
3.	Riskidentifiering	15
3.1.	Tillvägagångssätt	15
3.2.	Identifierade initiala händelser samt scenarier	15
4.	Inledande analys	18
4.1.	Schematisk bild över de identifierade riskerna	18
4.2.	Påverkan på tunneln	18
4.3.	Utrymmande trafikanter	19
4.4.	Räddningstjänstens insats	19
4.5.	Påverkan på omgivningen	20
4.6.	Påverkan på andra skyddsobjekt	21

4.7. Beroende av operatörer, system och tekniska säkerhetshöjande åtgärder	21
4.8. Resultat av grovanalysen.....	22
5. Fördjupade analyser	24
5.1. Dimensionerande personbelastning	24
5.2. Utrymning och brandgasventilation	24
5.2.1. Säkerhet vid utrymning för trafikanter	24
5.2.2. Möjlighet till räddningsinsats	26
5.3. Bärförmåga och temperaturinträngning	26
5.3.1. Tunnelkonstruktion.....	26
5.3.2. Ledningar	27
6. Åtgärder.....	28
6.1. Köbildning.....	28
6.2. Utrymningssäkerhet.....	28
6.3. Detektering.....	28
6.4. Utrymningslarm.....	28
6.5. Brandgasventilation	29
6.6. Bärförmåga vid brand	29
6.7. Teknikutrymme.....	29
6.8. Räddningstjänstens insats	29
6.9. Trafikstyrning.....	29
6.10. Bommar	30
6.1. Avsaknad av fast släcksystem	30
7. Verifiering av säkerhetskonceptet.....	31
8. Osäkerheter	33
9. Slutsats	34
10. Referenser.....	35

Bilagor

Dimensionerande scenarier

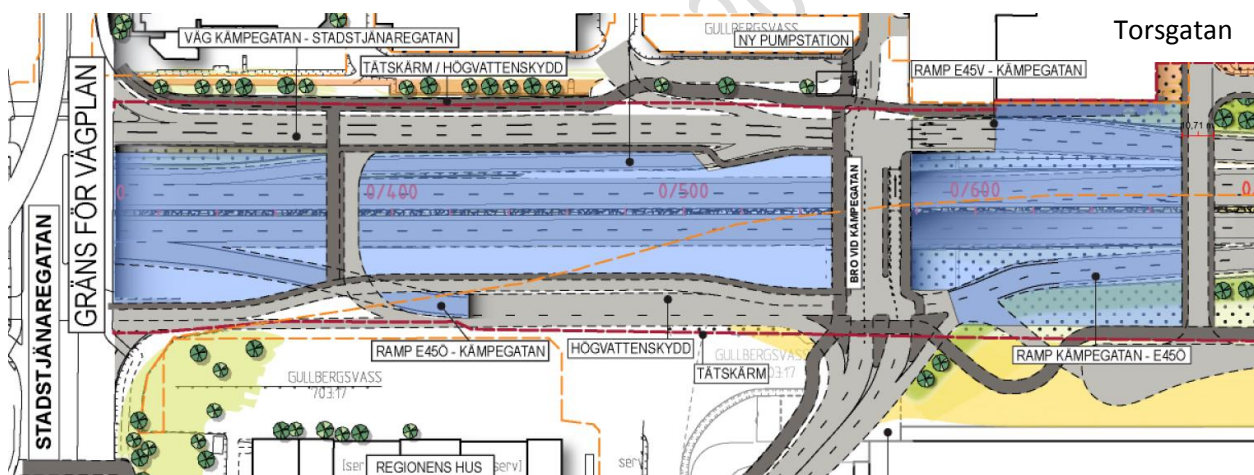
Analysprotokoll

1. Inledning

Denna rapport är framtagen inom projekt ”E45, delen Lilla Bommen – Marieholm” som innebär en nedsänkning av del av E45 i centrala Göteborg samt att en del av sträckan förläggs i tunnel, vilket möjliggör framtida bebyggelse på överdäckningen.

1.1. Bakgrund

Planerad nedsänkning med överdäckning av väg E45 sträcker sig från Stadstjänaregatan till Torsgatan, se Figur nedan. Detta innebär en cirka 420 meter lång överdäckning. I senare skede bedöms det bli aktuellt att överdäcka vägen fram till Falutorget. I det skedet kommer överdäckningen bli cirka 800 meter. Det finns även planer på att överdäcka vägen i andra riktningen, i riktning mot Götatunneln. Detta skulle innebära att den aktuella överdäckningen byggs samman med den befintliga Götatunneln. Detta skulle innebära en tunnel på totalt cirka 2 800 meter. De två senare överdäckningarna hanteras inte uttömmande i denna utredning, även om vissa risker berörs.



Figur 1. Illustration av tunnelns placering.

Tunneln utformas för att ge möjlighet till bebyggelse på överdäckning.

Entreprenören ska upprätta en fördjupad och fortsatt riskanalys, då detta är angett som ett så kallat byggherreväl enligt TRVK Tunnel. Till den framtida riskanalysen kan föreliggande utredning utgöra grund.

1.2. Syfte

Enligt TRVR Tunnel gäller följande:

”Syftet med riskanalysen är att identifiera och kvantifiera risker för att kunna eliminera eller reducera dem samt att jämföra olika alternativ vid beslut om åtgärder i investeringskedet eller driftskedet.”

Riskanalys av överdäckningen har genomförts främst i syfte att identifiera och värdera de risker förknippade med nyttjande av den planerade vägsträckan med

överdäckning som behöver beaktas i säkerhetskoncept och brandskyddsbeskrivning.

En grundförutsättning för riskanalysarbetet är att riskerna för överdäckningen inte ska vara högre än för vägalternativ där ingen överdäckning ingår samt att riskerna förknippade med framtida bebyggelse ovanpå överdäckningen inte ska vara högre än för bebyggelse vid sidan av överdäckningen.

Denna analys ämnar ligga till grund för fortsatt arbete med riskanalys och identifierade risker.

TRVR Tunnel (103.3.1) anger att riskanalyser ska genomföras för att bestämma:

- behov av trafikövervaknings- trafikinformations- och trafikstyrningssystem
- dessas påverkan på val av typsektion
- kompletterande säkerhetsutrustning
- påverkan av längslutningar större än 3%
- behov av säkerhetshöjande åtgärder om körfältsbredden är mindre än 3,5 m och trafik med tunga fordon är tillåten
- olyckslaster
- dimensionerande brandeffekt
- om fasta släcksystem ska installeras
- val av ventilationssystem
- om skiljevägg måste utföras

Enligt Boverkets föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar (BFS 2007:11 BVT 1) gäller följande angående syfte:

”De säkerhetsåtgärder som skall vidtas skall grundas på en systematisk bedömning av systemets samtliga aspekter: infrastruktur, drift, trafikanter och fordon. Följande parametrar skall ingå i bedömningen:

- tunnellängd,
- antal tunnelrör,
- antal körfält och körfältens bredd,
- tunnelns tvärsnittsgeometri,
- vertikal och horisontell linjeföring,
- enkelriktad eller dubbelriktad trafik,
- trafikflöde (inklusive fördelning över dygnet),
- hastighet
- risk för trafikstockningar (dagliga eller säsongsbetingade),
- procentandel tunga lastbilar,
- procentandel och typ av transporter av farligt gods,
- tunnelns konstruktionstyp
- tid innan räddningsstyrkorna når fram och deras samlade förmåga att göra en insats,
- tillfartsvägarnas karakteristika samt
- geografiska och meteorologiska förutsättningar.

Om en tunnel har en speciell utformning när det gäller dessa parametrar, skall en riskanalys genomföras för att fastställa om ytterligare säkerhetsåtgärder eller extra utrustning behövs för att säkerställa säkerhetsnivån i tunneln. I riskanalysen skall hänsyn tas till möjliga olyckor som kan inträffa under trafikdrift och som klart påverkar säkerheten för trafikanterna i en tunnel.”

1.3. Riskanalysens roll i förhållande till övriga utredningar

För att förtydliga hur de olika utredningarna hänger samman har detta avsnitt tagits fram, och syftet med denna läsanvisning är att underlätta en förståelse för tunnelsäkerheten som helhet. Tillvägagångssättet exemplifieras med en specifik risk, för att ytterligare förtydliga strukturen.

1. I ett inledande skede identifieras risker, såsom ”brand i fordon i huvudtunnel”, vilket har som konsekvens att ”trafikanter utsätts för brandrök och måste utrymma”. Detta sker i **riskanalysen** (föreliggande utredning). Då det i ett inledande skede inte är känt huruvida människor hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår osv, vilket innebär att risken bedöms som hög.
2. Riskanalysen anger också vilka **dimensionerande förutsättningar** som ska gälla, såsom att eftersom den tunga trafiken är betydande ska brand i lastbil kunna hanteras. Dessa förutsättningar ska beaktas när de **dimensionerande scenarierna** (redovisas i bilaga till föreliggande riskanalys) tas fram.
3. Med vetskap om vilka risker som identifierats (brand med efterföljande utrymning) tas ett **säkerhetskoncept** fram. Dvs ett koncept som innebär att det behövs detektering, larm, utrymningsvägar etc, för att de identifierade riskerna och deras konsekvenser ska hanteras. Säkerhetskonceptet innehåller inga specifikationer, utan är en samling av tekniska och administrativa åtgärder som tillsammans ska hantera de risker som identifierats.
4. De tekniska åtgärderna specificeras och kravställs i **brandskyddsbeskrivningen**, där krav på detektering, larm etc anges.
5. I de fall kraven i brandskyddsbeskrivningen inte kan tas fram utan **fördjupade utredningar** utförs sådana. Exempelvis finns ett sådant behov avseende avstånd mellan utrymningsvägar. Beräkningar genomförs för de frågeställningar som behöver utredas analytiskt. Dessa utredningar utgör bilagor till brandskyddsbeskrivningen. Resultatet av de fördjupade utredningarna blir till krav i brandskyddsbeskrivningen, t.ex. i form av minsta avstånd mellan utrymningsvägar. Inom aktuellt projekt har fördjupade utredningar i form av **Analytisk verifiering av utrymningssäkerheten samt brandgasventilation** samt **Analys av bärförmåga och värmeinträning** tagits fram.
6. Med kännedom om valt säkerhetskoncept, krav ställda i brandskyddsbeskrivningen (och beräknade i bilagorna) kan riskanalysen kompletteras med **en verifiering av valt säkerhetskoncept och ställda krav**, d.v.s. riskerna bedöms med hänsyn till genomförda åtgärder och ställda krav.

1.4. Avgränsning

Inom ramen för totalentreprenaden kommer en motsvarande process att krävas för att på detaljnivå verifiera att utformningen av överdäckningen ger en tolerabel risk.

Risker under byggtiden hanteras inte i denna riskanalys, utan skall hanteras separat via upprättade byggriskanalyser och säkerhetsrutiner specificerade för byggskedet.

Det finns specifika aspekter avseende exempelvis utformning och trafikstyrning som inte är fastställda i detta skede, varför kompletterande analyser behöver genomföras i senare skede. Fortsatt arbete med riskanalys är angivet som ett byggherreval.

I och med att förfrågningsunderlag till totalentreprenad tas fram ställs ett flertal funktionskrav, vilka inte utreds vidare.

Aktuell analys behandlar inte projektrisker, byggskedet eller arbetsmiljö.

1.5. Tillhörande utredningar

Följande dokumentation utgör del av arbetet med riskanalysen:

- Brandskyddsbeskrivning
- Säkerhetskoncept
- Analytisk verifiering av utrymningssäkerheten samt brandgasventilation
- Analys av bärförmåga och värmeinträngning

1.6. Metod och genomförande

Riskanalysen genomförs i form av en grovanalys, vilken har kompletteras med kvantitativa beräkningar i form av fördjupade analyser av konsekvenser/åtgärdsbehov. Riskanalysen innehåller en strukturerad och systematisk analys av risker. Följande moment genomförs:

- Riskidentifiering
- Uppskattning av sannolikheten för de olika scenarierna
- Uppskattning av och diskussion kring konsekvenserna av de olika scenarierna
- Värdering av riskerna utan åtgärder

Åtgärder rekommenderas eller kravställs, efter behov (ofta hanterat i Brandskyddsbeskrivning). Höga risker innebär fördjupad analys samt åtgärder

- Ytterligare värdering av de risker som åtgärder vidtagits för

Risker har till största del identifierats inom arbetsgrupp för tunnelsäkerhet vid följande datum: 2015-01-19, 2015-02-03, 2015-02-10, 2015-03-04. Risker har även identifierats vid möten med övriga kompetenser, dock inte genom strukturerade riskidentifiering.

1.7. Krav på riskanalys

En riskanalys ska genomföras för aktuell tunnelklass (TA), enligt TRV 2014/7297 samt enligt Boverkets föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar (BFS 2007:11 BVT 1).

Innehåll i riskanalys, enligt TRVR	Kommentar
Riskanalysen bör dels visa risk vid tunnelns utförande och dels risk 20 år efter tunnelns öppnande.	Aktuell analys behandlar enbart risk efter tunnelns öppnande. Byggskedet är ännu ej utrett.
I kostnader för sak- och miljöskada räknas även kostnader för samhället eller tredje man in. Exempel på sådana kostnader är <ul style="list-style-type: none"> - kostnader för trafikavbrott, - kostnader för återuppbyggnad, - kostnader för skada på en annan anläggning och - kostnader för produktionsbortfall. 	Ja, dock grova uppskattningar.
Riskanalysen bör ange sannolikheter....	Ja
...för tänkbara olyckor samt deras konsekvenser och...	Ja
även omfatta risker i samband med tunnelns utförande.	Byggskedet behandlas ej.
Ingångsdata, referensobjekt och beräkningsmodeller dokumenteras.	Ja, mycket utförliga analyser har utförts inom ett flertal områden (bärförmåga, utrymning, rökfylld osv).
En riskanalys gör det möjligt att <ul style="list-style-type: none"> - uppskatta olyckskonsekvenser med beaktande av valt säkerhetskoncept, - identifiera de största bidragen till den totala risken, - uppskatta den totala risken och - jämföra nyttan med kostnaden för alternativa riskreducerande lösningar. 	Ja
I riskanalysen studeras i följande fall explosionsriskerna särskilt och lastförutsättningarna justeras eventuellt:	Ja, konstruktör har bedömt att viss explosionslast klaras med befintlig utformning. Transport av farligt gods är ej tillåten. Några beräkningar genomförs inte i detta skede.
- om speciella slag av farligt gods ska transporteras i tunneln	Ej aktuellt
- om personriskerna är speciellt stora, t.ex. vid tunnel som ansluter till annat byggnadsverk där människor stadigvarande vistas	Ja, analys av bärförmåga har gjorts.

om konsekvenserna av en lokal skada är speciellt stora, t.ex. tunnel under vatten eller där tunneln utgör den enda vägförbindelsen.	Ej aktuellt
konsekvenserna av en lokal skada är speciellt stora, t.ex. en tunnel belägen i fritt vatten eller en tunnel med liten bergtäckning.	Ej aktuellt
Innehåll i riskanalys enligt Boverkets föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar (BFS 2007:11 BVT 1)	
I riskanalysen skall hänsyn tas till möjliga olyckor som kan inträffa under trafikdrift och som klart påverkar säkerheten för trafikanterna i en tunnel.	Ja

Granskningshandling 2015-05-08

2. Förutsättningar

Analys har utförts parallellt med pågående arbete med tunnelns utformning, och ett flertal förutsättningar kring höjder, lutningar etc har varit grund för utredningar inom tunnelsäkerhet. I detta avsnitt lyfts några förutsättningar fram som är av särskild vikt.

2.1. Dimensionerande förutsättningar

De dimensionerande förutsättningarna är de förhållanden som ska beaktas när de dimensionerande scenarierna tas fram. De dimensionerande scenarierna redovisas översiktligt i bilaga till denna analys, samt mer utförligt i Analytisk verifiering av utrymningssäkerheten samt brandgasventilation (bilaga till Brandskyddsbeskrivningen).

2.1.1. Köbildning

Återkommande köbildningen förekommer inte, detta är en förutsättning för arbetet med tunnelsäkerhet.

Trafikanalys har genomförts som visar att den framtida trafiksituationen, med prognostiserad trafik (inklusive tillkommande exploateringar) och förbättringsåtgärder (planskildhet vid Falutorget och borttagning av trafikljus ut mot E 6) inte kommer att ge upphov till återkommande köbildning. Köbildning kan dock ske vid speciella situationer, såsom vid en olycka.

Trafikregleringen skall ha sådan förmåga att trafiken nedströms branden normalt skall kunna avvecklas så att trafikanter där inte berörs av brandgaser. Trafikregleringen sker genom trafikledningscentral, informationstavlor, omställbara körfältssignaler, bommar, detekteringssystem för stillastående fordon och tv-övervakning.

Säkerhetskonceptet och analyserna har utgått från att trafiken kan styras på ett sådant sätt att hastigheten över 5 km/h. Fordonen nedströms olyckan/branden förväntas kunna köra ut ur tunneln.

2.1.2. Farligt gods

Det förutsätts att tunneln tilldelas tunnelklass E avseende farligt gods.

2.1.3. Tunnelns utformning

Följande har utgjort grund (och varit aktuella vid analysens genomförande) för samtliga analyser inom tunnelsäkerhet:

- Takhöjden förutsätts generellt vara minst 6,2m. Lägre takhöjd råder vid broar (5,2m) och inne i ramper (4,7m).
- Huvudtunneln förutsätts vara 420 meter lång.
- Den överdäckade längden på den sydvästra avfartsrampen antas vara 90 meter och lutningen 6,7 %.
- Den överdäckade längden på den nordvästra påfartsrampen antas vara 150 meter och lutningen 5 %.

- Den överdäckade längden på den nordöstra avfartsrampen antas vara 65 meter och lutningen 7,9 %.
- Den överdäckade längden på den sydöstra påfartsrampen antas vara 80 meter och lutningen 5,5 %.

2.1.4. Trafikering

Årsvardagsdygnstrafik för förslaget enligt Genomförbarhetsstudien för prognosåret 2040 är 78 000 fordon (Genomförbarhetsstudie E45, delen Lilla Bommen-Marieholm, , 2012-06-15). Skyltad hastighet är max 80 km/h på E45. Den tunga trafiken är betydande, i och med transporter till och från exempelvis hamnområden. Likaså är busstrafiken frekvent, i och med närhet till bussterminal. Både tung trafik och busstrafik är att förvänta i huvudtunnel såväl som i ramper.

2.2. Beskrivning av objektet

Gullbergstunneln har två stycken separata tunnelrör med enkelriktad trafik, med två körfält i varje tunnelrör. I anslutning till ramper och tunnelmynningar förekommer i vissa fall ett extra körfält. De västra ramperna har ett körfält vardera och de östra ramperna har 2-3 körfält vardera.

Bärande konstruktion i tunnelns väggar och tak utgörs av betong.

2.3. Personbelastning

Busstrafiken förväntas vara frekvent i och med närhet till bussterminal. Detta är en förutsättning för t.ex. utrymningen.

2.4. Uppföljning av tidigare riskanalyser

Inga riskanalyser avseende tunnelsäkerhet har tidigare genomförts. Till detaljplaneskedet för överliggande överdäckning har en riskbedömning tagits fram:

- Övergripande riskbedömning för detaljplan, upprättad av WSP, daterad 2014-11-21

2.5. Programvara använd i beräkningar

Beräkningar som genomförs i bilagor till Brandskyddsbeskrivningen görs med stöd av programvara.

TASEF¹ (Temperature Analysis of Structures Exposed to Fire) är ett program som beräknar temperaturer i konstruktioner utsatta för brand. Temperaturdistributionen erhålls genom en numerisk ordning baserad på den finita elementmetoden. Ickelinjära situationer grundade på randvillkor och materialparametrar är beaktade. Tvådimensionella och axelsymmetriska strukturer som består av ett eller flera material eller hålrum kan analyseras i programmet.

¹ <http://www.sp.se/en/index/services/calculations/tasef1/Sidor/default.aspx>

För simulering av brandgasspridning och bedömning av tid till kritisk påverkan används en modell utvecklad av amerikanska NIST (McGratten m.fl 2007). Modellen heter "Fire Dynamics Simulator - FDS 5" och är en så kallad CFD-modell (computational fluid dynamics). Modellen är speciellt anpassad för att simulera bränder i komplexa geometrier och delar in rummet i små volymer. För varje volym och tidssteg beräknas kontinuitetsekvationer för massa, rörelsemängd och energi. Resultatet från en validerad simulering blir tillförlitligt med en hög detaljeringsnivå. Simuleringsprogramvaran som används i Fire Dynamics Simulator (FDS) version 5.5.3, 64 bit MPI. För visualisering av utdata används Smokeview version 5.6.

2.6. Riskvärdering

I samband med att risker identifierats med grovanalysen görs en bedömning av sannolikhet och konsekvens. Definitionerna för bedömning av sannolikhet och konsekvens är hämtade från Handbok i kommunal riskanalys inom räddningstjänsten, SRV (Davidsson, 2003). När sannolikhet och konsekvens förs in i en riskmatris kan en sammanvägning av risken utläsas, vilket ger en risknivå. Genom att kategorisera olika kombinationer av sannolikheter och konsekvenser i tre kategorier fås tre risknivåer. Risknivåerna representeras av tre färger. Grön innebär låg risk, gul innebär medelhög risk och röd innebär hög risk.

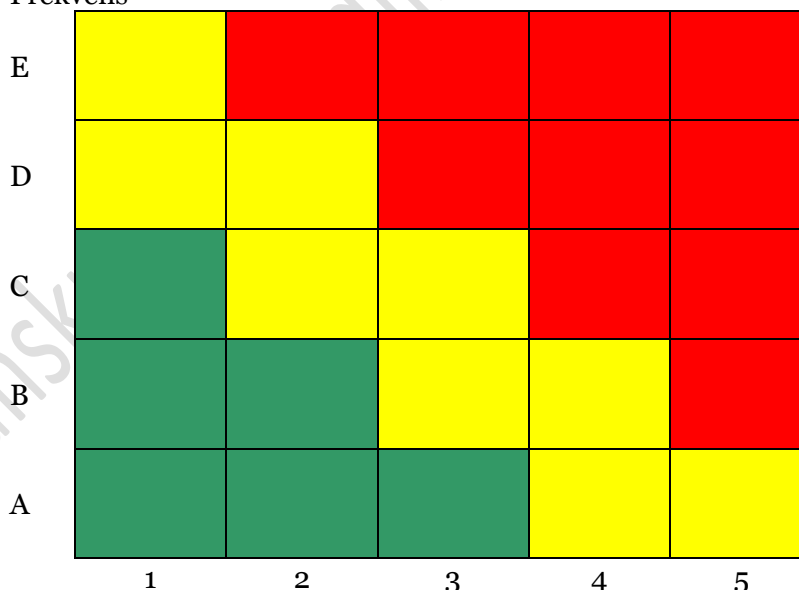
Tabell 1 Klasser för bedömning av konsekvenser avseende personskada/liv, egendom och miljö

Klass	Konsekvens för liv	Konsekvens egendom	Konsekvens miljö
1	Övergående lindriga obehag	< 100 000 kr	Ingen sanering, liten utbredning
2	Enstaka skadade, varaktiga obehag	100 000-1 miljon kr	Enkel sanering, liten utbredning
3	Enstaka svårt skadade, svåra obehag	1-5 miljoner kr	Enkel sanering, stor utbredning
4	Enstaka dödsfall, flera svårt skadade	5-20 miljoner kr	Svår sanering, liten utbredning
5	Flera dödsfall, 10-tals svårt skadade	>20 miljoner kr	Svår sanering, stor utbredning

Tabell 2 Klasser för bedömning av sannolikhet (**enligt innebörd föreslagna i Riskanalys Drift, Marieholmstunneln, 2012*)

Klass	Benämning	Frekvens	Innebörd för aktuellt projekt*
A	Liten sannolikhet	<1 gång/ 1000 år	Händelsen med den uppskattade konsekvensen bedöms inte inträffa under tunnelns livslängd
B		1 gång / 100-1000 år	Händelsen med den uppskattade konsekvensen kommer troligen inte att inträffa under tunnelns livslängd
C	Sannolik	1 gång/10-100 år	Troligt att händelsen med den uppskattade konsekvensen inträffar under tunnelns livslängd
D		1 gång /1-10 år	Mycket troligt att händelsen med den uppskattade konsekvensen inträffar flera gånger under tunnelns livslängd
E	Mycket sannolik	>1 gång/år	Händelsen med den uppskattade konsekvensen kommer att inträffa regelbundet under tunnelns livslängd

Frekvens



Figur 1

Riskmatris. Grön representerar låg risk, gul representerar medelrisk och hög representerar hög risk.

3. Riskidentifiering

3.1. Tillvägagångssätt

Risker har identifierats vid möten, under projektering, vid systematisk genomgång av händelseförlopp samt genom litteraturstudier.

3.2. Identifierade initiala händelser samt scenarier

En trafikolycka kan t.ex. utgöras av en upphinnandeolycka eller orsakas av en sammanstötning med vägg eller mellan fordon, t.ex. pga stillastående eller långsamtgående fordon. Dubbelriktad trafik förekommer inte under driftsskedet. Förhöjd risk bedöms finnas vid östra infarts mynningen, i och med att tre körfält minskar till två st., vilket innebär filbyte.

Brand kan uppstå i trafikanters fordon, i servicefordon samt i installationer. Bränder i fordon bedöms starta till följd av defekt (t.ex. överhettade bromsar) eller trafikolycka. En brand kan också ha haft sin initiala fas under transport på annan sträcka, och rökutveckling upptäcks vid senare tillfälle, exempelvis i aktuell tunnel.

Utredning av trafiksäkerhet har genomförts, se Trafiksäkerhetsanalys.

De förutsättningar för trafiksäkerheten som är speciella för aktuell tunnel är:

- Ramper med viss lutning (medellutningen är ca 5 %).
Ramper innebär en mer komplicerad trafikmiljö samt kan även ge upphov till viss halka, i vissa väder.
- Vid tunnelns östra mynning finns en problematik med att tre körfält minskar till två st., vilket innebär filbyte.
- Hastigheten är förhållandevis låg.

En trafikolycka kan leda till en brand, vilket utreds vidare med avseende på utrymning och behov av brandgasventilation.

Explosion kan orsakas av gasbuss. Transport av farligt gods är ej tillåten.

Befintlig utformning innebär att den explosionslast som kan uppstå omfattas av de dimensioneringskriterier som krävs i TRVK Tunnel 11.

Tabell 3 Riskidentifiering av initiala händelser

Identifierade initiala händelser
Upphinnandeolycka (bil, buss, lastbil)
Sammanstötning pga stillastående eller långsamtgående fordon
Sammanstötning med vägg

Ovanstående kan orsaka brand, vilket beskrivs nedan. Scenarier med brand samt tillhörande konsekvens riskbedöms i avsnitt 4.

De identifierade initiala händelserna kan leda fram till brand. Brands uppkomst kan delas i nedanstående kategorier.

Tabell 4 Kategorisering av brands uppkomst

Brands uppkomst
Brand i fordon
Brand i installationer mm
Brand i fordon vid kö
Brand i fordon med alternativt bränsle (gas mm)
Brand pga uppsåt
Explosion, exempelvis orsakad av gasbuss

Ovanstående ger att fördjupade analyser behöver utföras. De dimensionerande scenarierna ska beakta både bilar, bussar och lastbilar. Detta då dessa frekvent trafikerar både huvudtunnel och ramper. Bussresenärer ska beaktas avseende personbelastning vid utrymning.

Konsekvenser av brand utreds i:

1. Analytisk verifiering av utrymningssäkerheten samt brandgasventilation
2. Analys av bärförmåga och värmeinträngning

Grovanalys (se bilagt protokoll) ger att ett antal scenarier med brand samt tillhörande konsekvens, se tabell nedan, riskbedöms, se avsnitt 4.

Tabell 5 Konsekvenser av brand, att riskbedöma som scenarier till följd av identifierade initiala händelser

	Påverkan på tunneln
A	Förstörda ledningar och installationer
B	Försämrad bärförmåga
	Trafikanter
C	Nedfallande föremål och inredning
D	Brandgaser (toxiska och varma)
	Räddningstjänsten
E	Nedfallande föremål och inredning
F	Försämrad bärförmåga
G	Brandgaser (toxiska och varma)
	Påverkan på omgivningen
H	Brandgasers påverkan på tredje man
I	Konstruktionens bärförmåga
J	Samhällsbelastning vid avbrott

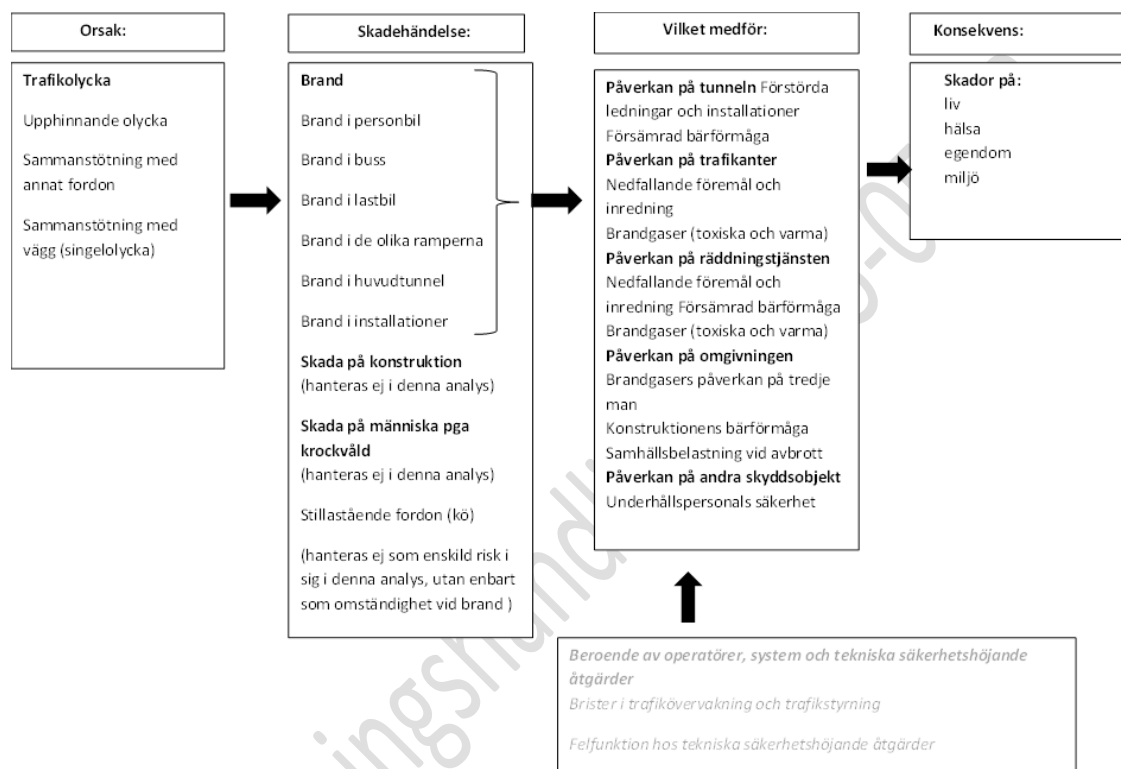
	Påverkan på andra skyddsobjekt
K	Underhållspersonals säkerhet

Granskningshandling 2015-05-08

4. Inledande analys

4.1. Schematisk bild över de identifierade riskerna

Nedanstående bild visar en sammanställning över de orsaker, skadehändelser, efterföljande skadehändelser (benämnt ”vilket medför” i figur nedan) samt slutliga konsekvenser (skada på liv etc). Dessa har identifierats vid grovanalys, se bifogat protokoll, samt redogörs för under avsnitt 3.



4.2. Påverkan på tunneln

	Påverkan på tunneln
A	Förstörda ledningar och installationer
B	Försämrad bärförmåga ger upphov till ras

Ledningar med fjärrkyla, fjärrvärme, avlopp och vatten önskas i tunnelkonstruktionen. Vid en brand i tunneln kan ledningarnas innehåll läcka ut, och förvärra situationen för utrymmande trafikanter i och med förekomst av ånga mm. Framförallt fjärrvärme är temperaturkänslig. Tryckökningen som sker då vattnet i ledningen övergår till ånga är markant, och för att undvika detta kan man med ett konservativt antagande begränsa temperaturpåverkan vid dessa rör till max 100 °C, och därmed förhindra att vattnet i ledningen kokar. Detta utreds vidare, se avsnitt 5.

Ledningar och installationer som krävs för att upprätthålla funktionen hos de brandtekniska installationerna behöver vara skyddade på sådant vis att exempelvis brandgasventilationen säkerställs, alternativt ska dess felfunktion beaktas vid analys av utrymningssäkerhet. Krav avseende ledningars och kablers förläggning redovisas i brandskyddsbeskrivning.

Konsekvenser av brand utreds i:

Analytisk verifiering av utrymningssäkerheten samt brandgasventilation

Analys av bärförmåga och värmeinträngning

Identifierade risker har riskbedömts, se 4.7.

4.3. Utrymmande trafikanter

	Utrymmande trafikanter
C	Nedfallande föremål och inredning
D	Brandgaser (toxiska och varma)

För att människor ska kunna utrymma säkert krävs att inredning och andra föremål inte kan falla ned, att människor inte utsätts för ohälsosamma doser av brandgaser samt att brandgasfläktar förhindrar att brandgaser sprider sig till delar av tunneln där de förvärrar utrymningssituationen.

I tunneln förväntas bussresenärer samt trafikanter i personbil och lastbil förekomma. Busstrafiken förväntas vara betydande, likaså den tunga trafiken.

Konsekvenser av brand utreds i analytisk verifiering av utrymningssäkerheten samt brandgasventilation.

Identifierade risker har riskbedömts, se 4.7.

4.4. Räddningstjänstens insats

	Räddningstjänsten
E	Nedfallande föremål och inredning
F	Försämrad bärförmåga
G	Brandgaser (toxiska och varma)

Trafikskyltar och fläktar kan trilla ned, om deras upphängning inte kravställs. Nedfallande föremål kan både skada personal samt förhindra en insats.

Krav ställs på att inredning inte kan falla ner, se Brandskyddsbeskrivning.

Tunnelväggarna kommer att förses med kakel och kakel kan explodera vid höga temperaturer. Dessa temperaturer kommer dock att uppnås efter att utrymning skett och räddningstjänsten kan inte göra insats vid dessa temperaturer, det vill säga inte heller de kommer att påverkas.

Insats kan göras via tvärförbindelser. Avståndet mellan tvärförbindelser är ca 90 m.

Exempel på åtgärder som krävs för att möjliggöra räddningsinsats är:

- Möjlighet till överfart för räddningsfordon enligt överenskommelse med räddningstjänsten.
- Brandposter i brandpostskåp installeras i tunneln i anslutning till utrymningsvägarna (tvärtunnlarna) med totala flödet 2500 l/min.
- Tomrör mellan olika tunnelrör vid utrymningsvägar (tvärtunnlar) anordnas.
- Brandmanöverskåp med utrustning för att kunna styra ventilationsutrustning vid brand, placeras i anslutning till tunnelmynningarna.
- Bommar (ej passerbara) vid infarter till huvudtunnel samt vid påfartsramper krävs för att säkerställa räddningstjänstens säkerhet.

Bärförmågan har analyserats, se 5.3.1. Brandgasventilation för räddningstjänstens insats har analyserats, se 5.2.2.

Identifierade risker har riskbedömts, se 4.7.

4.5. Påverkan på omgivningen

	Påverkan på omgivningen
H	Brandgasers påverkan på tredje man
I	Konstruktionens bärförmåga
J	Samhällsbelastning vid avbrott

Bebyggelse ovanpå överdäckning

Överdäckningen planeras med bebyggelse. Dess utformning är inte fastställd.

På följande sätt kan en olycka i tunneln påverka bebyggelsen på överdäckningen:

- Brand ger försämrad bärförmåga, vilket innebär risk för ras. Bärförmåga utreds i fördjupad analys. Verifiering av bärverk genomförs genom att säkerställa bärverkets förmåga att hantera ett fullständigt brandförlopp. Även känslighetsanalys genomförs. Se 5.3.1.
- Brandgaser (toxiska/ohälsosamma samt varma) sprids via tunnelmynningar och rampmynningar (samt eventuella framtida alternativa lösningar). Se 5.3.2.

Brand ovan tunnel bedöms vara ett betydligt mindre allvarligt scenario än brand i tunnel, och någon påverkan utöver den som hanteras i analys av bärverksförmåga uppstår inte. Dvs om en långvarig brand i tunneln inte kan påverka bebyggelsen på överdäckningen bedöms inte en brand i ovanliggande bebyggelse kunna påverka tunneln.

Problematiken med utströmmande brandgaser från rampmynningar och tunnelöppningar bedöms kunna åtgärdas genom att ett visst avstånd upprätthålls eller att krav eventuellt ställs på fönster (brandtekniskt klassade) samt att ventilation i åtminstone flerbostadshus utförs avstängningsbart.

Riskbedömning för detaljplan beskriver och hanterar dessa frågor. Bebyggelsens utformning är inte känd, men preliminära skisser ger att det finns ett avstånd mellan mynningar och fasader, då lokalgator ger en buffertzona. Eventuellt är detta inte fallet vid samtliga rampmynningar. Något exakt behov av avstånd har

inte utretts. Behov av avstånd beror på typ av bebyggelse, höjd på fönster, eventuella krav på fasad som kan ge förkortat avstånd etc.

Problematiken med utströmmande brandgaser bedöms översiktligt vara lösbart, och utgör framförallt (efter genomförda åtgärder) en belastning för räddningstjänst och orsakar oro, snarare än utgöra risk för att människor ska omkomma. Barn och känsliga individer är mer utsatta än vuxna.

Frågan riskbedöms, se 4.7, men utreds inte vidare eftersom byggnaders utformning ej är känd.

Omgivningen i övrigt

I tunnelns omgivning återfinns mestadels bebyggelse samt infrastruktur. Vid en brand i tunneln kan brandgaser påverka, vilket framförallt bedöms utgöra en risk för den kollektivtrafik som planeras gå på bro väster om Hisingsbron. Även övrigt vägnät kan påverkas av brandgaser, exempelvis vid rampmynningar.

Trafik på kollektivtrafikbron bör kunna stängas av vid en brand i tunneln, för att undvika att resenärer exponeras för brandgaser. Avseende bronns bärförmåga vid en brand på E45 eller vid utströmmande brandgaser är situationen inte värre än nuvarande situation (då kollektivtrafikbron projekterats utan hänsyn till tunnel) och ytterligare hänsyn behöver ej tas. Det är dock lämpligt att verifiera att brand under bron har beaktats vid dess projektering.

Några intilliggande riskkällor med påverkan på tunneln har ej identifierats. Drivmedelsstationer finns ej i direkt anslutning till tunneln. Frågan riskbedöms, men utreds inte vidare.

Samhällsbelastning vid avbrott

Vid en olycka i tunneln kan samhället i stort påverkas i och med att det uppstår en belastning på intilliggande vägnät. Det bedöms finnas goda möjligheter till viss omledning, även om vägnätet inte är dimensionerat för detta.

Omledningsvägar är inte utrett vidare.

Efter en brand i tunneln behöver återställning ske. Genom användandet av brandskivor minskas tiden för återställning, då dessa kan bytas ut, vilket tar kortare tid än att återställa påverkad betong. Frågan riskbedöms, se 4.7, men utreds inte vidare.

4.6. Påverkan på andra skyddsobjekt

	Övrigt
K	Underhållspersonals säkerhet vid brand

Vid brand i tunneln ska utrymningslarm även aktiveras i biutrymmen.

Utrymnings säkerhet har beaktats för dessa utrymmen, och krav på utrymningsvägar etc har ställts, se Brandskyddsbeskrivning.

Frågan riskbedöms, se 4.7.

4.7. Beroende av operatörer, system och tekniska säkerhetshöjande åtgärder

De system som ska aktiveras, såsom brandgasventilation, ska styras automatiskt, se Brandskyddsbeskrivning, vilket ger ett mindre beroende av operatörer.

De tekniska säkerhetshöjande åtgärder som installeras i tunneln ställer krav på drift och underhåll. För att undvika försvarande omständigheter och eventuella brister har en likhet med befintliga tunnlar eftersträvat. Befintlig driftsorganisation har erfarenhet av liknande tunnlar, vilket ökar sannolikheten för att drift och underhåll sker korrekt.

Kombinationer av skyddsåtgärder som finns för att hantera felhändelser ska finnas, se Brandskyddsbeskrivning, t.ex. redundans i kraftmatning.

Att säkerhetshöjande åtgärder felfungerar vid brand är en risk. Denna ska tas hänsyn till.

4.8. Resultat av grovanalysen

Baserat på de värderingar som gjorts i grovanalysen visas respektive identifierad skadehändelse i riskmatriserna nedan. Samtliga risker som värderats som röda, dvs "höga", behandlas i fördjupade analyser, för att avgöra behov av åtgärder. Endast risker med konsekvenser för egendom eller miljö återfinns i Figur 3.

		Frekvens- klass					
>1 gång/år	E						
1 gång /1-10 år	D				A		
1 gång/10-100 år	C						
1 gång / 100-1000 år <1 gång/1000 år	B		H	E	C, G	D, F	
	A				K	I	
		1	2	3	4	5	Konsekvens- klass , liv
		Övergående lindriga obehag	Enstaka skadade, varaktiga obehag	Enstaka svårt skadade, svåra obehag	Enstaka dödsfall, flera svårt skadade	Flera dödsfall, 10-tals svårt skadade	

Figur 2 Riskmatris avseende liv

Frekvens-
klass

>1 gång/år	E						
1 gång /1-10 år	D		A				
1 gång/10-100 år	C						
1 gång / 100-1000 år	B			J		B	
<1 gång/1000 år	A						
		1	2	3	4	5	Konsekvens- klass
		< 100 000 kr	100 000- 1 miljon kr	1-5 miljoner kr	5-20 miljoner kr	>20 miljoner kr	egendom,
		Ingen sanering, liten utbredning	Enkel sanering, liten utbredning	Enkel sanering, stor utbredning	Svår sanering, liten utbredning	Svår sanering, stor utbredning	miljö

Figur 3 Riskmatris avseende egendom, miljö

5. Fördjupade analyser

Nedan redogörs kort för de fördjupade analyser, som genomförts samt deras förutsättning:

Analytisk verifiering av utrymningssäkerheten samt brandgasventilation. Denna analys behandlar utrymmande trafikanter samt räddningstjänstens insats.

Analys av bärförmåga och värmeinträngning.

Denna analys behandlar, förutom bärförmåga och värmeinträngning, även påverkan på ledningar.

5.1. Dimensionerande personbelastning

Dimensionerande personantal inne i Gullbergstunneln antas vara cirka 100 personer per 100 meter tunnel i de delar av tunneln där det finns två stycken körbanor. Det antagna dimensionerande personantalet kan till exempel bestå av följande fordon:

- 1 buss (60 personer)
- 2 lastbilar (2 personer)
- 20 bilar (40 personer)

Dimensionerande personantal inne i den 150 meter långa påfartsrampen i nordväst antas vara cirka 100 personer (20 bilar och 1 buss).

Dimensionerande personantal inne i den 90 meter långa avfartsrampen i sydväst antas vara cirka 80 personer (10 bilar och 1 buss).

Dimensionerande personantal inne i den 80 meter långa påfartsrampen i sydöst antas vara cirka 110 personer (25 bilar och 1 buss).

Dimensionerande personantal inne i den 65 meter långa avfartsrampen i nordost antas vara cirka 100 personer (20 bilar och 1 buss).

5.2. Utrymning och brandgasventilation

Huvudscenariot omfattar händelser som innebär en allvarlig (s.k. värsta troliga) brand där alla brandskyddsinstallationer och övriga tekniska system fungerar som avsett. Känslighetsanalysen omfattar en grupp av scenarier där de tekniska system görs otillgängliga var för sig, eller där andra förutsättningar relaterade till brandförlopp och utrymning förändras på ett negativt sätt.

Brand som anläggs uppsåtligen har inte större konsekvenser än de som kan förväntas uppstå i lastbil. Kameraövervakning möjliggör upptäckt av sådan brand, samt annat sabotage.

5.2.1. Säkerhet vid utrymning för trafikanter

Utrymning ska ske till motsatt tunnelröret. För att säkerställa att det andra tunnelröret förblir en säker plats används reverserade fläktar och eventuellt en "näsa" (mur) för att hindra att brandgaser strömmar in i detta rör. För att hindra

att brandgaser tränger in vid utrymningsdörrar används dubbla dörrar (sluss) samt övertryckssättning.

Fönster i utrymningsväg samt tydliga meddelanden om att utrymning ska ske via utrymningsväg och att motsatt rör är en säker plats ger ökad trygghet.

Huvudtunneln har alltid ett utrymme om minst 1,2 m på höger sida samt minst 0,9 m på vänster sida (vägren samt utrymme för utrymmande trafikanter). Det finns goda möjligheter till förflyttning till utrymningsväg.

Resenärer i bussar har beaktats, och tid för deras utrymning har studerats i analyser.

När säkerheten utvärderas för huvudscenariot i tunneln ska utrymning kunna ske under mycket goda förhållanden. Det innebär att personer ska kunna lämna tunneln med god förmåga att orientera sig och utan att exponeras för några direkta mängder rök. I känslighetsanalyserna samt för scenarier i ramperna, tillåts personer påverkas av branden på ett annat sätt genom att de dels kommer utrymma i tätare rök och att de även exponeras för toxiska brandgaser och värme. Förhållandena ska dock aldrig vara sådana att personerna förlorar sin förmåga att hitta ut. Följande indata och förutsättningar är gemensamma för samtliga scenarier:

Brandförloppet:

- Effektivt värmevärde: 25 MJ/kg.
- Sotproduktion: 0,1 g/g.
- CO-produktion: 0,1 g/g.
- CO₂-produktion: 2,5 g/g.

Brandgasventilation (i huvudtunneln):

- Aktivering inom 2 min.
- Branden slår ut en fläktgrupp, vilket gör att 4 av 5 fläktgrupper antas fungera.
- Luftflöde: 28 m³/s per fläktgrupp.

Utrymningsförloppet:

- Utrymningslarm aktiverar inom 4 min.
- Utrymningsvägen närmst branden förutsätts blockeras av branden.
- Köbildningen sker alltid uppströms branden.
- Varseblivnings- och förberedelsetiden beror på var i tunneln som en specifik person befinner sig. Med stöd från rapporten *Räddningsinsatser i vägtunnlar* (2005) antas en linjär linje som visar hur varseblivnings- och förberedelsetiden ökar per meter bort från branden som en specifik person befinner sig. Hur varseblivnings- och förberedelsetiden antas variera med avstånd från branden i denna analys illustreras i Figur 7 i utredning Analytisk verifiering av utrymningssäkerheten samt brandgasventilation (bilaga till Brandskyddsbeskrivningen).

Kriterier för kritisk påverkan:

- Huvudscenario i tunneln: Siktsträcka 10 m
- Känslighetsanalyser i tunneln och scenarier i ramperna: FED < 0,3.

5.2.2. Möjlighet till räddningsinsats

Möjligheten till räddningsinsats bedöms som god om det finns förutsättningar att skapa en brandgasfri miljö uppströms trafikriktningen. Räddningstjänsten kan då angripa branden under trygga förhållanden och genomföra en effektiv räddningsinsats. När möjligheten till räddningsinsats utvärderas beaktas endast ett brandscenario. I denna analys studeras endast möjligheten till räddningsinsats inne i huvudtunnelrören. Följande indata och förutsättningar används:

Brandförloppet:

- Effektivt värmevärde: 25 MJ/kg.
- Sotproduktion: 0,1 g/g.
- CO-produktion: 0,1 g/g.
- CO₂-produktion: 2,5 g/g.

Brandgasventilation (i huvudtunneln):

- Aktivering inom 2 min.
- Branden slår ut en fläktgrupp, vilket gör att 4 av 5 fläktgrupper antas fungera.
- Luftflöde: Initial 28 m³/s per fläktgrupp. Kan ökas till 60 m³/s per fläktgrupp.

Kriterier för kritisk påverkan:

- Utbredningen av brandgaser uppströms branden ska begränsas till ett område på c:a 10 m från branden.

5.3. Bärförmåga och temperaturinträngning

5.3.1. Tunnelkonstruktion

En konservativ tumregel är att betong förlorar sin hållfasthet helt runt 500 °C , på grund av dess materialegenskaper. Ett annat framträdande problem med brandutsatt betong är spjälkning. Spjälkning kan blottlägga armeringsjärn och drastiskt försämra hållfastheten i konstruktionen. Detta kan i sin tur påverka tunnelns konstruktion, utrymmande trafikanter, räddningstjänsten vid pågående insats samt bebyggelse ovanpå.

För att analysera vilka temperaturer som kan uppstå vid olika scenarion i tunneln har värmeflödesanalyser på de olika vägg- och taktjocklekarna genomförts med hjälp av programmet TASEF. De analyserade konstruktionsdelarna tar endast upp förslag till lösningar på brandskydd, andra sätt att skydda konstruktionen kan förekomma. De brandkurvor som används knyter an till krav i TRVK Tunnel 11 som anger att konstruktionen skall bibehålla sin funktion i minst 180 min samt avsvälning med 600°C per timme.

Taket analyserades i TASEF där en tjocklek på 1500 mm ansattes utifrån preliminära konstruktionsritningar. Inga antaganden kring placering av armeringsjärn eller tjocklek på betongtäcksikt är gjorda i detta skede. Betongkvalitén antas vara normalpresterande betong C35/45 med 0 % fukthalt. 0 % fukthalt ses som ytterst konservativt då vatten som förångas kräver energi, dvs. kyler betongen, vilket i sin tur ger en mindre uppvärmning i betongen. I verkligheten är aldrig betong helt torr, framförallt inte i en vägtunnel.

På grund av rådande scenario antas väggarna anta samma temperatur som taket vid brand. Detta innebär att respektive brandkurva medför samma inträngningsdjup i väggarna som i taket förutsatt att samma betongkvalité används. Detta antagande ses som konservativt och kan utredas ytterligare vid behov i ett senare skede.

Enligt värmeanalyserna fortsätter värmeinträngningen även efter att brandkurvorna övergått till avsvlningsfas, och den högsta temperaturen uppnås ca: 200 min efter brandens utbrott under givna förutsättningar. 500 °C isotermen ligger då ca 50-60mm in i materialet i värsta fallet, och det är således den uppvärmningen man bör motverka för att bibehålla hållfasthet i både betong och armeringsjärn. Det är tydligt i analyserna att det är långa brandförlopp som ger störst reduktion i hållfasthet jämfört med snabba, mer intensiva, brandförlopp med högre temperaturer.

Nya drivmedel används numera i allt större utsträckning, såsom LPG, vätgas och elbilar (batterier). I och med att tunneln dimensioneras för ett fullt brandförlopp med avseende på bärförmåga bedöms genomförda analyser täcka även framtida bränslen (inom överskådlig tid). Det är tydligt i den fördjupade analysen att det är långa brandförlopp som ger störst reduktion i hållfasthet jämfört med snabba, mer intensiva, brandförlopp med högre temperaturer.

Aktuell utformning av tunneln uppfyller ovanstående krav. Fortsatt arbete ska säkerställa att även detaljutformningen av tunneln uppfyller dessa krav.

5.3.2. Ledningar

Ledningar med fjärrkyla, fjärrvärme, avlopp och vatten önskas i tunnelkonstruktionen, vilket normalt sett inte accepteras om de ej tillhör tunneln. För att eventuella sådana ledningar inte ska påverka utrymmande trafikanter i händelse av brand samt att ett läckage inte ska påverka tunneln bedöms följande åtgärder krävas:

- Avstängningsmöjlighet ska finnas
- Läckage ska kunna upptäckas. Någon form av larm bör finnas.
- Rör ska vara dubbelmantlade.
- Ledningar ska skyddas mot brand genom att uppföras i REI 90.

Andra åtgärder kan ge motsvarande resultat. Frågan är inte detaljutredd och dispens ska eventuellt ansökas om.

I vissa delar av tunneln består taket av vägbroar där det kan komma att löpa rörledningar. En av dessa ledningar kan komma att vara fjärrvärme, vilken är temperaturkänslig. Tryckökningen som sker då vattnet i ledningen övergår till ånga är markant, och för att undvika detta kan man med ett konservativt antagande begränsa temperaturpåverkan vid dessa rör till max 100 °C, och därmed förhindra att vattnet i ledningen kokar.

Broarna analyseras med avseende på hur långt in i tvärsnittet temperaturen uppnår 100 °C. HC kurvan inklusive avsvlningsfas medför att 100 °C uppnås 280 mm in i materialet, räknat från underkant. Detta inträngningsdjup uppnås efter ca 600 min.

6. Åtgärder

Nedan redogörs för de säkerhetshöjande åtgärder som arbetet med tunnelsäkerhet gett upphov till. Samtliga åtgärder hanteras även i andra dokument, såsom i Säkerhetskonceptet samt i Brandskyddsbeskrivningen, vilket också är det dokument där tekniska åtgärder kravställs och specificeras. Nedanstående är enbart en förkortad genomgång av de åtgärder som vidtas.

6.1. Köbildning

Köbildning kan ske vid speciella situationer, såsom vid en olycka. Av denna anledning har köbildningen hanterats som en del av känslighetsanalysen. Detta innebär att köbildning beaktats, men enbart i kombination med en bilbrand (10MW).

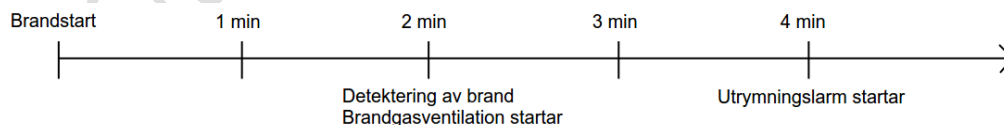
6.2. Utrymnings säkerhet

Analytisk verifiering av utrymnings säkerhet har resulterat i ett flertal åtgärder som är en förutsättning för att utrymning ska ske på ett säkert sätt, t.ex.:

- Avstånd mellan tvärförbindelserna (utrymningsvägar) är ca 90 m.
- Krav på aktivering av fläktar inom 2 min efter brands uppkomst.
- Krav på flätkapacitet om 28 m³/s under utrymning samt 60 m³/s vid räddningstjänstens insats. Angivelsen avser kapacitet vid ett antal specificerade positioner, dvs kapaciteten kan fördelas på flera fläktar.
- Ramperna utryms antingen via utrymningsvägar eller via tunnelmyrning. Denna fråga är ej löst till fullo, då rampernas utformning inte är fastställd.
- Belysta gångvägar och ledstänger (infällda).

6.3. Detektering

Detektering av brand förutsätts ske inom 2 minuter från brandstart. I figuren nedan illustreras vid vilken tidpunkt efter brandstart som brandgasventilationen förutsätts aktivera samt vid vilken tidpunkt efter brandstart som utrymningslarmet förutsätts aktivera.



Figur 2. Tidslinje för att illustrera hur långt efter brandstart som detektering av brand sker samt när brandgasventilationen och utrymningslarm förutsätts aktivera.

6.4. Utrymningslarm

Tunneln är försedd med utrymningslarm. Utrymningslarmet förutsätts aktivera 2 minuter efter detekterad brand (inom 4 min från brandstart).

6.5. Brandgasventilation

Huvudtunnelrören är försedda med längsgående brandgasventilation vilket innebär att brandgaserna skjuts framåt i trafikens riktning. Fläktarna aktiveras automatiskt vid detektering av brand och förutsätts starta cirka 2 minuter efter brandstart med en stegrande start på 1 minut.

6.6. Bärförmåga vid brand

Aktuell utformning av tunneln innebär att bärförmågan är beaktad. Fortsatt arbete ska ske, för att säkerställa att även detaljutformningen av tunneln uppfyller dessa krav.

För att skydda betongen från spjälkning kan brandskivor användas, men det är också möjligt att uppföra tunneln utan brandskivor. Brandskivorna kan efter eventuell brand bytas, vilket är svårare med skadad betong. Återställningstiden och avbrott i trafiken minskar därmed. Åtgärden bedöms vara lämplig, men är inte ett krav, utan endast en rekommendation utifrån riskanalysens perspektiv.

6.7. Teknikutrymme

Installationsutrymmen (kulvertar) och driftutrymmen utformas så att brandspridning till trafikutrymmen förhindras, enligt krav i brandskyddsbeskrivning (BSB).

6.8. Räddningstjänstens insats

Åtgärder som möjliggör insats är exempelvis brandvatten, brandgasventilation med hög kapacitet och mynningsskåp med utökade möjligheter till styrning.

För att undvika missuppfattningar vid insats finns kamera vid mynningsskåp. Dörrar till tvärförbindelser är även numrerade.

6.9. Trafikstyrning

Trafikstyrning behöver ske för att ett flertal förutsättningar för säkerhetsarbetet ska vara giltigt. Viktiga funktioner:

- *Ködetektor på avfartsramp*, med syfte att undvika att en "kö-svans" sträcker sig ut på E45. Vid stående trafik längst ned i rampen sker styrning så att trafiksignal ger grönt för trafik på rampen, och rött för lokalgators trafik.
- *Informationstavlor* Placeras i anslutning till tillfarter och ger möjlighet att leda om trafik.
- *Omställbara vägvisningsskyltar* Ger TIC möjligheter att under kontrollerade former leda bort trafik från tunnelsystemet.
- *Omställbara hastighetsskyltar* Ger TIC möjligheter att vid mindre störningar sänka hastigheten och minska risken för olyckor.
- *Omställbara körfältssignaler* Ger TIC möjligheter att vid mindre störningar stänga av visst körfält och minska risken för olyckor.

- *TV-kameror/videoupptagningar* Verifierar incidenter, olyckor samt möjliggör visuell övervakning. Videoupptagningar möjliggör att se vad som hänt omedelbart efter tidpunkten för detektering.
- *Passagekontroll* Övervakar att endast behörig personal befinner sig i tunnelns driftutrymmen. Kontrollpassagesystemet övervakar också utrymningsvägarnas dörrar.
- *Ködetektering* Registrerar långsamtgående kö.
- *Incidentvarningssystem* Registrerar stillastående fordon.
- *Hastighetsövervakning* Registrerar hastighet på fordon.

6.10. Bommar

Bommar, istället för enbart signaler, säkerställer att räddningstjänsten har möjlighet att komma fram i motsatt tunnelrör. Förekomst av bommar ger utökat skydd, utöver kravnivån. Ej passerbara bommar placeras på samtliga möjliga infarter/påfarter för att säkerställa stopp av trafik,.

6.1. Avsaknad av fast släcksystem

Fast släcksystem kommer inte att installeras.

Enligt TRVR ska: "Ett fast brandbekämpningssystem installeras om detta...medför uppenbart ökad personsäkerhet i tunneln eller om det är en förutsättning för bärförmågan vid brand." (TRVR B.3.5).

Ett fast släcksystem bedöms ge begränsad nytta vid de brandscenarion som studerat. Detta beror på att brandens storlek vid förväntad aktivering och effekt av släcksystemet är så pass stor att tiden till kritiska förhållanden inte påverkas alls eller bara marginellt.. Ett fast släcksystem bedöms därför främst kunna minska behovet av flätkapacitet vid räddningstjänstens insats, vilket inträffar efter genomförd utrymning. För närvarande har flätkapacitet dimensionerats utan hänsyn till fast släcksystem. Inte heller för bärförmågan behövs ett fast släcksystem i enlighet med verifierande beräkningar.

7. Verifiering av säkerhetskonceptet

Efter att utredningar har genomförts för att avgöra exempelvis behov av avstånd mellan utrymningsvägar för de dimensionerande scenarier som ansatts (se Bilaga till denna riskanalys för sammanställning samt fullständig redovisning i utredning Analytisk verifiering av utrymningssäkerheten samt brandgasventilation) samt att utredningarnas resultat har arbetats in i brandskyddsbeskrivning i form av krav kan säkerhetskonceptet verifieras. Detta sker genom att risker bedöms med hänsyn till ställda krav, åtgärder samt säkerhetskoncept. De åtgärder som tagits hänsyn till är samtliga krav som tagits fram och som anges i brandskyddsbeskrivningen (såsom fläktkapacitet, avstånd mellan utrymningsvägar, krav på upphängning osv).

Risker märkta med * är konsekvensbedömda med hänsyn till åtgärder, krav (specificerade i Brandskyddsbeskrivningen) och valt säkerhetskoncept.

		Frekvens- klass					
>1 gång/år	E						
1 gång /1-10 år	D						
1 gång/10-100 år	C						
1 gång / 100-1000 år <1 gång/1000 år	B		A*, E*, F*, G*, K*	C*, D*			
	A			I*			
		1	2	3	4	5	Kons ekve ns- klass
		Övergående lindriga obehag	Enstaka skadade, varaktiga obehag	Enstaka svårt skadade, svåra obehag	Enstaka dödsfall, flera svårt skadade	Flera dödsfall, 10-tals svårt skadade	, liv

Figur 2 Riskmatris avseende liv (verifiering av säkerhetskoncept)

Frekvens-
klass

>1 gång/år	E						
1 gång /1-10 år	D						
1 gång/10-100 år	C						
1 gång / 100-1000 år	B	A*	J*				
<1 gång/1000 år	A				B*		
		1	2	3	4	5	Konsekvens- klass
		< 100 000 kr	100 000- 1 miljon kr	1-5 miljoner kr	5-20 miljoner kr	>20 miljoner kr	egendom,
		Ingen sanering, liten utbredning	Enkel sanering, liten utbredning	Enkel sanering, stor utbredning	Svår sanering, liten utbredning	Svår sanering, stor utbredning	miljö

Figur 3 Riskmatris avseende egendom, miljö (verifiering av säkerhetskoncept)

I och med att samtliga risker bedöms som låga eller medelhöga, efter genomförda åtgärder enligt brandskyddsdocumentationen, kan valt säkerhetskoncept anses vara verifierat och säkerheten bedömas uppnå en tolerabel nivå.

8. Osäkerheter

De kvalitativa bedömningarna av riskerna som gjorts är grova och osäkerheterna i riskanalysen relativt omfattande. Dock har en konservativ uppskattning av riskernas omfattning gjorts för att inte underskatta riskerna.

De fördjupade analyser som genomförts är detaljerade, och slutsatser kring konsekvenser avseende de dimensionerande scenarierna är väl underbyggda.

Felfunktioner i de tekniska system som tunneln kommer att utrustas med är ej behandlade i detalj. Mänskligt beteende hos utrymmande trafikanter är också svårt att förutse.

I utförda beräkningar har osäkerheter behandlats separat.

Granskningshandling 2015-05-08

9. Slutsats

Ett mycket stort antal säkerhetshöjande åtgärder vidtas, både krav från regelverk och åtgärder utöver regelverk. De scenarier som bedömts vara representativa klaras i samtliga fall, det vill säga människor kan utrymma i tid, räddningstjänsten kan göra insats samt bärförmåga bibehålls. Detta görs möjligt genom att åtgärder genomförs.

I och med att samtliga risker bedöms som låga eller medelhöga, efter genomförda åtgärder enligt brandskyddsdocumentationen, kan valt säkerhetskoncept anses vara verifierat och säkerheten bedömas uppnå en tolerabel nivå.

Granskningshandling 2015-05-08

10. Referenser

Cowi (2012), *Risikanalyt Drift, Marieholmstunneln*, dokumentnummer 4C240002

Davidsson/Räddningsverket (2003), *Handbok för riskanalys*, ISBN 91-7253-178-9

Granskningshandling 2015-05-08


Bilaga A - Dimensionerande scenarier

De dimensionerande scenarier som tagits fram redovisas översiktligt i denna bilaga. För dessa har beräkningar avseende brandgaser och utrymning genomförts (se bilaga till Brandskyddsbeskrivningen), och åtgärder har vidtagits för att samtliga utrymmande ska nå säkra förhållanden innan kritiska förhållanden uppstår. Utförligare information om dimensionerande scenarier återfinns i bilaga till brandskyddsbeskrivningen.

Tabell 6 Scenarier i huvudtunneln och ramper

Scenarier i huvudtunnel

Brandscenario 1	Huvudscenario
Brandförlopp:	Maximal effekt: 30 MW (buss) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: Mitt i det södra tunnelröret samt mitt i det norra tunnelröret.
Brandgasventilation:	Ja, 4 av 5 fläktgrupper fungera
Utrymning:	100 personer per 100 m tunnel enligt avsnitt 2.3 Ingen köbildning nedströms trafikriktningen
Kriterier för kritisk påverkan:	Råd i TRVR Tunnel 11
Brandscenario 1A	Känslighetsanalys: Allvarligare brandförlopp
Brandförlopp:	Maximal effekt: 100 MW (lastbil) Tillväxthastighet: 0,19 kW/s ² Placering: Mitt i det södra tunnelröret, mitt i det norra tunnelröret samt nära den västra mynningen inne i det södra tunnelröret.
Brandgasventilation:	Ja, 4 av 5 fläktgrupper fungera
Utrymning:	100 personer per 100 m tunnel enligt avsnitt 2.3 Ingen köbildning nedströms trafikriktningen
Kriterier för kritisk påverkan:	FID < 0,3
Brandscenario 1B	Känslighetsanalys: Högre personbelastning
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: Mitt i det södra tunnelröret samt mitt i det norra tunnelröret.
Brandgasventilation:	Ja, 4 av 5 fläktgrupper fungera
Utrymning:	Ytterligare en buss med 60 personer antas befinna sig i zonen bakom branden vid brandstart, vilket resulterar i en personbelastning på ca 160 personer per 100 m tunnel. Ingen köbildning nedströms trafikriktningen
Kriterier för kritisk påverkan:	FID < 0,3

Brandscenario 1C	Känslighetsanalys: Köbildning
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: Mitt i det södra tunnelröret samt mitt i det norra tunnelröret.
Brandgasventilation:	Ja, 4 av 5 fläktgrupper fungera
Utrymning:	100 personer per 100 m tunnel enligt avsnitt 2.3 På grund av rådande köbildning antas personer befinna sig både uppströms och nedströms trafikriktningen. Detta illustreras i Figur 3 nedan.  <i>Figur 3. Skissen illustrerar rådande köbildning vilket innebär att fordon kommer befinna sig både uppströms och nedströms trafikriktningen. Notera att brandgasventilationen kommer trycka brandgaserna mot de personer som befinner sig nedströms trafikriktningen.</i>
Kriterier för kritisk påverkan:	FID < 0,3
Brandscenario 1D	Känslighetsanalys: Ingen brandgasventilation
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: Mitt i det södra tunnelröret samt mitt i det norra tunnelröret.
Brandgasventilation:	Nej, brandgasventilationen felfungera
Utrymning:	100 personer per 100 m tunnel enligt avsnitt 2.3 Ingen köbildning nedströms trafikriktningen
Kriterier för kritisk påverkan:	FID < 0,3
Brandscenario 1E	Känslighetsanalys: Inget utrymningslarm
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: Mitt i det södra tunnelröret samt mitt i det norra tunnelröret.
Brandgasventilation:	Ja, 4 av 5 fläktgrupper fungera
Utrymning:	100 personer per 100 m tunnel enligt avsnitt 2.3 Ingen köbildning nedströms trafikriktningen Utrymningslarmet felfungerar

Kriterier för kritisk påverkan:	FID < 0,3
---------------------------------	-----------

Scenarier i nordvästra påfartsrampen

Brandscenario 2	Huvudscenario
Brandförlopp:	Maximal effekt: 100 MW (lastbil) Tillväxthastighet: 0,19 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	100 personer i rampen, enligt avsnitt 2.3 Ingen köbildning nedströms trafikriktningen
Kriterier för kritisk påverkan:	FID < 0,3
Brandscenario 2A	Känslighetsanalys: Högre personbelastning
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	Ytterliggare en buss med 60 personer antas befinna sig inne i rampen bakom branden vilket ger ett dimensionerande personantal på cirka 160 personer inne i rampen. Ingen köbildning nedströms trafikriktningen
Kriterier för kritisk påverkan:	FID < 0,3
Brandscenario 2B	Känslighetsanalys: Inget utrymningslarm
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	100 personer i rampen, enligt avsnitt 2.3 Utrymningslarmet felfungerar Ingen köbildning nedströms trafikriktningen
Kriterier för kritisk påverkan:	FID < 0,3

Scenarier i sydvästra avfartsrampen

Brandscenario 3	Huvudscenario
------------------------	----------------------

Brandförlopp:	Maximal effekt: 100 MW (lastbil) Tillväxthastighet: 0,19 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	80 personer i rampen enligt avsnitt 2.3 Köbildning nedströms trafikriktningen under kort tid (1-1,5 min)
Brandscenario 3A	Känslighetsanalys: Högre personbelastning
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	Ytterliggare en buss med 60 personer antas befinna sig inne i rampen nedströms trafikriktningen, vilket resulterar i en personbelastning på ca 130 personer inne i rampen. Köbildning nedströms trafikriktningen under kort tid (1-1,5 min)
Brandscenario 3B	Känslighetsanalys: Köbildning
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	80 personer i rampen enligt avsnitt 2.3 På grund av felfungerande trafikstyrningssystem eller dylikt antas de fordon som befinner sig nedströms trafikriktningen inte ha möjlighet att köra ut ur rampen, vilket resulterar i köbildning nedströms trafikriktningen.
Brandscenario 3C	Känslighetsanalys: Inget utrymningslarm
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	80 personer i rampen enligt avsnitt 2.3 Köbildning nedströms trafikriktningen under kort tid (1-1,5 min) Utrymningslarmet felfungerar

Scenarier i sydöstra påfartsrampen

Brandscenario 4	Huvudscenario
Brandförlopp:	Maximal effekt: 100 MW (lastbil) Tillväxthastighet: 0,19 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	110 personer i rampen, enligt avsnitt 2.3 Ingen köbildning nedströms trafikriktningen
Kriterier för kritisk påverkan:	FID < 0,3
Brandscenario 4A	Känslighetsanalys: Högre personbelastning
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	Ytterliggare en buss med 60 personer antas befinna sig inne i rampen bakom branden vilket ger ett dimensionerande personantal på cirka 160 personer inne i rampen. Ingen köbildning nedströms trafikriktningen
Kriterier för kritisk påverkan:	FID < 0,3
Brandscenario 4B	Känslighetsanalys: Inget utrymningslarm
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	110 personer i rampen, enligt avsnitt 2.3 Utrymningslarmet felfungerar Ingen köbildning nedströms trafikriktningen
Kriterier för kritisk påverkan:	FID < 0,3

Scenarier i nordöstra avfartsrampen

Brandscenario 5	Huvudscenario
Brandförlopp:	Maximal effekt: 100 MW (lastbil) Tillväxthastighet: 0,19 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	100 personer i rampen enligt avsnitt 2.3

	Köbildning nedströms trafikriktningen under kort tid (1-1,5 min)
Brandscenario 5A	Känslighetsanalys: Högre personbelastning
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	Ytterligare en buss med 60 personer antas befinna sig inne i rampen nedströms trafikriktningen, vilket resulterar i en personbelastning på ca 160 personer inne i rampen. Köbildning nedströms trafikriktningen under kort tid (1-1,5 min)
Brandscenario 5B	Känslighetsanalys: Köbildning
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	100 personer i rampen enligt avsnitt 2.3 På grund av felfungerande trafikstyrningssystem eller dylikt antas de fordon som befinner sig nedströms trafikriktningen inte ha möjlighet att köra ut ur rampen, vilket resulterar i köbildning nedströms trafikriktningen.
Brandscenario 5C	Känslighetsanalys: Inget utrymningslarm
Brandförlopp:	Maximal effekt: 10 MW (personbil) Tillväxthastighet: 0,047 kW/s ² Placering: I botten på rampen
Brandgasventilation:	Finns ej
Utrymning:	100 personer i rampen enligt avsnitt 2.3 Köbildning nedströms trafikriktningen under kort tid (1-1,5 min) Utrymningslarmet felfungerar

Bilaga B – Protokoll

Protokoll

Objekt: Tunnelsäkerhet, E45

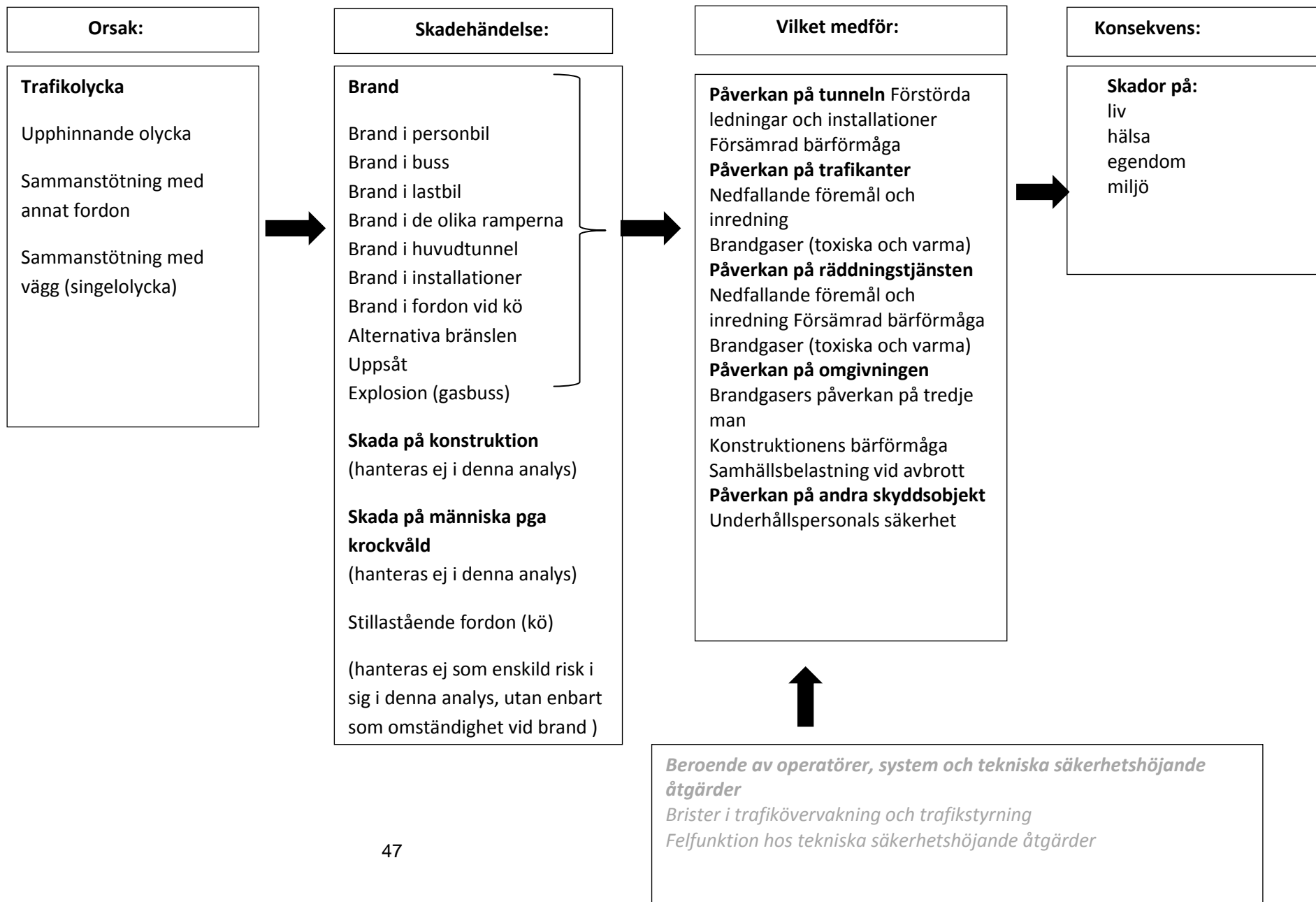
Datum: 2015-01-19, 2015-02-03, 2015-02-10, 2015-03-04, 2015-05-07

Deltagare: Cecilia Sandström, Lotta Fredholm, Emma Bengtsson, Emma Dahlstrand, Victor Bjälke, Emma Dahlstrand, Jimmy Theander, Fredrik Nystedt (samtliga var närvarande 2015-01-19, därefter har deltagande varierat).

Skadehändelse	Möjliga orsaker	Vilket medför (konsekvenser)	Kommentarer /åtgärder	Döpning	Riskvärdering (Konsekvens för L -Liv, E-Egendom, M- Miljö, S-Sannolikhet)				
					Före åtgärder (1-5, A-E)		Efter åtgärder(1- 5, A-E)		
					Initial analys, utan hänsyn till åtgärder och krav i BSB		Med hänsyn till BSB och fördjupade analyser		
					S	K	S	K	
Brand i fordon (bil, buss, lastbil).	Upphinnandeolycka (bil, buss, lastbil), sammanstötning pga stillastående eller	Förstörda ledningar och		A	D	4 (L) 2 (E)	B	2 (L) 1 (E)	

<p>Brand i installationer mm</p> <p>Brand i fordon vid kö</p> <p>Brand i fordon med alternativt bränsle (gas mm)</p> <p>Brand pga uppsåt</p> <p>Explosion, exempelvis orsakad av gasbuss</p>	långsamtgående fordon, sammanstötning med vägg	installationer						
		Skador på tunnelkonstruktion vid brand	Skador på egendom avses.	B	B	5 (E)	A	4 (E)
		Nedfallande föremål och inredning på utrymmande		C	B	4 (L)	B	3 (L)
		Brandgaser (toxiska och varma) som påverkar utrymmande		D	B	5 (L)	B	3 (L)
	Sabotage, kriminalitet, terrorism. Svårbedömt.	Nedfallande föremål och inredning på räddningstjänsten		E	B	3 (L)	B	2 (L)
	Trafikolycka med gasbuss, såsom upphinnandeolycka eller sammanstötning. Eller fel på komponent.	Försämrad bärförmåga, som påverkar räddningstjänsten i ett senare förlopp		F	B	5 (L)	B	2 (L)
		Brandgaser (toxiska och varma) som påverkar räddningstjänsten		G	B	4 (L)	B	2 (L)
		Brandgasers påverkan på		H	B	2 (L)	-	-

	tredje man (trafikanter, boende på överdäckningen)					
	Konstruktionens bärförmåga avseende bebyggelse ovanpå vid brand i tunnel	I	A	5 (L)	A	3 (L)
	Samhällsbelastning vid avbrott i tunneln, tex pga brand	J	B	3 (E)	B	2 (E)
	Underhållspersonals säkerhet	K	B	4 (L)	B	2 (L)





TRAFIKVERKET

Trafikverket, 405 33 Göteborg
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010- 123 50 00

www.trafikverket.se