

# Funktionsbaserade krav och rekommendationer för brandsäkerhet i vägtunnlar (FKR-BV12)

Jonatan Gehandler, Haukur Ingason, Anders Lönnermark, Håkan Frantzich och Michael Strömgren



# Funktionsbaserade krav och rekommendationer för brandsäkerhet i vägtunnlar (FKR-BV12)

Jonatan Gehandler, Haukur Ingason, Anders Lönnermark, Håkan Frantzich och Michael Strömgren

## **Abstract**

### **Performance-based requirements and recommendations for fire safety in road tunnels**

This report contains a background description for a new proposal for a Swedish performance-based design guide for fire safety in road tunnels. The proposal includes prescriptive requirements, performance-based requirements, and acceptable solutions. The results are given in an appendix showing the detailed text for six different fields of requirements. The proposed design guide has been developed by the authors together with the advisory group established for this work. It gives a state of the art model on how to create a hybrid of prescriptive and performance-based design guide for road tunnels.

Key words: tunnel fire safety, performance-based requirements, performance-based design, tunnelbrandsäkerhet, funktionsbaserade krav, funktionsbaserad design, analytisk dimensionering

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2012:48  
ISBN 978-91-87017-66-7  
ISSN 0284-5172  
Borås 2012

# Innehållsförteckning

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>Innehållsförteckning</b>	<b>4</b>
<b>Förord</b>	<b>6</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>7</b>
<b>Förkortningar</b>	<b>8</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>9</b>
1.1 Metod	9
1.2 Syfte, mål och avgränsningar	10
1.3 Bakgrund	11
1.3.1 Säkerhet	11
1.3.2 Vägprocessen: hur den fungerar i grova drag med erfarenhet av vad som inte fungerar fullt ut	12
1.3.3 Systemet	14
1.4 Grundförutsättningar	14
<b>2 Redogörelse av krav för brandsäkerhet i vägtunnlar</b>	<b>17</b>
2.1 Metodik	17
2.2 Huvudsakliga regelverk	17
2.2.1 PBL och PBF	17
2.2.2 Lag och förordning om säkerhet i vägtunnlar	17
2.2.3 Förordning om krisberedskap och höjd beredskap	19
2.2.4 Boverkets föreskrifter	20
2.2.5 Redogörelse för brandskydd och systematiskt brandskyddsarbete	21
2.3 Övriga föreskrifter och standarder som berör tunnelsäkerhet	22
2.3.1 Transport av farligt gods	22
2.3.2 Eurokoder	22
2.3.3 Trafikverkets tekniska kravspecifikationer	23
2.4 En struktur tar form	24
<b>3 Verifiering</b>	<b>25</b>
3.1 Bakgrund	25
3.1.1 Verifiering enligt lag	25
3.1.2 Verifiering enligt Tunnel 11 och Tunnel 2004	26
3.2 Förslag till verifieringsprinciper	26
3.2.1 Tunnelklassificering	26
3.2.2 Acceptabel säkerhet och verifiering	27
3.2.3 Verifiering och validering av processen	29
3.2.4 Säkerhet, organisation och underhåll i driftfasen	29
<b>4 Diskussion och motivering</b>	<b>29</b>
4.1 Övergripande struktur och allmänna förutsättningar	29
4.2 Analytisk dimensionering med scenarioanalys	30
4.3 Ledning, förvaltning och samverkan	31
4.4 Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgaser.	31
4.5 Möjlighet till utrymning	31
4.6 Möjlighet till räddningsinsatser	35
4.7 Bärförmåga	35

4.8	Skydd mot spridning av brand till andra byggnadsverk.	37
4.9	Sammanfattning	37
4.10	Kommentarer och rekommendationer	38
<b>5</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>Referenser</b>	<b>41</b>
<b>B.</b>	<b>Bilaga: Vägledning för brandsäkerhet i tunnel</b>	<b>44</b>

## Förord

Trafikverket har uttalat ett önskemål om att tydliggöra och förändra dagens föreskrifter och tillämpningsregler gällande säkerhet vid brand i vägtunnlar. Som ett led i detta initierade Bernt Freiholtz, tunnelexpert vid Trafikverket, en förstudie som undersökte möjligheterna för en mer funktionsbaserad tunnelutformning med avseende på säkerhet. Förstudien, har publicerats som SP Rapport 2009:51 och definierar aktuellt kunskaps- och forskningsläge samt beskriver behovet av vidare forskning. Arbetet som presenteras i denna rapport följer de förslag som angavs i SP Rapport 2009:51 om hur man bör ta fram en vägledning för brandsäkerhet i vägtunnlar. Utgångspunkten för en dimensionering för brandskyddet är att påvisa att tunneln uppfyller de fem grundkraven som är angivna i plan- och byggförordningen.

För att kunna genomföra arbetet på ett effektivt sätt tillsattes en referensgrupp som har aktivt deltagit i arbetet med framtagande av rapporten. De som har varit aktiva i referensgruppen är:

Bernt Freiholtz	Trafikverket
Ulf Lundström	Trafikverket
Harald Buvik	Statens Vegvesen, Norge
Johan Lundin	WSP
Bo Wahlström	Faveo
Henric Modig	Faveo
Johan Häggström	Brandskyddslaget
Sören Lundström	MSB
Suzanne De Laval	Arkitekturanalys
Andreas Johansson	Räddningstjänsten Storgöteborg
Jonas Andersson	Stockholm stad
Maria Marton	Transportstyrelsen
Anders Johansson	Boverket

Författarna vill framföra ett stort tack till referensgruppsmedlemmarna för deras insats.

## Sammanfattning

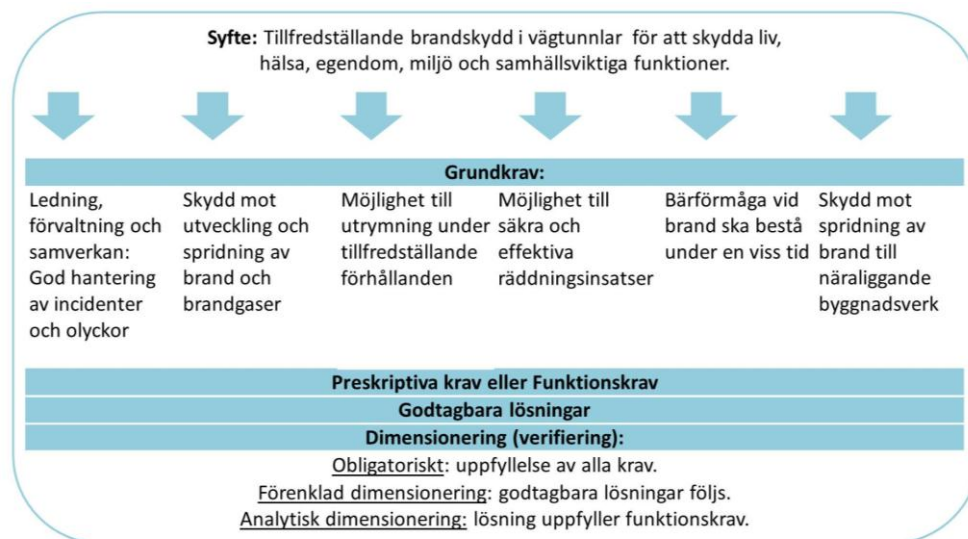
Utifrån gällande svenska regelverk för brandsäkerhet i tunnel har ett förslag utarbetats för kravställning och verifiering av brandsäkerhet i tunnel. Vägledningen har en struktur med syfte, grundkrav, preskriptiva krav, funktionskrav och godtagbara lösningar. Alla krav måste uppfyllas. Verifiering kan ske genom att godtagbara lösningar följs (förenklad dimensionering), eller så dimensioneras lösningen mot specificerade funktionskrav (analytisk dimensionering). Rekommendationer ges för hur en analytisk dimensionering kan gå till genom att använda scenarioanalys.

Rapporten beskriver bakgrund till kravformulering samt val av verifieringsmetod. Resulterande förslag till vägledning finns i sin helhet som bilaga till rapporten.

Sammanfattningsvis härrör kraven primärt ifrån följande regeltexter:

- Plan- och Bygglag 8 Kap, 4§,
- Plan- och Byggförordning 3 Kap, 8§,
- Lag och förordning om säkerhet i vägtunnlar (SFS, 2006:418, SFS, 2006:421),
- Lag och förordning om krisberedskap (SFS, 2006:942, SFS, 1992:1403),
- Lag om skydd mot olyckor 2 kap. 2 §.

Vägledningen har totalt tio kapitel. De första tre kapitlen beskriver allmänna förutsättningar och ger definitioner och systembeskrivning av ingående termer och system. Efterföljande sex kapitel innehåller huvudkraven för en brandsäker tunnel. En sammanfattning av dessa ges i *Figur 1*. Det sista kapitlet ger förslag på hur en analytisk dimensionering kan gå till genom användande av scenarioanalys.



*Figur 1* Schematisk bild över föreslagen vägledning. Övergripande syfte följs av sex grundkrav. Varje grundkrav har tillhörande preskriptiva krav, funktionskrav och godtagbara lösning. Verifiering sker antingen genom att dimensionera mot godtagbara lösningar eller funktionskrav. Alla krav måste uppfyllas.

Någon konsekvens analys av de formulerade krav- och verifieringsnivåerna har inte gjorts. De är istället definierade utifrån dagens praxis eller utifrån ett enklare riskanalysperspektiv (värsta troliga, eller värsta fall).

## Förkortningar

ADR-S	MSB:s föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng
BBR	Boverkets byggregler
BBRAD	Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd
BVT	Boverkets föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar
EKS-8	Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpningen av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)
FN-kurva	Riskkurva över frekvens och antalet omkomna
IRCC	Inter-jurisdictional Regulatory Collaboration Committee
LSO	Lagen om skydd mot olyckor
MSB	Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
NKB	Nordiska Kommittén för Byggbestämmelser
PBF	Plan- och byggförordning
PBL	Plan- och bygglagen
PIARC	Internationel vägorganisation
QRA	Kvantitativ riskanalys
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, and Safety
SFS	Svensk författningssamling
SRV	Statens räddningsverk (nuvarande MSB)
TRVK	Trafikverkets tekniska krav Tunnel
TRVR	Trafikverkets tekniska råd Tunnel

# 1 Inledning

Byggandet av tunnlar har ökat i omfattning, både i Sverige och internationellt. Transportpolitikens övergripande mål är att säkerhetsställa en samhällsekonomisk effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet. Nyckelord är tillgänglighet, hållbarhet, miljö, säkerhet och hälsa.

I förstudien till detta projekt lades grunden för varför och hur en ny vägledning för Sverige behöver och kan tas fram (Ingason et al., 2009). Trafikverket anser att dagens föreskrifter och rekommendationer kan uppfattas som alltför rigida. En funktionsbaserad vägledning skulle öppna upp för riskanalysbaserad dimensionering samt ge utrymme för alternativa utformningar. Idag fokuseras mycket på konsekvenserna av en brand men lite på frekvensreducerande åtgärder. Detta beror ofta på att man utgår ifrån ett förbestämt dimensionerande scenario som inte beror på en tunnels olycksstatistik (det vill säga sannolikhet).

Analytisk dimensionering är på frammarsch inom många olika områden, till exempel inom byggindustrin. Drivkraften till detta är att ge arkitekter och ingenjörer friare händer som tillåter bättre lösningar. Analytisk dimensionering är också ett verktyg för att möjliggöra nya lösningar som är anpassade till att samhällets krav har förändrats, till exempel kan ökade miljökrav omöjliggöra gamla schablonlösningar och därmed innebära nya utmaningar för hur man verifierar säkerheten. För att använda sig av analytisk dimensionering krävs tydliga och verifierbara funktionskrav. Analytisk dimensionering är dock ingen mirakellösning, brister såsom användande av icke verifierad praxis, ofullständig hantering av osäkerheter och bristande dokumentation har identifierats (Lundin, 2001). Erfarenhet visar att det är viktigt att kraven är **funktionsbaserade, tydliga och verifierbara**. Syftet med denna rapport är att formulera en vägledning med preskriptiva krav, funktionsbaserade krav, godtagbara lösningar samt föreslå rekommendationer för verifiering. Föreslagen vägledning kommer att refereras till som ”**vägledning**” eftersom den inte har någon officiell status.

## 1.1 Metod

I stort kommer föreslagen vägledning för tunnelbrandsäkerhet att efterlikna strukturen för Boverkets byggregler (BBR19, 2011). En struktur som liknar BBR anses vara positivt eftersom projekteringen av tunnlar då efterliknar metod och arbetssättet för byggbranschen i stort. BBR har dessutom nyligen genomgått en stor revideringen som förtydligar hur verifieringen av brandskyddet i byggnader bör ske.

Vägledningen har i stort sett en struktur och kravhierarki som utvecklades av Nordiska Kommittén för Byggbestämmelser (NKB) i början på 1970-talet och som internationellt kallas NKB-modellen (IRCC, 2010), se *Figur 2*.



Figur 2 NKB modellen över hur en vägledning kan struktureras.

Modellen som eftersträvas i denna rapport, Funktionsbaserade krav och rekommendationer för brandsäkerhet i vägtunnlar (FKR-BV12), kommer i stort att följa NKB modellen, men mer specifikt så följer FKR-BV12 strukturen i *Figur 3*. Verifiering kommer antingen att ske genom analytisk dimensionering eller förenklad dimensionering. Syfte anger varför FKR-BV12 finns. Grundkrav grupperar vägledningen i olika områden som krävs för att uppnå syftet. Varje grundkrav innehåller preskriptiva krav, funktionskrav och godtagbara lösningar.



Figur 3 Modell över vägledningens hierarkiska struktur. Högst upp i hierarkin finns ett generellt syfte, detta följs sedan av ett antal grundkrav som krävs för att uppfylla syftet. Varje grundkrav har i sin tur funktionskrav, preskriptiva krav och godtagbara lösningar definierade. Alla krav måste följas. Antingen väljer man att verifiera genom analytisk dimensionering mot funktionskrav, eller så väljer man att följa givna rekommendationer (godtagbara lösningar) och en förenklad dimensionering.

## 1.2 Syfte, mål och avgränsningar

Rapporten syftar att belysa mål- och kravformulering samt verifiering av brandsäkerhet i tunnlar för trafikanter och tredje man. Föreslagen vägledning ämnar leva upp till dagens regelverk. Ibland har olika typer av krav lagts till för att öka flexibiliteten i utformningen och för att spegla senaste forskning på området, men målet att dagens lagliga regelverk uppnås samtidigt som gestaltningen blir mer flexibel och tydlig. Brandsäkerheten under byggnation ingår inte. Resultatet är en generell tunnelvägledning för tunnlar längre än 100 m.

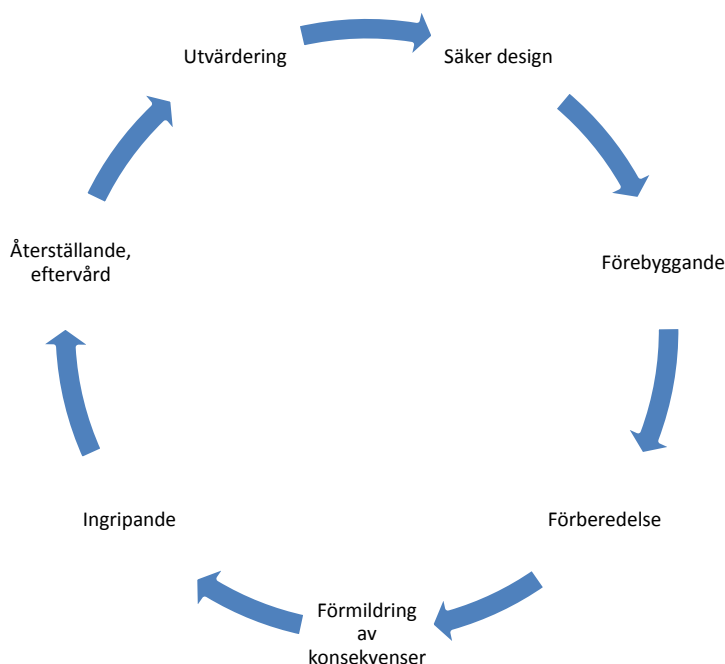
Rapporten inklusive vägledningen berör enbart tunnelprocessen övergripande. Allt som indirekt berör krav gällande brandsäkerhet ingår. Hur avvägningar mot andra regelverk, mål och krav (till exempel miljökrav eller insatssäkerhet för

räddningstjänst vid specifik insats) ska göras ingår inte. Vägledningen kravställer huvudsakligen brandsäkerheten, och i viss mån trafiksäkerheten, eftersom den i vissa fall har en stark koppling till förekomsten av bränder. Tunnel inklusive alla säkerhetsfunktioner ingår, det vill säga även till exempel driftorganisation ingår.

## 1.3 Bakgrund

### 1.3.1 Säkerhet

Säkerhet inkluderar tekniska system, en funktionell utformning, en hög tillförlitlighet och tillgänglighet, en utformning som främjar trafikantens upplevelse av säkerheten, en organisation som ser till att alla tekniska system underhålls och att trafikstyrning och olyckshantering kontinuerligt förbättras genom övningar, procedurer och en tydlig ansvarsfördelning. Åtgärder bör vidtas i alla faser i säkerhetsarbetet, se *Figur 4*: Utformningen bör vara säker i sig och faror bör så långt som möjligt byggas bort. Sannolikheten för fel eller olycka bör minimeras så långt som rimligen möjligt. Organisationen bör kunna hantera incidenter och olyckor som är troliga och vara förberedd på att hantera dem som är mindre sannolika. Konsekvenserna av en olycka bör reduceras så långt som rimligen möjligt. Räddningspersonal och tunnelorganisation bör kunna samverka i effektiva insatser såsom släckning av bränder eller bortbogsering av hinder. Efter incidenter bör tunneln snabbt kunna återställas i driftklart skick. Tunnelorganisationen och samhällets olyckshanterande organisationer bör dra lärdom av inträffade olyckor, incidenter och övningar.



*Figur 4 Säkerhetscirkeln. God säkerhet uppnås genom att beakta alla steg i cirkeln. De tidiga stegen är enligt PIARC generellt mest effektiva (PIARC, 2007, Gehandler et al., 2012).*

Säkerhet uppnås alltså genom ett kontinuerligt säkerhetsarbete. Att till exempel med vägledningen som grund visa att en gestaltning är tillräckligt säker är ingen garanti för säkerhet under drift. Processen under hela projekteringen är viktig för att tunnelns säkerhet vid idrifttagande ska uppnås och driftorganisationens kontinuerliga arbete är en garant för säkerhet under tunnelns hela liv.

### 1.3.2 Vägprocessen: hur den fungerar i grova drag med erfarenhet av vad som inte fungerar fullt ut

Vicki Johansson har skrivit en bok om ”vägen till en väg” (Johansson, 2011). Boken handlar om hur planeringsprocessen för att bygga en väg går till i praktiken. Författarna har även genomfört öppna intervjuer med Bo Wahlström och Johan Lundin (Lundin, 2012, Wahlström, 2012), som jobbat med att driva flera tunnelprojekt, både på beställarsidan och utförandesidan. Trafikverket ger ut instruktioner för hur utredning och planering ska gå till av företag på sin hemsida. Observera att nya PBL har en enklare planhantering än den som Johanssons bok är baserad på.

Byggandet av en tunnel, liksom en väg föregås av en ofta utdragen process som styrs av många regelverk, lokal, regional och nationell politik samt andra aktörers gillande eller ogillande. Flera av de transportpolitiska målen är ganska svåra att kvantifiera. De är ofta kopplade till en allmänt hållen positiv värdekomponent som dock kan tolkas på diametralt skilda sätt. Begrepp såsom ”hållbar” eller ”acceptabel” tolkas av olika grupper och individer på olika sätt. Alltså finns det ganska stora tolkningsutrymmen och möjligheter för varje enskilt projekt att påverkas i olika riktningar inom ramarna för de transportpolitiska målen (Johansson, 2011).

Tunnlar är ett bygnadsverk som omfattas av plan- och bygglagen. Både tunnlar och vägar följer en liknande planeringsprocess eftersom Trafikverket ofta ansvarar för båda. Planeringsprocessen för en väg eller tunnel kan delas in i fyra faser som logiskt följer varandra: förstudie, vägutredning, arbetsplan och bygghandling (Johansson, 2011).

I **förstudien** görs en problembeskrivning utifrån olika teman såsom framkomlighet, säkerhet, tillgänglighet och miljö. Om slutsatsen av studien blir att en om- eller nybyggnad är nödvändig utformas ett förslag på vilket geografiskt område som omfattas samt en beskrivning av dess karaktär. Efter samråd med berörda parter bestämmer Trafikverket om projektet ska drivas vidare eller inte (Johansson, 2011). Om en tunnel ingår som en möjlig lösning i en vägkorridor kan information gällande tunnlar sökas för att öka kunskapen. Om det sedan fattas ett beslut att gå vidare startas en vägutredning.

I **vägutredningsfasen** ska för- och nackdelar med olika vägsträckningar och trafikteknisk standard utredas. Alternativen ska jämföras med alternativet att inte vidta några åtgärder alls samt alternativet att förbättra befintlig väg. Med minsta möjliga ingrepp i miljön vill man lösa de transportproblem som identifierats. En miljökonsekvensbeskrivning för vilken miljöbalkens regler tillämpas ska ingå i vägutredningen. I slutet av vägutredningsfasen lämnas ett förslag till regeringen om vilken vägkorridor som bör användas vid den fortsatta projekteringen (Johansson, 2011). För den korridor som väljs bestäms i princip ifall en tunnel ingår eller inte. I vägutredningen är huvudsakligen Trafikverket och berörda kommuner inblandade. Framförallt är det översiktsplaner och exploateringsplaner som berörs hos kommuner (Lundin, 2012, Wahlström, 2012). När regeringen gett sitt godkännande går projektet in i nästa fas.

I **arbetsplaneskedet** detaljplaneras vägen eller tunneln. Mark och utrymme tas efter samråd med berörda aktörer i anspråk. I arbetsplanen prövas den föreslagna korridoren mot gällande regelverk, framförallt miljöbalken med Länsstyrelsen som motpart (Johansson, 2011). För tunnlar görs det huvudsakliga säkerhetsarbetet där även tunnel och brandspecifika regelverk är aktuella. Diskussioner förs till exempel gällande utrymning, mötande trafik, kulturmiljö, och miljöpåverkan. Eftersom man studerar gällande lagar krävs många detaljer om tunneln som ibland kan vara svåra

att ta fram i detalj eftersom det trots allt är ett väldigt tidigt skede. Många processer pågår samtidigt. Kommuners översiktsplaner måste överstämja med förslaget. Länsstyrelsen väger alla intressen enligt miljöbalken. Kommuner och räddningstjänst dömer mot plan- och bygglagen (PBL). I miljöbalken finns en tydlig arbetsprocess som saknas i PBL, men som PBL ibland hänvisar till. Trafikverket och Länsstyrelsen ansvarar för helhetssyn genom miljöbalken och Tunnel 11. En svårighet i miljöbalken är att väga in alltifrån personsäkerhet till påverkan på groddjur. För byggnader görs en systemhandling innan bygghandlingen, Trafikverket har ingen sådan process, men man har börjat använda det eftersom tunnlar trots allt är ganska komplexa byggnadsverk. En systemhandling behövs inte för en vanlig väg. Systemhandlingen utarbetas parallellt med arbetsplanen (Lundin, 2012, Wahlström, 2012).

Systemhandlingen beskriver anläggningen och dess olika delar, det vill säga vilken teknik utgör del i tunneln och hur byggs de olika tekniska systemen upp. För att man ska kunna tala om hur stort vägutrymmet ska vara måste man veta hur teknikutrymmena ska ligga. För att veta det måste man veta vilken teknik som ska installeras. Varje teknikutrymme ger teknik åt ett teknikstråk (en avgränsad del av tunneln). Till exempel bestäms teknikutrymmena och teknikstråken av rekommenderad längd för en strömkabel till belysningen och övergripande specifikationer för ventilationssystemet. Efter arbetsplan och systemhandling är en preliminär utformning för tunneln klar, sedan går projektet in i bygghandlingen då målet är att se till att den preliminära utformningen tar en mer konkret form.

**I bygghandlingsfasen** tas en instruktionsmanual för hur vägen ska byggas fram. För detta måste många fältarbeten genomföras. Bygghandlingen används sedan som ett förfrågningsunderlag för de företag som är intresserade av att bygga vägen. Bygghandlingen nämns inte i något regelverk och kan inte överklagas (Johansson, 2011). Bygghandlingen syftar till att få alla system att fungera. Till huvuduppgifterna hör optimering och detaljspecifikationer av vad som bestämdes i arbetsplanen. En ny upphandling kan göras av konsulter varför det inte nödvändigtvis är samma personer som tog fram arbetsplanen. Ett mindre antal personer är verksamma här med utredning, och fler arbetar med den faktiska utformningen. Dock finns ofta brister här eftersom mest fokus på utformning av säkerhet har lagts i arbetsplanskedet. Erfarenhet visar att det finns en risk för att konstruktörer tappar intresset i bygghandlingsfasen och det finns inga rutiner för verifiering av att allt som bestämdes i arbetsplanen utförs. Samordning och underhållsplaner görs sällan (Lundin, 2012, Wahlström, 2012).

I slutet av alla faser, och ibland under faserna hålls ett möte som kallas för samrådsmöte där allmänhet eller berörda parter ibland kan delta. Detta inkluderar räddningstjänsten, konsulter, Trafikverkets experter, samt tredjepartsgranskare. Syftet är egentligen att föra en öppen diskussion kring samhällsrelevanta frågor såsom säkerhet. Men mötet upplevs ofta mer som ett informationsmöte från Trafikverkets sida. Riskevaluering och beslut ska tas utifrån de ovan nämnda fyra parternas åsikter, men för många viktiga system blir det Trafikverket som styr utan något samråd (Lundin, 2012, Wahlström, 2012).

Insynen och samråden minskar vanligtvis i bygghandlingsfasen. I slutet av arbetsplanen godkänns systemet, men sedan i bygghandlingen kan ändringar utföras, med godkännande av Trafikverket, som inte granskas av någon motstående part, såsom kommuner eller landsting. Argument som ofta används är att om man kan göra besparingar så bör de göras. För byggnader finns en byggnadsnämnd som ska verifiera att systemhandlingen följs. För tunnlar saknas en sådan part i bygghandlingskedet. Dock har det nyligen tillkommit två parter,

säkerhetssamordnare och tunnelmyndighet, eventuellt kommer de att utföra en sådan funktion. Ett annat problem med att granska ett tunnelprojekt är mängden av handlingar (Lundin, 2012, Wahlström, 2012).

### 1.3.3 Systemet

Det är av stor betydelse att hela systemet tunnel-människa-fordon är säkert. Följande aspekters påverkan på utformningen av en tunnel bör inkluderas i vägledningen.

- Organisation och mänskliga aspekter, såsom mänskligt beteende vid brand, underhåll och räddningsinsatser.
- Byggnadsverksaspekter såsom brandmotstånd, ventilation och utrymningsvägar.
- Fordonsaspekter, bara det faktum att fordon går genom tunneln måste hanteras på ett bra sätt för att undvika olyckor och incidenter. Fordonen bidrar med både brännbart material och en antändningsrisk. Det skulle även vara en fördel om fordonen till exempel anpassades för att minimera brandrisk, men detta ligger utanför projektets ramar.

## 1.4 Grundförutsättningar

Det finns många regelverk som rör byggandet av en tunnel. I en intern utredning av konsortiet Förbifart Stockholm (Lundin and Langéen, 2011) gällande riskhantering i ett större tunnelprojekt identifierades följande regelverk:

- Väglagen
- Miljöbalken
- Plan- och bygglagen
- Lag om tekniska egenskapskrav (byggnadsverkslagen)<sup>1</sup>
- Lag om säkerhet i vägtunnlar
- Lag om transport av farligt gods
- Lag om skydd mot olyckor
- Arbetsmiljölagen
- Förordning om krisberedskap och höjd beredskap
- Interna föreskrifter

En avgränsning i detta projekt kring förslag till ny tunnelvägledning är att enbart titta på brandsäkerhetsaspekten varför vissa av dessa regelverk har en mindre inverkan, medan andra regelverk fokuserar specifikt på just säkerhet vid brand. Väglagen rör framförallt vägens utformning ur ett trafiksäkerhetsperspektiv. Arbetsmiljölagen omfattar framförallt tunneln under byggnation och insatssäkerhet för räddningstjänst vilket ligger utanför avgränsningarna (räddningstjänst ansvarar för dess personals säkerhet). Miljöbalken handlar om tunnelns inverkan på miljön. Vid en olycka innesluts människors hälsa i begreppet miljö. Miljöbalken berör därför brandsäkerhet indirekt, men ställer inga explicita krav på tunnelns brandsäkerhet. I arbetet med miljöbalken dokumenteras aspekter som härrör från andra regelverk såsom personsäkerhet vilket ju även innefattar brandsäkerhet. Detta medför att miljöbalken, eller snarare miljökonsekvensbeskrivningen utgör en omfattande dokumentation, men miljöbalken bedöms dock inte påverka utformningen av en vägledning för brandsäkerhet explicit, men dock bedöms vägledningen påverka miljökonsekvensbeskrivningen.

---

<sup>1</sup> Denna lag upphörde att gälla i maj 2011. De tekniska egenskapskraven numera finns i plan- och bygglagen.

Trafikverket har som övergripande mål ifrån Sveriges riskdag att:  
*”Säkerhetsställa en samhällsekonomiskt effektiv och långsiktigt hållbar transportförsörjning för medborgarna och näringslivet i hela landet*

- *Transportpolitikens funktionsmål: tillgänglighet*
- *Transportpolitikens hänsynsmål: Säkerhet, miljö och hälsa”*(Trafikverket, 2011).

Dessutom finns ett politiskt beslut om att dödsfall och allvarliga trafikolyckor ska gå mot noll, den så kallade nollvisionen.

Både myndigheter och regering är överens om att självräddningsprincipen ska tillämpas för tunnlar (Kecklund et al., 2007, Boverket, 2005).

Självräddningsprincipen innebär enligt Kecklund et al. (2007, p. 30) att *”på alla ställen där människor uppehåller sig ska det finnas möjlighet att rädda sig själv i en farlig situation.”* För vägtunnlar innebär detta att *”trafikanterna vid en utrymning ska kunna rädda sig själva ut ur tunneln med hjälp av de anvisningar och utrustning som finns i tunneln.”*

I plan- och bygglagen identifieras gällande brand i PBL, 4 § (2010:900):

*”Ett byggnadsverk ska ha de tekniska egenskaper som är väsentliga ifråga om [...] säkerhet i händelse av brand, [...] säkerhet vid användning”*

I plan- och byggförordning står det i 8 § (2011:338):

*”[...]ska ett byggnadsverk vara projekterat och utfört på ett sätt som innebär att*

- 1. byggnadsverkets bärförmåga vid brand kan antas bestå under en bestämd tid,*
- 2. utveckling och spridning av brand och rök inom byggnadsverket begränsas,*
- 3. spridning av brand till närliggande byggnadsverk begränsas,*
- 4. personer som befinner sig i byggnadsverket vid brand kan lämna det eller räddas på annat sätt, och*
- 5. hänsyn har tagits till räddningsmanskapers säkerhet vid brand.”*

Vid första anblick kan det verka som att förhindrande av uppkomsten till brand inte täcks in av de fem ”grundkraven”. Men, skulle man analysera arbetsdokumenten vid framtagningen av kraven finner man dock att man i ordet ”utveckling” har inkluderat förhindrande av uppkomsten av brand.

Det finns en lag och förordning om säkerhet i vägtunnlar (SFS, 2006:418, SFS, 2006:421), samt en författning (BVT1, 2007:11) för trafikanters säkerhet i nya vägtunnlar längre än 500 meter. I dessa finns framförallt administrativa och organisatoriska krav samt några tekniska detaljkrav.

De ovan nämnda kraven är ibland mer nivåsättande, och ibland mer krav- och målspecifika. Exempelvis är nollvisionen ett mål som rimligtvis inte formuleras som ett krav, utan snarare används som nivåsättande för andra krav. Nollvisionen säger inget om hur systemet bör utformas, bara vilken säkerhetsnivå som ska eftersträvas. Däremot specificerar till exempel själutrymningsprincipen en funktion som tunneln ska erbjuda. De viktigaste kraven för brandsäkerhet i tunnlar kommer ifrån:

- de fem grundkraven i Plan- och Byggförordningen (PBF, 2011:338),
- lag och förordning om säkerhet i vägtunnlar (SFS, 2006:418) med förordning (SFS, 2006:421),
- Boverkets föreskrifter om säkerhet i vägtunnlar (BVT1, 2007:11),
- lag om skydd mot olyckor (LSO, 2003:778),

- förordning (SFS, 2006:942) om krigsberedskap och höjd beredskap, och
- föreskrifter och råd gällande systematisk brandskydd (SRVFS, 2003:10, SRVFS, 2004:3).

Riktlinjer för nivåättning ges framförallt av:

- Trafikverkets mål gällande tillgänglighet, säkerhet, hälsa och miljö (Trafikverket, 2011),
- befintlig säkerhet i dagens tunnlar och kunskap som finns i dagens och tidigare tunnlar och tunnelstandarder,
- de fyra principerna om riskvärdering: rimlighetsprincipen, proportionalitetsprincipen, fördelningsprincipen och undvikande utav katastrofer (Davidsson et al., 2003),
- Nollvisionen om att ingen ska dödas eller skadas allvarligt till följd av en trafikolycka (Mattson, 2000).

Nivåättning hanteras framförallt i kapitel 3 och 4. Kravställning behandlas framförallt i kapitel 2.

Idag får Transportstyrelsen meddela föreskrifter för tunnlar enligt lag om säkerhet i vägtunnlar. Transportstyrelsen har ännu inte fastställt några nya föreskrifter. Gällande föreskrifter är därför de föreskrifter som Boverket gav ut 2007 vilka därför ligger till grund för rapporten. Det finns emellertid (2012) ett förslag på föreskrift från Transportstyrelsen ute på remiss.

## 2 Redogörelse av krav för brandsäkerhet i vägtunnlar

Detta avsnitt redovisar vilka krav (grundkrav, preskriptiva och funktionsbaserade) som finns för brandsäkerhet i tunnel. Utifrån dessa ges förslag till ny tunnelvägledning som finns i bilaga i denna rapport. Observera att 'godtagbara lösningar' i rapporten är synonymt med 'rekommendationer' i bilagan, detta för att spegla en mer klassisk terminologi i bilagan, och i rapporten används godtagbara lösningar eftersom vägledningen inte är föreskrivande i någon laglig mening.

### 2.1 Metodik

Utgående från PBL och PBF skapas en grundstruktur med funktioner en brandsäker tunnel måste ha. Sedan läggs krav till från andra regelverk. Slutligen kontrolleras vägledningen mot andra standarder och forskning. Vägledningen kommer att följa den struktur som beskrivs i *Figur 3* med grundkrav, preskriptiva eller funktionsbaserade krav och godtagbara lösningar. I analogi med Ruland och Snel (2010) eftersträvas att varje understående kravgrupp ska vara komplett, det vill säga om alla underliggande krav är uppfyllda ska det överordnade funktionen eller kravet också vara uppfyllt.

### 2.2 Huvudsakliga regelverk

I detta avsnitt redovisas de huvudsakliga regelverk som ställer krav på en vägtunnels brandsäkerhet. Termen regelverk innefattar lagar, förordningar och föreskrifter.

#### 2.2.1 PBL och PBF

I PBL och PBF hittas det övergripande syftet med brandsäkerhet i tunnel och fem grundkrav. Vägledningen ger förslag på funktioner och krav som ingår under respektive grundkrav.

Övergripande syfte är en brandsäker tunnel, säkerhet vid användning och för avsett ändamål (PBL). Traditionellt inom Analytisk dimensionering av brandskydd så lyfter man fram skydd av liv, egendom och miljö (Meacham and Custer, 1995). Ibland är också samhälls- eller näringslivsintressen av vikt. I fallet för tunnlar kan en stor olycka, förutom de direkta skadorna, få förödande konsekvenser för människor och näringsliv som har stor nytta av tunneln eller infrastrukturen i regionen, vilket även är uttryckt i de transportpolitiska målen (Trafikverket, 2011).

Fem grundkrav hämtas ifrån sidan 16 (PBF, 2011:338):

1. byggnadsverkets bärförmåga vid brand kan antas bestå under en bestämd tid,
2. utveckling och spridning av brand och rök inom byggnadsverket begränsas,
3. spridning av brand till närliggande byggnadsverk begränsas,
4. personer som befinner sig i byggnadsverket vid brand kan lämna det eller räddas på annat sätt, och
5. hänsyn har tagits till räddningsmanskaps säkerhet vid brand."

#### 2.2.2 Lag och förordning om säkerhet i vägtunnlar

Lagen om säkerhet i vägtunnlar gäller säkerhet för trafikanter i tunnlar längre än 500 m. Lagen hänvisar till andra myndigheter för mer specifika krav, men tar upp de områden som ska beaktas. De områden som rör brandsäkerhet är (SFS, 2006:418):

- 3 § En tunnel skall uppfylla föreskrivna säkerhetskrav i fråga om:
  1. antal tunnelrör och körfält,
  2. tunnelgeometri,

3. utrymningsvägar och nödutgångar,
4. tillträde för räddningspersonal,
5. nödfickor,
6. dränering,
7. brandmotstånd,
8. belysning,
9. ventilation,
10. räddningsstationer,
11. vattenförsörjning,
12. vägmärken, skyltar och information,
13. övervakningssystem,
14. utrustning för stängning av tunneln,
15. kommunikationssystem,
16. strömförsörjning och elkretsar,
17. brandsäker utrustning, och
18. trafiken i tunneln.

...

*6 § Tunnelhållaren skall*

1. sammanställa en säkerhetsdokumentation för tunneln och hålla den uppdaterad,
2. upprätta planer för organisationen och driften av tunneln,
3. utarbeta rutiner för stängning av tunneln i en nödsituation, och
4. upprätta rapporter över olyckor och allvarliga olyckstillbud i tunneln.

...

*11 § Tunnelhållaren skall se till att det genomförs regelbundna kontroller av en tunnel som är i drift. Kontroller skall genomföras minst vart sjätte år och omfatta alla föreskrivna säkerhetskrav.*

*12 § Tunnelhållaren, den kommunala organisationen för räddningstjänst och polismyndigheten skall årligen, i samarbete med säkerhetssamordnaren, genomföra gemensamma övningar i räddningsinsatser i en tunnel som är i drift.”*

Förordning om säkerhet i vägtunnlar (SFS, 2006:421) innehåller föreskrifter om tillämpningen av lag 2006:418. Även denna förordning gäller enbart tunnlar längre än 500 meter. En säkerhetsdokumentation skall upprättas enligt paragraf 9-12 (SFS, 2006:421):

*”9 § En säkerhetsdokumentation enligt 6 § 1 lagen (2006:418) om säkerhet i vägtunnlar skall innehålla en beskrivning av de förebyggande åtgärder och säkerhetsåtgärder som behövs*

1. för att garantera säkerheten för trafikanterna, med beaktande även av personer med funktionshinder eller nedsatt rörelseförmåga,
2. med hänsyn till hur tunneln är uppbyggd i stort, och
3. med hänsyn till tunnelns omgivning, trafikens karaktär och möjliga räddningsinsatser.

...

*11 § När en tunnel är färdig att tas i drift skall säkerhetsdokumentationen, utöver vad som anges i 10 §, innehålla*

1. en beskrivning av organisationen för att säkra driften och underhållet av tunneln,
2. en plan för räddningsinsatser, som särskilt tar hänsyn till de behov som personer med funktionshinder eller nedsatt rörelseförmåga har, och

3. en beskrivning av hur olyckor och allvarliga olyckstillbud skall rapporteras.

...

12 § När en tunnel är i drift skall säkerhetsdokumentationen, utöver vad som anges i 10 och 11 §, innehålla

1. en beskrivning med analys av de olyckor och allvarliga olyckstillbud som har inträffat i tunneln, och
2. en förteckning över de övningar i räddningsinsatser som har genomförts och en analys av dessa.”

Andra krav gäller samordning och övning:

”14 § Säkerhetssamordnaren skall, utöver vad som är särskilt föreskrivet,

1. säkerställa samordningen med den kommunala organisationen för räddningstjänst,
2. delta i utarbetandet av planer för driften av tunneln,
3. bistå den kommunala organisationen för räddningstjänst vid planeringen, genomförandet och utvärderingen av räddningsinsatser,
4. delta i utarbetandet av säkerhetsplaner och specifikationer för stomme, utrustning och drift,
5. kontrollera att tunnelhållaren ger driftspersonal och räddningspersonal den utbildning som behövs,
6. ge råd när stomme och utrustning tas i drift samt vid driften av tunneln i övrigt,
7. kontrollera att stomme och utrustning underhålls och repareras, och
8. delta i utvärderingen av alla olyckor och olyckstillbud enligt 31 §.

...

25 § Övningar i räddningsinsatser enligt 12 § lagen (2006:418) om säkerhet i vägtunnlar skall genomföras under realistiska förhållanden i syfte att uppnå tydliga utvärderingsresultat av tunnelns säkerhet.

Säkerhetssamordnaren skall i samarbete med den kommunala organisationen för räddningstjänst och polismyndigheten upprätta en rapport över varje övning. Rapporten skall innehålla en utvärdering av övningen och de förslag till förbättringar av säkerheten som behövs. Säkerhetssamordnaren skall skicka rapporten till tunnelhållaren. Tunnelhållaren skall med eget yttrande överlämna rapporten till tunnelmyndigheten. Tunnelhållaren skall skicka sitt yttrande även till säkerhetssamordnaren.

...

28 § Innan en tunnel tas i bruk för allmän trafik skall tunnelhållaren genomföra riskanalyser som avser omkörning med tunga lastbilar i tunneln och transport av farligt gods i tunneln. Riskanalyserna skall sändas till den eller de myndigheter som har rätt att meddela lokala trafikföreskrifter i dessa avseenden.”(SFS, 2006:421)

### 2.2.3 Förordning om krisberedskap och höjd beredskap

Enligt lag (SFS, 1992:1403) om totalförsvaret och höjd beredskap ska civilverksamhet utformas så att samhällets förmåga att förebygga och hantera svåra påfrestningar stärks. I förordning (SFS, 2006:942) om krisberedskap och höjd beredskap preciseras kravet för bland annat Transportstyrelsen och Trafikverket:

”1 § Bestämmelserna i denna förordning syftar till att statliga myndigheter genom sin verksamhet skall minska sårbarheten i samhället och utveckla en god förmåga att hantera sina uppgifter under fredstida krissituationer och höjd beredskap.

...

4 § I denna förordning avses med krisberedskap: förmågan att genom utbildning, övning och andra åtgärder samt genom den organisation och de strukturer som skapas före, under och efter en kris förebygga, motstå och hantera krissituationer...

5 § Varje myndighet, vars ansvarsområde berörs av en krissituation, skall vidta de åtgärder som behövs för att hantera konsekvenserna av denna. Myndigheterna skall samverka och stödja varandra vid en sådan krissituation.

...

9 § Varje myndighet ska i syfte att stärka sin egen och samhällets krisberedskap årligen analysera om det finns sådan sårbarhet eller sådana hot och risker inom myndighetens ansvarsområde som synnerligen allvarligt kan försämra förmågan till verksamhet inom området.

Vid denna analys ska myndigheten särskilt beakta

1. situationer som uppstår hastigt, oväntat och utan förvarning, eller en situation där det finns ett hot eller en risk att ett sådant läge kan komma att uppstå,
2. situationer som kräver brådskande beslut och samverkan med andra aktörer,
3. att de mest nödvändiga funktionerna kan upprätthållas i samhällsviktig verksamhet, och
4. förmågan att hantera mycket allvarliga situationer inom myndighetens ansvarsområde.

...

10 § Varje myndighet skall ansvara för att personalen vid myndigheten får den utbildning och övning som behövs för att den skall kunna lösa sina uppgifter i samband med krissituationer. En planlagd utbildnings- och övningsverksamhet i syfte att uppnå detta mål skall genomföras.”(SFS, 2006:942)

## 2.2.4 Boverkets föreskrifter

Boverkets föreskrifter om allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar (BVT1, 2007:11). Gäller även den för tunnlar över 500 m. Nedan följer en sammanfattning.

- Säkerhetsdokumentation ska uppföras och innehålla följande.
  - Utförda riskanalyser enligt förordning 2006:421.
  - Plan för störning och omledning av trafiken.
- Regelbundna övningar i full skala minst var 4:e år. Partiella övningar minst varje år däremellan.
- En tunnel ska ha minst dubbla tunnelrör då trafiken överstiger 15000 fordon per dygn.
- Antalet körfält ska inte vara färre i tunnelns infartszon än antalet körfält i vägens huvudsträckning utanför tunneln.
- Tunnlar som saknar nödkörfält ska förses med nödgångvägar som trafikanterna kan använda sig av vid haverier eller olyckor (minst 1.2 m breda).
- Utrymningsvägar skall medge att trafikanterna kan ta sig ut ur tunneln och sätta sig i säkerhet i händelse av en olycka eller brand samt ge räddningsstyrkorna tillträde.
- Avståndet mellan två utrymningsvägar/angreppsvägar får inte överskrida 150 m.
- Det ska underlättas för räddningspersonal att nå önskat tunnelrör.
- I tunnlar med dubbelriktad trafik som är längre än 1000 m och har ett trafikflöde som överstiger 4000 skall platser för nöduppställning anordnas på högst 500 m avstånd från varandra om nödkörfält saknas (till en rimlig kostnad).

- Brandfarliga och giftiga vätskor ska kunna ledas bort genom väl utformade avloppsbrunnar. Dräneringssystemet skall förhindra att brand eller brandfarliga och giftiga vätskor sprids inne i ett tunnelrör eller mellan tunnelrören.
- Belysning skall anordnas så att trafikanternas sikt blir tillfredsställande såväl i infartszonen som inne i tunneln, dag som natt.
- Reservbelysning skall finnas så att trafikanterna har tillräcklig sikt vid strömavbrott.
- Nödbelysning ska finnas så att trafikanterna i en nödsituation kan utrymma tunneln till fots. Belysningen skall placeras på högst 1.5 m höjd.
- Ett mekaniskt ventilationssystem skall installeras i alla tunnlar med dubbelriktad trafik, och i tunnlar med enkelriktad trafik och med ett trafikflöde om minst 8000 eller en längd över 1000 m. Föroreningar och brandgaser skall kunna kontrolleras. Se även § 20 och 21 om tvärventilation.
- Räddningsstationer/nödsbågar skall placeras vid tunnelmynningarna och inne i tunneln med max 150 m avstånd. De skall vara utrustade med telefon och 2 brandsläckare.
- Alla tunnlar skall ha brandvattenförsörjning. Brandposter skall anordnas nära tunnelmynningarna och inne i tunneln på ett avstånd av max 200 m.
- Skyltning enligt § 24.
- Övervakningssystem enligt § 27-30.
- Utrustning och åtgärder för stängning av tunnel: § 31-33.
- kommunikationssystem: § 34-36.
- Reservströmkällor under tiden för utrymning.
- För el-, mät- och styrkretsar ska ett lokalt fel inte påverka säkerhetsfunktioner utanför skadans närhet.
- Säkerhetsutrustning skall ha ett motstånd mot brandpåverkan.
- Riskanalys för farligt gods skall utföras och särskilda åtgärder (deklarering före infart, transport i konvoj eller styrning till vissa tider) övervägas.
- Placering av räddningsstyrkor vid båda ändar.

## 2.2.5 Redogörelse för brandskydd och systematiskt brandskyddsarbete

Enligt lagen om skydd mot olyckor (LSO, 2003:778, 2 kap, 2§) är ägare till anläggningar skyldiga att

*”i skäligen omfattning hålla utrustning för släckning av brand och för livräddning vid brand eller annan olycka och i övrigt vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand.”*

Där det med hänsyn till risken för brand bör ställas särskilda krav ska en skriftlig redogörelse lämnas för brandskyddet. Räddningsverkets föreskrift (SRVFS, 2003:10) ställer krav på en skriftlig redogörelse för brandskyddet för tunnlar längre än 500 meter och avsedda för allmän väg.

Räddningsverket (SRV), den nuvarande Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB), har även get ut allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbete i relation till lagen om skydd mot olyckor (SRVFS, 2004:3). Det förtydligas att åtgärderna kan vara av teknisk eller organisatorisk karaktär. Vidare bör ett systematiskt och kontinuerligt brandskyddsarbete bedrivas under anläggningens hela användningstid. I detta ingår att brandskyddet bör dokumenteras.

*”systematiska brandskyddsarbetet bör bedrivas såväl med avseende på förebyggande åtgärder som på de åtgärder som planeras i händelse av inträffad brand. För varje anläggning bör det finnas en dokumentation av brandskyddet som är tillräckligt omfattande för att säkerställa att skäliga*

*brandskyddsåtgärder vidtas och hålls funktionsdugliga. [...] Det systematiska brandskyddet bör kunna kommuniceras med dem som berörs av det.” (SRVFS, 2004:3).*

Det viktiga är dock inte dokumentationen i sig utan det som i praktiken åstadkoms för att upprätthålla och förbättra brandskyddet. (SRVFS, 2004:3) ger en gedigen lista över vad dokumentationen kan innehålla (sidan 6). Bland annat ingår:

- Ansvarsfördelning för brandskyddet. Organisation och instruktioner för ansvar, kontroller och underhåll samt organisation och instruktioner vid brand ska redovisas.
- Underhålls- och kontrollplan för samtliga brandskyddsåtgärder med uppgifter om vem som är ansvarig, vilken typ av underhåll eller kontroll som avses och hur ofta det ska ske.

Eftersom vissa regelverk (till exempel lag om säkerhet i vägtunnlar, förordning om krisberedskap och höjd beredskap och systematiskt brandskydd) berör aspekter som inte ryms i de fem grundkraven som PBF ger (se avsnitt 2.2.1) så skapas ett sjätte grundkrav i vägledningen (se bilaga) som berör organisation, ledning och hantering av trafik och incidenter.

## **2.3 Övriga föreskrifter och standarder som berör tunnelsäkerhet**

I detta redovisas andra typer av skrifter än regelverk och regelverk som enbart marginellt kravställer brandsäkerhet för vägtunnlar.

### **2.3.1 Transport av farligt gods**

MSB har gett ut föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng (ADR-S, 2011).

*”I de fall det beslutas om restriktioner för passage genom vägtunnlar med fordon som transporterar farligt gods, ska behörig myndighet tilldela tunneln en av de tunnelkategorier som anges i 1.9.5.2.2. Hänsyn bör tas till tunnelns egenskaper, riskbedömning som beaktar befintliga och lämpliga alternativa vägval och transportslag, samt vilken möjlighet som finns till övervakning.” (ADR-S, 2011), avsnitt 1.9.5.1*

Restriktionen ska visas med vägmärke enligt avsnitt 8.6.2 i ADR-S.

Det görs ingen direkt koppling till brandrisker. Rimligtvis ställs högre krav på en tunnel där farligt gods transporteras. Enligt lagen om säkerhet i vägtunnlar ska en riskanalys gällande transport av farligt gods göras innan tunneln öppnas i relation till andra vägar, inte i direkt relation till tunnelns brandsäkerhet.

### **2.3.2 Eurokoder**

Boverket har gett ut föreskrifter och allmänna råd om tillämpningen av europeiska konstruktionsstandarder, så kallade Eurokoder (EKS-8, 2011). Av intresse för vissa typer av tunnlar är Kap. 1.1.2, termisk och mekanisk verkan av brand. Enligt § 1 gäller inte föreskriften bergtunnlar. Notera att materialdata och modeller inte gäller för temperaturökningar utanför 2-50 K/minut. Troliga tunnelbränder har ofta en snabbare temperaturökning än 50 K/minut varför dessa i regel inte kan användas. Dock kan dimensioneringsförutsättningar ifrån Eurokod användas.

### 2.3.3 Trafikverkets tekniska kravspecifikationer

Tunnel 95 är en allmän teknisk beskrivning för tunnlar som är utgiven av Vägverket (Tunnel, 1995). Den innehåller ganska många allmänna råd. Även om denna har ersatts först av Tunnel 99, sedan Tunnel 04 och nyligen av TRVK/TRVR Tunnel 11 kan vissa av råden eller kraven vara bra att ha med i en framtida vägledning. Till skillnad från Tunnel 04 så specificeras tillfredställande utrymning, kritiska förhållanden och utrymningsantaganden ganska ingående. Detta behövs till exempel för dimensionering genom scenarioanalys. Generellt måste nivån i kraven ses över eftersom den är relativt gammal.

Tabellen på sid 58 i Tunnel 95 är intressant gällande olika tunnelklasser och krav på säkerhetsanordningar.

Standarden bygger på en relativt förenklad dimensionering mot olika olyckslaster som tunneln ska klara av. För brand ges en temperaturkurva för bärförmåga under normala förhållanden. Om ett automatiskt släcksystem eller förbud mot farligt gods föreligger så föreslås två andra kurvor som inte varar lika länge (se avsnitt 5.2.4.4).

I Tunnel 04 finns liksom i Tunnel 95 tidigare erfarenhet och kunskap kring brandsäkerhetsaspekterna för vägtunnlar som trafikverket har samlat på sig. Nedan ges några exempel ur Tunnel 2004 som kan vara av speciellt intresse (Tunnel, 2004).

Ett funktionskrav gällande personer med funktionsnedsättning (sid 95):

*”Dörrar, trösklar, lutningar och trappor i utrymningsvägar ska anpassas till personer med funktionshinder. Rullstolar och bårar ska kunna transporteras till en säker plats. Vidare anges att: Räddningsrum ska utföras i anslutning till en utrymningsväg om utrymningsvägens lutning medför att kraven på framkomlighet enligt avsnitt 4.4.2.3 för personer med funktionshinder inte kan uppfyllas.”*

Avsnitt 4.4.2.3 anger följande krav på utrymningsvägar med hänsyn till personer med funktionsnedsättning:

*”Minst 1.2 m fri bredd, trappor ska undvikas, om trappor finns ska alternativ väg eller räddningsrum anordnas. En utrymningsväg får luta högst 8 %. Vid lutning över 3 % krävs åtgärder, t ex ledstänger och vilplan. Dörr mellan trafikutrymme och utrymningsväg ska öppnas i utrymningsriktningen, vara lätt öppningsbar, självstängande, och vara lätt identifierbar som utgång. Personer med funktionshinder bör kunna öppna dörr till en utrymningsväg utan assistans.”*

Enligt sid 94 ges följande krav för skydd mot brandgaser och brandspridning:

*”Utrymningsväg och räddningsrum ska vara egen brandcell enligt BBR 5:232. Utrymningsvägs och räddningsrums anslutning till tunnelrör ska utföras som brandsluss enligt BBR, avsnitt 5:231. System för brandgaskontroll ska utformas så att utrymning underlättas och så att utrymnings- och angreppsvägar hålls fria från rök och andra brandgaser.”*

I Tunnel 11 (TRVK, 2011, TRVR, 2011) så anges krav och rekommendationer i två separata dokument. Eftersom lagar och förordningar främst täcker in tunnlar över 500 meter har en mjukare övergång gjorts för vad som ska gälla för en tunnel av längd kortare än 500 meter genom en tabell. Till exempel ska det för alla tunnlar göras en systematisk säkerhetsbedömning av systemets samtliga aspekter för en mängd parametrar (2 kap. 2 §), avstånd om max 150 meter mellan utrymningsvägar för tunnlar längre än 200 meter ska gälla, särskilt brandmotstånd för känsliga tunnlar ska gälla för alla tunnlar, krav gällande belysning ska gälla alla tunnlar.

Kraven för tunnelklasser i Tunnel 11 skiljer sig åt i jämförelse med tidigare tekniska beskrivningar. Det specificeras även tydligt att kraven enligt kapitel B.3 om brandskydd gäller för alla tunnlar längre än 100 m och med en årsdygnstrafik över 100 fordon. Alltså blir kraven om till exempel brandmotstånd desamma för alla tunnlar med tillägget att tunnelklass TA ska ha förstärkt brandskydd.

Tunnel 11 antyder att skydd mot spridning av brand och brandgaser främst gäller spridning till utrymningsväg och räddningsrum samtidigt som farliga vätskor ska kunna dräneras och fast material i tunneln inte ska bidra till branden. Syftet med brandgaskontroll hänvisar till behov för utrymning och räddningsinsats.

## **2.4 En struktur tar form**

Utifrån de sex identifierade grundkraven har en struktur tagits fram där preskriptiva krav, funktionskrav och godtagbara lösningar från ovan nämnda källor arbetats in. Resultatet kan ses i sin helhet i bilagan. Nästa avsnitt studerar hur verifiering av dessa, och i slutändan brandsäkerheten bör gå till.

## 3 Verifiering

Detta avsnitt studerar hur verifiering av specificerad kravstruktur, och tunnelsäkerheten som helhet bör gå till, framförallt utifrån de regelverk och praxis som finns tillgängliga idag.

### 3.1 Bakgrund

Detta avsnitt tittar dels på hur regelverk säger att en verifiering ska gå till, och dels hur verifiering är strukturerad i Trafikverkets tekniska kravspecifikationer för vägtunnlar. Man skulle även kunna lägga in samhällsenliga och etiska aspekter och studera statens offentliga utredningar på området, men detta ligger utanför projektets ramar.

#### 3.1.1 Verifiering enligt lag

I (SFS, 2006:418) finns en öppning för alternativ utformning som kan verifieras med en riskanalys:

*”Om ett byggnadstekniskt krav för en tunnel som är i drift eller under byggande vid lagens ikraftträdande är tekniskt omöjligt att uppfylla, eller om det skulle medföra oproportionerligt höga kostnader att uppfylla kravet, får tunnelmyndigheten på tunnelhållarens begäran besluta att alternativa åtgärder får vidtas. Sådana åtgärder får dock inte innebära en lägre säkerhetsnivå. Åtgärdernas effektivitet skall visas genom en riskanalys.”*

I (SFS, 2006:421) specificeras målet att säkerheten ska garanteras även för personer med funktionsnedsättning samt att säkerheten ska vara i relation till tunnelns omgivning och trafikens karaktär:

*”9 § En säkerhetsdokumentation enligt 6 § 1 lagen (2006:418) om säkerhet i vägtunnlar skall innehålla en beskrivning av de förebyggande åtgärder och säkerhetsåtgärder som behövs*

- 1. för att garantera säkerheten för trafikanterna, med beaktande även av personer med funktionshinder eller nedsatt rörelseförmåga,*
- 2. med hänsyn till hur tunneln är uppbyggd i stort, och*
- 3. med hänsyn till tunnelns omgivning, trafikens karaktär och möjliga räddningsinsatser.”*

I (BVT1, 2007:11) finns följande formulering gällande riskanalys:

*”om en tunnel har en speciell utformning när det gäller dessa parametrar ska en riskanalys utföras för att fastställa om ytterligare säkerhetsåtgärder behövs för att säkerställa säkerhetsnivån i tunneln”.*

Parametrar som avses är:

- *”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”*

Ordet riskanalys förekommer inte mindre än 13 gånger i BVT och ska även utföras för: farligt gods, val av ventilation, placering av räddningsstyrkor vid båda ändar, och stor lutning. Dokumentation ska finnas som verifierar den slutliga konstruktionen

### **3.1.2 Verifiering enligt Tunnel 11 och Tunnel 2004**

Tunnel 11 och Tunnel 2004 har ingen laglig status (bortsett från att BVT ibland hänvisar till specifika sektioner i Tunnel 2004). Dock innehåller de en samlad erfarenhet som Trafikverket har gällande att verifiera och kravställa de tunnlar som de beställer. Därför kan de innehålla viktig erfarenhet som kan ingå i en vägledning.

I Tunnel 11 (TRVK, 2011) specificeras brandkurvor som det bärande huvudsystemet ska motstå. För utrymning sägs att den ska ske innan kritiska förhållanden uppstår. Av dessa specificeras alla utom toxiska gaser i (TRVR, 2011). Någon brand specificeras inte i fallet utrymning.

I Trafikverkets föreskrifter TRVK (2011) anges att ett säkerhetskoncept ska utvecklas. Ett sådant utgör en beskrivning av tekniska, organisatoriska och administrativa åtgärder för att minska sannolikheten för och konsekvenserna av olyckor till en för objektet godtagbar nivå. Detta bör ses som ett övergripande dokument som presenterar tunnelns strategi att fungera på ett säkert sätt och bör inkludera såväl tekniska, organisatoriska och administrativa aspekter som de övergripande principerna för hur säkerheten ska upprätthållas under drift och vid bränder. I slutändan liknar resulterande dokumentation brandskyddsdocumentationen.

I avsnitt 3.3 i Tunnel 2004 beskrivs en mängd olyckslaster som tunneln ska klara av.

Tunnel 2004 och Tunnel 11 definierar tre tunnelklasser (TA, TB och TC) som preskriptivt (observera att de även kan användas för att kravställa analytisk dimensionering) bestämmer mycket av säkerhetsutrustningen.

Generellt kan man säga att verifiering tidigare skett mot preskriptiva regler, med tillägget att riskanalys(er) ska utföras. Ibland kan riskanalysen användas för att kunna fråga ett krav, ibland är dess syfte mer oklart.

## **3.2 Förslag till verifieringsprinciper**

Verifiering och dimensionering av en brandsäker tunnel kan ske på flera olika sätt och i olika faser av en tunnels livscykel. Några sådana principer granskas i detta avsnitt. För att uppnå målet av säkerhet behöver säkerhet beaktas ur olika perspektiv och i olika faser.

### **3.2.1 Tunnelklassificering**

I (BVT1, 2007:11) och Transportstyrelsens remissförslag används en tunnelkategorisering baserat på årsdygnstrafik (ÅDT), tunnellängd och andel tungt gods. Liknande klassindelningar tillämpas i tunnelregler i flera andra länder. Tunnelkategorier för farligt gods finns redan, men dessa anger bara vart farligt gods tillåts köra, inte hur brandsäkerheten i tunneln bör vara.

Detta avsnitt diskuterar huruvida detta är en rimlig kategorisering och hur väl dessa parametrar fångar upp risken. Följande parametrar anses, enligt författarna, påverka riskbilden för en tunnel, och därmed dess klassificering:

Parameter	Huvudsaklig effekt
Tunnellängd	Brandsannolikhet och – konsekvens
Antal fordon per dygn	Brandsannolikhet och – konsekvens
Andel tunga fordon	Brandsannolikhet och – konsekvens
Andel farligt gods	Brandkonsekvens
Linjeföring	Brandsannolikhet
Risk för kö	Brandsannolikhet och – konsekvens
Omkörning med tunga lastbilar	Brandsannolikhet
Trafik i en eller båda riktningar i tunnelrör	Brandsannolikhet och – konsekvens
Tunnelns tvärsnitt	Brandkonsekvens
Långsamtgående trafik, fotgängare och cyklister tillåts	Eventuella särskilda krav på separering, belysning och ventilation

Enligt EU projektet DARTS (2004) är den procentuella andelen farligt gods bränder 0.03 % vilket kan jämföras med 24 % för tungt gods. Skillnaden i sannolikhet för en större brand kan ju tyckas marginell och inom eventuella felmarginaler i data. Sett till konsekvens så kan vanligt tungt gods vara nog så farligt som farligt gods vid en brand, detta visar inte minst Runehamar försöken, se *Figur 6*. Dock finns andra faror kopplat till farligt gods såsom utsläpp av giftiga ämnen, fast detta rör ju inte brandsäkerhet. Explosion däremot berör brandsäkerhet, konsekvensen från en sådan skulle kunna vara förödande, en tröst är att sannolikheten är väldigt liten (DARTS, 2004). En potentiellt farlig tunnelutformning liksom risken för kö skulle framförallt gälla vid hög trafik, det vill säga redan en hög tunnelklass enligt nuvarande klassificering. Det verkar onödigt att tillåta omkörning med tunga lastbilar överhuvudtaget. Enkelriktad trafik är tvingat för större och högtrafikerade tunnlar enligt BVT. Tunnelns tvärsnitt påverkar brandens utveckling. Dock kan denna parameter tillåtas påverka brandens utveckling i en analytisk dimensionering.

Slutsatsen är att nuvarande tunnelklassificering verkar rimlig. Speciella aspekter såsom farligt gods behandlas i de krav som speciellt påverkas istället för att korrigera tunnelklassen. Till exempel påverkas bärförmågan av farligt gods och risken för en explosion varför farligt gods risken behandlas specifikt för detta krav. Författarna har valt att låta tunnelklasserna arbetats in i alla krav för att få en entydig och funktionell struktur.

En annan fråga är huruvida till exempel tunnelklass TA ska innebära analytisk dimensionering per automatik, men detta skulle inskränka på flexibiliteten i vägledningen.

### 3.2.2 Acceptabel säkerhet och verifiering

För en säker tunnel krävs att alla krav är uppfyllda. Dessa härrör ofta direkt från lag- eller förordningskrav. Acceptabel säkerhet kan sedan visas, givet att preskriptiva krav uppfylls, antingen genom att följa godtagbara lösningar eller genom att visa att uppställda funktionskrav eller motsvarande uppfylls genom en analytisk dimensionering. BBR använder en liknande struktur för verifiering av brandsäkerhet i byggnader (BBRAD1, 2011).

Avvägning mellan olika regelverk och aspekter är dock ofrånkomliga vilket kan leda till konflikter när olika tekniska lösningar får negativa konsekvenser ur andra perspektiv annat än de lösningarna avser att hantera. Till exempel kanske närvaron

av ett säkerhetshöjande ventilationsschakt inte kan accepteras utifrån miljökrav från miljöbalken. Som riktlinje kan följande fyra principer (Davidsson et al., 2003) användas.

- Rimlighetsprincipen: risker som med tekniskt och ekonomiskt rimliga medel kan elimineras eller reduceras ska alltid åtgärdas.
- Principen om undvikande av katastrofer.
- Fördelningsprincipen: Resurser bör användas där de gör mest nytta för Trafikverket (och samhället).
- Proportionalitetsprincipen: Risker bör vara i relation (proportionella) till nyttan.

Varje risk och möjliga riskreducerande åtgärder kan då bedömas utifrån de fyra principerna. Risker som till exempel kan ge stora konsekvenser eller är lätta att åtgärda ska prioriteras vilket också svarar mot vad studier om riskuppfattning har funnit om samhällets preferenser. För en mer utförlig diskussion gällande acceptabel risk eller säkerhet hänvisas till projektets andra rapport (Gehandler et al., 2012).

Oavsett metodval finns det stora svårigheter kopplade till hanteringen av osäkerheter vid verifiering av brandsäkerhet i tunnlar. Riskanalys är en vanligt förekommande metod. Den delas ofta upp i scenarioanalys och kvantitativ riskanalys (QRA). Som nämnts är hanteringen av osäkerheter en utmaning oavsett metodval. Det är viktigt att metoden används på rätt sätt och att osäkerheter redovisas explicit och på ett överskådligt sätt. En kvantitativ riskanalys har, beroende på hur den utförs flera nackdelar. En nackdel är att ett motsvarande kriterium för acceptabel säkerhet i till exempel form av en så kallad FN-kurva idag saknas och det är dessutom tveksamt om en sådan kurva överhuvudtaget kan definieras oberoende av kontexten för varje specifik tunnel. Ett förslag till riskkriterium i form av samhällsrisk normerad per km har dock tagits fram i en större svensk tunnelprojektering (Antonsson, 2010). Ett annat argument mot användandet av riskanalys mot ett fixt kriterium är att osäkerheten troligtvis är alldeles för stor för att kunna jämföras mot ett sådant kriterium (Ferkl and Dix, 2011). Ett bättre sätt är då att använda riskanalysen ur ett jämförande perspektiv, till exempel mot risken för en ”standardtunnel”. Ett tredje argument mot kvantitativ riskanalys är att det enligt Hansson riskerar att underminera den demokratiska processen (Hansson, 2011). Av dessa anledningar föreslås istället för en FN-kurva och kvantitativ riskanalys en säkerhetsnivå specificerad per funktionskrav. En nackdel med att studera funktionskrav separat är att man inte studerar helheten. Dock är grundkraven ifrån PBF tydligt indelade i fem grupper och det anses inte möjligt att flytta risker mellan dessa grupper. Det anses till exempel inte att man kan ha sämre utrymningsförhållanden mot en bättre bärförmåga. Båda dessa krav måste separat uppfyllas till en acceptabel nivå. Därmed, om funktionskravet definieras per grundkrav, blir det en tydlig målbild som dessutom har direkt lagligt stöd samtidigt som flexibiliteten i utformningen inte påverkas negativt.

För vissa av funktionskraven rekommenderas en scenarioanalys istället eftersom den kan genomföras med ett specifikt syfte, såsom att utvärdera funktionen hos ett system eller en funktion. En nackdel med att inte göra en Kvantitativ riskanalys är att den sammanlagda översikten blir sämre. Hur ska man egentligen prioritera mellan olika funktionskrav, och vilka är viktiga? För att komma runt det här skulle man kunna göra en grovanalys i ett tidigt skede av projektet.

Huvudmålet för verifiering av tunnelns brandsäkerhet är att tunneln ska vara tillräckligt säker. En tunnel anses vara tillräckligt säker ifall tunnelvägledningen (se bilaga) följs.

### 3.2.3 Verifiering och validering av processen

Förstudien (Gehandler et al., 2012) visade att flera experter och PIARC understryker hur viktig hela gestaltningsprocessen är. Intressenter bör mötas och diskutera förutsättningarna för verifiering av säkerhet och ifall några särskilda krav ställs. Metoder och krav för verifiering bör klargöras i ett tidigt skede så att det slutgiltiga resultatet är legitimt. Någon form av strukturerat kontrollsystem bör användas för att verifiera att beslut implementeras korrekt i arbetsplan, systemhandling, bygghandling och vid byggandet. På samma sätt bör en validering ske i de olika stegen då förutsättningarna ändras. I Nederländerna används den strukturerade ingenjörprocessen Systems Engineering (SE) för att systematisera validerings och verifieringsprocessen (Gehandler et al., 2012). Genom referensgruppsmöten och samtal med konsulter och experter verksamma i tunnelbranschen är det tydligt att processen idag inte är optimal och att erforderlig verifiering och validering sällan utförs i praktiken för att säkerställa att kravnivån uppfylls.

### 3.2.4 Säkerhet, organisation och underhåll i driftsfasen

I förstudien (Gehandler et al., 2012) lades även mycket vikt vid att ha en väl tränad och instruerad organisation för optimal drift och hantering av nödsituationer. Detta höjer givetvis säkerheten även om det kan vara svårt att mäta. Detta arbete syns sällan i riskanalyser som gjorts tidigare under gestaltningsprocessen där tunneln förutsätts fungera på ett ibland idealiserat sätt.

Reliability, Availability, Maintainability, and Safety (RAMS) är ett annat intressant koncept som används i Nederländerna. Enligt detta analyseras varje komponent och delsystem enligt de fyra aspekterna tillförlitlighet, tillgänglighet, underhåll samt säkerhet för att i slutändan förhoppningsvis ha en tunnel med optimal tillförlitlighet, tillgänglighet, underhåll samt säkerhet. Resultatet från RAMS per komponent/system användas med fördel för att göra riskanalyser, underhållsplaner, samt driftsinstruktioner.

Organisationens förmåga att hantera incidenter, olyckor och bränder bör kunna verifieras och valideras med hjälp av att berörd organisation genomför scenariospel, se (Gehandler et al., 2012). Krav på vilka scenarier som ska hanteras och vad som anses acceptabelt kan ställas.

## 4 Diskussion och motivering

Utifrån kapitel 2:s redogörelse över en vägtunnels kravbild, och kapitel 3:s redogörelse över hur verifiering av att krav och säkerhet uppnås har en vägledning tagits fram som finns i sin helhet i bilagan. Detta kapitel ger en motivering till varför de olika delarna ser ut som de gör.

### 4.1 Övergripande struktur och allmänna förutsättningar

Mycket inspiration gällande utseende och struktur i den föreslagna vägledningen för vägtunnlar har hämtats ifrån Boverkets byggregler (BBR19, 2011, BBRAD1, 2011). Framförallt gäller detta övergripande struktur, dimensionering samt allmänna förutsättningar.

Resultatet av vägledning som redovisas i sin helhet i bilagan är indelad i sex specifika grundkrav:

1. ledning, förvaltning och samverkan,
2. skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgaser,
3. möjlighet till utrymning vid brand,

4. möjlighet till räddningsinsatser,
5. bärförmåga vid brand, och
6. skydd mot spridning av brand till närliggande byggnadsverk.

Var och ett av dessa grundkrav innehåller preskriptiva krav, funktionskrav och godtagbara lösningar. Preskriptiva krav måste alltid uppfyllas och svarar ofta direkt mot en överordnad författning. Det är en möjlighet, och ibland ett krav beroende på specifika förutsättningar att analytiskt dimensionera mot de funktionskrav som är specificerade. En annan möjlighet kan vara att följa de godtagbara lösningar som ges. Om alla godtagbara lösningar inom ramen för ett visst funktionskrav följs, och inga andra förutsättningar kräver analytisk dimensionering anses berört funktionskravet vara uppfyllt. I följande avsnitt diskuteras hur en lämplig verifiering av respektive område kan gå till. I de fall en analytisk dimensionering väljs ges förslag för hur den kan gå till.

## 4.2 Analytisk dimensionering med scenarioanalys

I denna rapport samt i (Gehandler et al., 2012) identifieras scenarioanalys som en pragmatisk och rättfram metod för verifiering av brandsäkerhet i tunnel. Därför ges i kapitel B.10 av vägledningen (se bilaga) rekommendationer för hur en sådan analys kan gå till.

En riskanalys kan i enlighet med (Paté-Cornell, 1996) karaktäriseras utifrån hur osäkerheter hanteras, se föregående rapport (Gehandler et al., 2012). Till exempel kan ett ”värsta”, ”värsta troligt” eller ”troligt” brandscenario väljas för att dimensionera ett system. Vilken svårighet som väljs på scenariot beror på dess sannolik, förväntad konsekvens, och vilken målbild som föreligger. Sannolikheten för riskanalyser av typ värsta troliga scenariot specificeras i kvalitativa termer och uttrycks i hur konsekvensen beskrivs. Konsekvensen beräknas på ett sätt som speglar möjligheten att täcka in en stor del av möjliga utfall det vill säga utgående från ett tydligt konservativt förhållningssätt. Detta innebär då att traditionella riskmått inte kan beräknas och den verkliga kvantitativa risken kan inte bestämmas. Detta kan i sin tur leda till att beslut fattas som leder till såväl för hög säkerhetsnivå som för låg. Detta kan inte avgöras. Fördelen är att analysen är tydlig med att beskriva vilka scenarier som tunneln ska klara av att hantera.

Grundidén för den föreslagna metoden för verifiering med scenarioanalys bygger på att scenarier väljas genom att välja ett eller flera värsta troligt scenario (scenariogrupp 1) när alla tekniska system kan antas fungera. För att ta med risken att tekniska system inte fungerar och ändå få ett visst grundskydd väljs ett antal scenarier från en trolig grupp när ett säkerhetssystem är ur funktion (scenariogrupp 2). Tanken är att scenariogrupp 2 representerar fall som inte är så vanliga det vill säga att det är mest troligt att de tekniska systemen fungerar som avsett. Men om dessa, mindre sannolika fall, ändå inträffar så ska tunnelns skydd ändå ge ett visst skydd som motsvarar ett troligare scenario, det vill säga ett som inte uppfattas lika extremt som de i scenariogrupp 1. En viss kompensation kan därför göras mellan skyddssystemens funktionssannolikhet och sannolikheten för brandförloppets konsekvens. Som motivering till att även titta på när ett säkerhetssystem fallerar ges att det är ett inte otroligt scenario, som motivering till varför det inte studeras när två eller tre säkerhetssystem fallerar är att sannolikheten är lägre och att alla säkerhetssystemens funktion övervakas. Om ett system är ur funktion måste åtgärder vidtas och tunneln eventuellt stängas enligt dokumenterade procedurer. I den föreslagna metoden antas att endast ett tekniskt system i taget är utslaget, undantaget sådana system som får multipla följdverkningar som t ex utslagen elförsörjning. Att inte scenarier med två eller flera utslagna system också ska analyseras baseras på en bedömning att sannolikheten för dessa situationer är ytterligare lägre. Men för de fall

då det kan befaras att analys av endast ett utslaget system i taget garanterar en tillräcklig verifiering av säkerheten måste mer sofistikerade metoder användas, förslagsvis QRA-tekniken.

Vissa av de tekniska system som finns installerade i tunneln samt tunnelns geometri kan påverka brandutvecklingen, den högst utvecklade brandeffekten, gastemperaturen och rökspridningen i tunneln.

Brandens placering samt icke fungerande tekniska system är variabla parametrar. Scenariogrupp 1 och 2 ger en mängd scenarier, ur dessa väljs dimensionerande, utmanande scenarier med avseende på det krav man dimensionerar emot.

### **4.3 Ledning, förvaltning och samverkan**

Organisation är ett mjukt område och behandlar aspekter såsom underhåll, samverkan, arbetsprocedurer och övningar. Analytisk dimensionering på detta område kan användas, främst gäller detta kvalitativa metoder. PIARC till exempel lyfter fram scenariospel som en metod riktad mot det organisatoriska (PIARC, 2008). Scenariospel utvärderar och förbättrar användandet av resurser, samverkan och beslutskedjor. Att utföra övningar och scenariospel ses som en förutsättning för att uppnå kraven. Därför rekommenderas scenariospel och övningar för alla tunnlar oberoende av dimensioneringsval.

### **4.4 Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgaser.**

Med analytiska metoder är det framförallt tre tekniska system som kan vara aktuella för att uppnå en acceptabel brandsäkerhet: brandgasventilation, fast släcksystem, samt tunnelns avskiljande förmåga ifråga att hindra spridning av brand mellan brandceller.

I avsnittet om skydd mot spridning av brand och brandgaser inom tunneln anses att det inte alltid måste finnas ett system för brandgasventilation. Andra faktorer såsom luftkvalitet, utrymningsmöjligheter och räddningsinsatsmöjligheter styr utformningen och behovet av ett system för brandgasventilation. Ett fast släcksystem är inte heller ett krav, men kan användas som medel för att uppnå andra funktionskrav. Det vill säga, effekten av tunnelgeometri och säkerhetssystem såsom ett fast släcksystem kan tillgodoräknas vid analytisk dimensionering mot funktionskrav.

### **4.5 Möjlighet till utrymning**

Möjligheten till utrymning kan, tillsammans med uppfyllandet av relevanta preskriptiva krav, verifieras analytiskt genom att utföra en scenarioanalys för människors möjlighet att utrymma givet kriterier som inte får överträdas. Ett liknande angreppssätt finns i (BBRAD1, 2011) och det finns en förhållandevis lång tradition av analys av utrymnings säkerhet baserat på olika scenarier. Det är viktigt att ställa upp tydliga kriterier och att specificera antaganden så att alla tunnlar dimensioneras mot samma, rimliga, förutsättningar. Generellt gäller för en scenarioanalys att relevanta scenarier ska väljas. Detta sker i en inledande riskidentifiering. Motivet till detta är att från tunnelns specifika förutsättningar hitta utmanande situationer som tunneln med relevanta skyddssystem måste kunna hantera.

Från inträffade bränder och genomförda försök har det visat sig att personers beslutsfattande är en väsentlig komponent för en säker utrymning. Möjligheten att ge information snabbt och tydligt är därför viktigt för att utrymningen snabbt ska inledas. Dock kan det konstateras att underlaget att bestämma tider för olika delsteg i

utrymningsprocessen är litet och baseras på simulerade utrymningsförsök. Detta gör att underlaget för en dimensionering bör inkludera ett visst mått av bedömning (Fridolf et al., 2012, Nilsson et al., 2009, Frantzich et al., 2007, Kecklund et al., 2007, Norén and Winér, 2003).

Vanligen görs en förenkling av utrymningsförloppet genom att dela upp detsamma i tre skeden; varseblivning, förberedelse inför en evakuering, samt förflyttningen till en säker plats. Uppdelningen har kommit till för att göra det möjligt att analysera utrymningsförloppet med hjälp av ingenjörswerktyg som i detta fall även måste kompletteras med bedömningar. Det som beräknas är tiden för hela utrymningsförloppet och för respektive individ. Utrymningstiden utgör då summan av tiderna för varseblivning, förberedelser samt förflyttning. Vid utrymningsanalysen jämförs då tiden för utrymning med den tillgängliga tiden för utrymning som kan beräknas när scenariots brandförlopp definierats. I bilagan, kapitel B.6 och B.10 definieras exempel på underlag för utrymningsdimensionering. Dessa ska dock ses i ljuset av den rådande kunskapen inom området och att bedömningar av vissa egenskaper måste göras. Det är därför relevant att särskilda krav ställs på verifiering då underlag för analys baseras på enskilda bedömningar.

En rad olika forskningsprojekt har genomförts vilka bland annat syftar till att beskriva vad som kan utgöra en rimligt allvarlig brand för en utrymningsanalys. En lastbilsbrand antas vara en värsta trolig brand för utrymning och en personbilsbrand en trolig brand, vilket också bekräftas av (DARTS, 2004). Brandtillväxten kan antas vara proportionell mot tiden ifrån antändning i kvadrat. Proportionalitetskonstanten  $\alpha$  kan väljas ur (Ingason and Lönnemark, 2012), där ses att en lastbil kan generaliseras som en mycket snabb brand ( $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$ ) och en personbilsbrand som en snabb brand ( $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$ ). Brandspecifika parametrar väljs från tabell B.4, kapitel B.10.2 i bilagan. Värdena är baserade på motsvarande värden från BBRAD (2011) och försöksdata från Ingason (2012).

För att beakta faktiska förhållanden i samband med dimensionering av utrymning bör även beroendet mellan till exempel lufthastigheten i tunneln och brandtillväxten inkluderas. Relevansen för brandtillväxthastigheterna ”ultra-fast” och ”fast” tunnelbränder förutsätter en lufthastighet på mellan 1,5 m/s och 3 m/s. Om tunneln saknar ventilationssystem eller om mekaniskt ventilationssystem automatiskt stängs av vid brand vore det rimligt att ta med det i analysen. Därför föreslås en sänkning från ultra-fast till fast för sådana tunnlar.

För att kunna avgöra den tillgängliga tiden för utrymning måste kritiska gränsvärden anges. Dessa beskrivs exempelvis som en kritisk temperatur eller en kritisk sikt. När dessa värden överskrids, ett eller flera i kombination upphör tunneln att vara möjlig att utrymma genom. En rad olika nivåer för kritiska förhållanden har definierats till exempel i (Ingason, 2005, ISO, 2007, Blomqvist, 2005, BBRAD1, 2011). Exempel på kritiska nivåer som anges kan vara för:

- Värmestrålning:  $< 2.5 \text{ kW/m}^2$ .
- Temperatur:  $< 60 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Toxiska gaser: FED  $< 0.3$ .
- Sikt:  $> 10 \text{ m}$ .

Ovanstående nivåer för de kritiska variablerna är vanligt förekommande just för scenarioanalyser. Dessa ska då vara valda på ett sådant sätt att majoriteten av personerna som exponeras inte utsätts för allvarliga konsekvenser utan med hög

---

<sup>2</sup> Dessa bränder definieras som ”ultra-fast” respektive ”fast” i facklitteratur.

sannolikhet överlever. Motivet till detta är att scenarioanalysen syftar till att beskriva förhållanden som väl ska täcka in en normal variation i möjliga scenarier. Ett FED-värde (Fractional Effective Dose) motsvarande 0,3 innebär att ca 90 % av en population utsätts för en mindre påverkan men känsliga individer kan påverkas mer allvarligt. I bilagan till vägledningen redovisas nivåer som anger kritisk exponering baserat på olika källor vilket innebär att de avviker något från de ovan angivna. De nivåerna som presenteras i bilagan ligger närmare de kritiska nivåer som används för byggnader. En samordning har också skett så att exponering för giftiga gaser bedöms ungefär lika oavsett om en beräkning sker med FED-modeller eller om de deterministiska nivåerna används.

I dagens föreskrifter för tunneldimensionering till exempel BVT anges när mekaniskt ventilationssystem måste finnas installerat. Syftet med det mekaniska ventilationssystemet är, vid brand, primärt att underlätta utrymning genom att förbättra miljön för dem som utrymmer. Det finns även andra fördelar med ventilationssystemet till exempel att det skyddar mot spridning av brandgaser och möjliggör en räddningsinsats. Dock är nuvarande regler ganska inkonsekventa vad gäller kravnivåer när ett ventilationssystem krävs och vilken typ av system som då krävs. I BVT 2 kapitlet anges att:

*2 § "...Om trafikflödesprognosen ger ett högre värde än 15 000 skall tunneln projekteras och utföras så att en tunnel med dubbla enkelriktade tunnelrör är färdig att tas i drift senast när detta flöde överskrids..."*

*"18 § Ett mekaniskt ventilationssystem skall installeras:*

- i alla tunnlar med dubbelriktad trafik och*
- i tunnlar med enkelriktad trafik och med ett trafikflöde som överstiger 8000 eller med en längd över 1000 m. ..."*

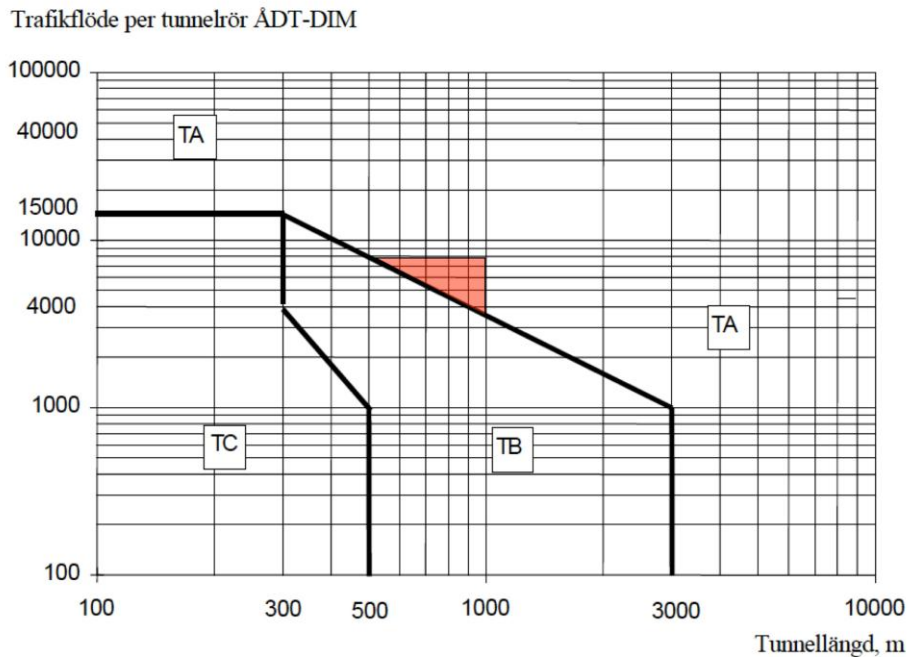
*20 § I tunnlar med dubbelriktad trafik, eller om det finns risk för trafikstockningar i tunnlar med enkelriktad trafik, får längsgående ventilation endast användas om en riskanalys visar att detta är godtagbart. och [sic!] om man vid behov vidtar ytterligare säkerhetsåtgärder än de här föreskrivna. Annars skall tvärventilation eller halv tvärventilation användas."*

*"21 § För tunnlar med dubbelriktad trafik som är längre än 3 000 m, har ett trafikflöde som överstiger 4 000 och har tvärventilation eller halv tvärventilation skall följande ventilationsåtgärder vidtas:*

- 1. Spjäll för luft- och brandgasutsug skall installeras och kunna manövreras så att brandgaser kan kontrolleras.*
- 2. Lufthastigheten i tunnelns längdriktning skall stå under ständig övervakning, och ventilationssystemet (spjäll, fläktar etc.) skall anpassas därefter med hjälp av ett styrsystem."*

Dessa krav gäller således för tunnlar > 500 m förutom kravet i 2 kap 2 § som Trafikverket själva menar ska gälla redan från 100 m (TRVK B.2.1, 2011). Ur ett föreskriftsperspektiv är ovanstående formuleringar mindre lämpliga då de inte stämmer med klassindelningen för tunnlar, vilken vi har valt att följa då de enligt Trafikverket tagits fram på ett väl underbyggt sätt. Som exempel kan nämnas att mekanisk ventilation gäller för i princip alla tunnlar i klass TA utom de enkelriktade tunnlar som är kortare än 1000 m och samtidigt har en ÅDT < 8000, se röd triangel i *Figur 5*. Dock förutsätter detta att tunnelägaren på eget initiativ väljer att bygga en enkelriktad tunnel då kravet på sådan ställs först då ÅDT > 15 000 enligt 2§. En rimligare formulering torde dock vara att alla enkelriktade tunnlar i klass TA borde

vara utrustade med mekanisk ventilation. Skillnaden skulle vara liten jämfört med dagens föreskrifter om än med något höjd kravnivå.



Figur 5 Markering som anger tunnlar i klass TA där mekanisk ventilation inte är ett krav enligt BVT.

Vidare anges att alla tunnlar längre än 500 meter, vilket enbart kan gälla TA- och TB-tunnlar, med förhöjd risk för kö eller dubbelriktad trafik, ska ha hel eller halv tvärventilation. Syftet bakom kravet framgår inte, men troligen är det en strävan om tillgodosedda möjligheter för utrymning är troligen den största anledningen. Dock kan typen av ventilationssystem behöva utredas i varje projekt och en större flexibilitet är önskvärd som inte låser till dagens system för ventilation. Detta innebär att kraven på system och styrning enligt 21 § bör ersättas av ett funktionskrav och godtagbara lösningar som är mer generellt och utgår från problem som ska hanteras. Alternativt behålls dagens inriktning när det gäller styrningen mot önskad systemlösning men knyts närmare till tunnelklassificeringen. Ett förslag till en godtagbar lösning utifrån tunnelklassificering presenteras nedan.

Det finns dock starka skäl för att förse tunnlar med ett ventilationssystem som bland annat kan hantera brandgaser vid brand. Ventilationssystemet är ett av de mer väsentliga systemen som än gynnsamt för såväl den normala luftmiljön, säkerhet vid utrymning och säkerhet för räddningspersonal vid en brand.

För enkelriktade tunnlar i klass TA och TB utan risk för kö ger långsgående ventilation ett gott skydd eftersom brandgaser då kan styras bort ifrån trafikanter uppströms branden.

Vid risk för kö däremot kan långsgående ventilation innebära en stor fara eftersom brandgaser då kan spridas med en hög hastighet mot trafikanter i kön. Då bör hel eller halv tvärventilation användas.

Med tillägg för tunnlar i klass TC kan följande förslag ses som en godtagbar lösning.

- Tunnlar i klass TC får utformas utan ventilationstekniska installationer.
- Tunnlar i klass TA och TB bör ha ventilationstekniska installationer som tillgodoser säkra förhållanden uppströms en eventuell brand.

- Tunnlar som förses med ventilationssystem och där sannolikheten för köbildning inte är försumbar bör ha hel eller halv tvärventilation.
- Ventilation i tunnlar ska kunna styras så att önskad funktion kan uppnås.
- Tunnlar som förses med ventilationssystem och som har dubbelriktad trafik bör ha system med hel eller halv tvärventilation.
- Tunnlar som förses med ventilationssystem och där fasta släcksystem finns installerade får utrustas med enbart längsgående ventilation.

Vidare är det lämpligt att ge en rekommendation för när tunnlar bör utformas med flera enkelriktade tunnelrör och den hittillsvarande nivån på 15 000 ÅDT bör därför behållas.

Genom analytisk dimensionering kan andra lösningar, till exempel längsventilation i kombination med ett fast släcksystem, efter vederbörlig verifiering utgöra godtagbara alternativ till ovanstående.

## 4.6 Möjlighet till räddningsinsatser

De flesta variabler för räddningsinsatser kan regleras med preskriptiva krav. Vissa faktorer kan dock dimensioneras analytiskt såsom mängden vatten som kan tänkas krävas för en släckinsats eller hur mycket ventilation som behövs men i övrigt beror det till stor del på den lokala räddningstjänsten och vilken strategi de önskar använda sig av. I stort är det alltså en mjuk fråga med inslag av analytiska moment.

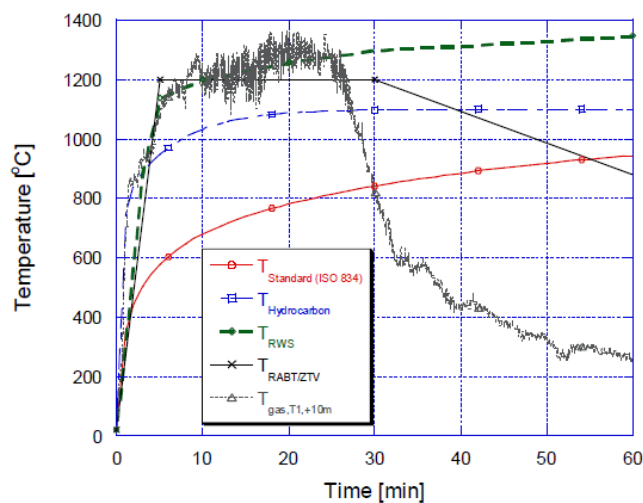
Kravet på brandpostnät har ändrats till en godtagbar lösning (rekommendation) eftersom det verkar oklart om räddningstjänsten har behov av detta.

## 4.7 Bärförmåga

Det finns analytiska metoder för att verifiera tillräcklig bärförmåga i händelse av brand, dock gäller inte alla delar av Eurokod då temperaturökningen inne i konstruktionen från tunnelbränder ofta är över 50 K/min. En viktig aspekt gällande bärförmåga är den potentiellt stora katastrofen en större reparation eller ras skulle innebära för en samhällsviktig tunnel. Här kommer sårbarhetsaspekter in samt principen gällande undvikande av katastrofer, enligt vilken samhället är berett att satsa mer för att undvika katastrofer som samhället inte är byggt att klara av. En stängning en längre tid av samhällsviktiga tunnlars anses vara av den digniteten. Därför förespråkas ett värsta, snarare än värsta troligt, brandscenario i den analytiska dimensioneringen.

För verifiering av bärförmåga används idag olika tid-temperatur kurvor. Tyvärr görs ingen koppling till en faktisk trolig brandutveckling i tunneln, vilket skulle vara ett mer realistiskt förhållningssätt. Tre vanliga kurvor är ISO-kurvan som vanligtvis används för provning av byggnadskonstruktioner, HC-kurvan som ursprungligen togs fram för oljeplattformar och RWS-kurvan som representerar en tankbilsolycka i en tunnel.

SP har jämfört tid-temperaturkurvor med ett experimentellt fullskaleförsök av en 200 MW lastbilsbrand, se *Figur 6*. I figuren ses en verklig brand troligtvis inte varar mer än ungefär en timme per fordon. Dessutom ses att RWS kurvan eller HC kurvan följer den verkliga branden för denna tunnelgeometri och ventilationsförhållanden bättre än ISO-kurvan.



Figur 6 Jämförelse mellan en verklig lastbilsbrand och tid-temperaturkurvor som används för att dimensionera en tunnels bärförmåga.

De temperaturexponeringar som representeras av ISO-kurvan, RWS-kurvan och HC-kurvan har dock en liten koppling till ett naturligt brandförlopp. För byggnader har det sedan 1960-talet funnits forskning som syftar till att representera ett brandförlopps verkliga förhållanden (Magnusson & Thelandersson, 1970; Pettersson & Ödeen, 1974). Dessa har senare arbetats in och återfinns idag som underlag för en analytisk dimensionering av bärförmåga vid brand i Eurokoder. Lämpligheten i de förenklade dimensioneringsmetoderna enligt ovanstående referenser kan dock ifrågasättas om de är giltiga för tunnlar men de mer avancerade grundkoncepten med modeller för massans och energins bevarande kan dock vara giltiga. För byggnader har ytterligare förfinade metoder utvecklats till exempel det så kallade "Natural fire safety concept" (Sleich et al., 2002):

*"This new approach should lead to both financial benefits and better safety guidance. [...] Less money will be wasted in attempts to guarantee resistance of structures subjected, for instance, to two hours of a wholly unrealistic ISO (or ASTM) fire."* (Sleich et al., 2002, p. 4)

Dock är det av samma skäl som anges ovan tveksamt om detta koncept har någon tillämpning generellt för tunnlar. För dimensionering kan ändå ISO-, RWS- och HC-kurvor ha ett berättigande eftersom de utgår från accepterade exponeringsnivåer. De saknar dock kopplingen till verkliga bränder.

För den analytiska dimensioneringen föreslås därför en liknande metodik där utifrån en given brandeffekt och energimängd en faktisk påverkan på konstruktionen kan beräknas. Inverkan från tunnelns geometri, ventilation och alla installerade system bör då ingå i analysen. SP har nyligen tagit fram formler för omräkning till taktemperatur (Li and Ingason, 2012).

Brandscenarier väljs från en tabell som författarna anser är ett troligt värsta brandscenario, det vill säga scenarier som innebär en representativ allvarlig påfrestning. Notera att till skillnad från de godtagbara temperatur-tid kurvorna så kommer inverkan från tunnelns geometri, och eventuella tekniska system att påverka brandförloppet.

Från dessa scenarier kan taktemperatur för en given tunnelgeometri och ventilation beräknas med hjälp av formler i (Li and Ingason, 2012).

Funktionskravet är att huvudsystemets bärförmåga består under den tid branden varar, inklusive avsvalningsfasen.

## **4.8 Skydd mot spridning av brand till andra byggnadsverk.**

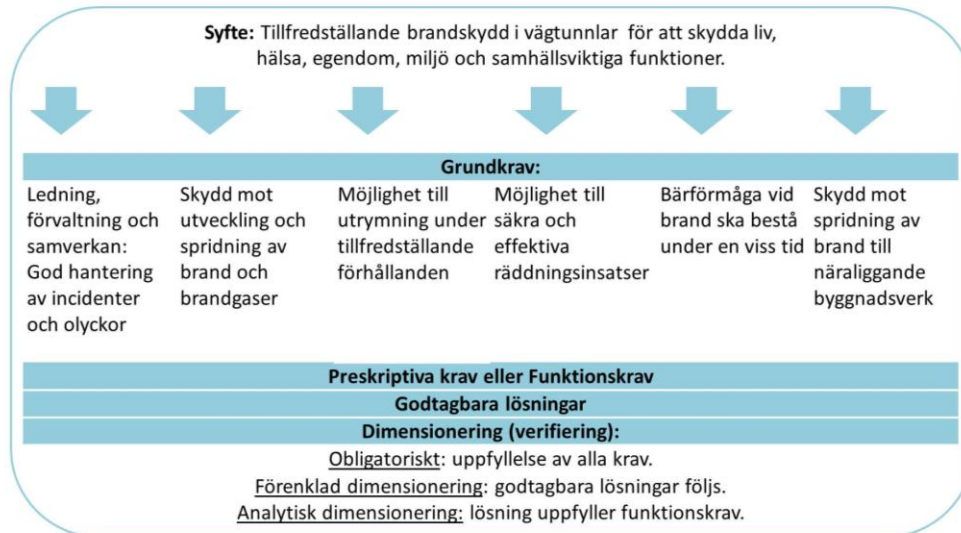
Detta är troligen ingen aktuell punkt för flertalet tunnlar, men kan vara aktuellt i storstadsregioner. Analytisk dimensionering med liknande metodik som i (BBRAD1, 2011) kan användas.

## **4.9 Sammanfattning**

En sammanfattning av den föreslagna vägledningen för brandsäkerhet i tunnel (se bilaga) ges i *Figur 7*.

Föra att återkoppla till avsnitt 1.3.1 om säkerhet kan de sex målen ställas i relation till säkerhetscirkeln i *Figur 4*. För att uppnå säkerhet så bör alla aspekterna i cirkeln beröras. En säker design, eller ”pro-active” åtgärder är syftet med hela standarden, men beroende av processen och metodiken som används. ”System Safety” är ett område som från konceptidé strävar efter att uppnå en säker design. Förebyggande åtgärder behandlas främst i grundkrav 1 och 2 där sannolikheten för brand reduceras. Förberedelse handlar om att hantera incidenter och olyckor om de inträffar, det vill säga grundkrav 1 och 3. Förmildring av konsekvenser handlar om aktiva och passiva säkerhetssystem, det vill säga lösningar till grundkrav 2, 3, 5 och 6. Ingripande görs av den enskilde, räddningstjänst, trafikassistans eller motsvarande, det vill säga grundkrav 2 och 4. Återställning av tunneln till normal drift handlar om ledning och organisation, det vill säga grundkrav 1, som även berör den sista delen om att utvärdera och lära.

Av dessa aspekter på säkerhet bör säker design, återställning och utvärdering hanteras av tunnelhållaren i ett större perspektiv än föreslagen vägledning. Säker design relaterar till processen och beror främst av att säkerhet beaktas tidigt, återställning och utvärdering hanteras av tunnelns ledning och driftorganisation.



Figur 7 Schematisk bild över FKR-BV12. Övergripande syfte följs av sex grundkrav. Varje grundkrav har tillhörande preskriptiva krav, funktionskrav och godtagbara lösning. Verifiering sker antingen genom att dimensionera mot godtagbara lösningar eller funktionskrav. Alla preskriptiva krav måste uppfyllas.

## 4.10 Kommentarer och rekommendationer

Tunnelklass väljs enligt redan vedertagen figur och metodik. Istället för att uppgradera vissa tunnlar av olika skäl eller att kravställa vad en tunnel i en viss klass ska ha så anges tunnelklass som ett styrmedel för varje krav i vägledningen. Detta förenklar projekteringen och ökar likheten med hur byggprocessen ser ut för byggnader. Förändringen bör därför vara av positiv natur. Konsekvensen av förändringen har dock inte utretts fullt ut och kan ses som ett fortsatt arbete.

Möjligheten att tillgodoräkna nyttan av effekten på branden från till exempel ett fast släcksystem kan idag inte göras med några väl beprövade metoder. Tills relevanta metoder tas fram skulle man kunna använda ett konservativt antagande. Eventuellt kan släcksystemets funktion verifieras genom provning eller försök.

De föreskrifter som legat till grund för föreslagen vägledning är, med ett undantag, tillräckligt flexibla för att öppna upp för analytisk dimensionering. Undantaget är Boverkets föreskrifter rörande säkerhet i vägtunnlar (BVT1, 2007:11). Författarna anser att föreskriften i större utsträckning bör formulera funktionen som önskas och vad som är den godtagbara nivån. På det viset undviks inlåsningseffekter i dagens teknik. Detaljreglering bör undvikas eftersom den riskerar att förhindra innovation och bra säkerhetstänk när man ser till helheten för brandskyddet. Som exempel kan kravet i paragraf 14 i BVT nämnas som hänvisar till Tunnel 2004 vilket kräver för trafikerade utrymmen i tunnlar 120 eller 180 minuters brandmotstånd enligt en hydrocarbonkurva (HC-kurva) enligt SS-EN 1363-2. Detta krav tar ingen hänsyn till andra faktorer såsom ett fast släcksystem eller hur en verklig brand i tunneln kan tänkas bete sig. En trolig brand varar ungefär en timme per fordon. Kravet ger högst sannolikt ingen optimal lösning sett ur ett ekonomiskt och säkerhetsperspektiv för alla tunnlar som berörs. Ett annat exempel är valet av ventilationssystem där paragraf 18 säger att ett mekaniskt ventilationssystem ska installeras. När ett fast släcksystem är installerat, då är fördelarna med till exempel ett tvärventilationssystem mindre då den dimensionerande kapaciteten för systemet blir betydligt lägre. I så fall är en enklare och mer ekonomisk lösning ett långsgående ventilationssystem. Det finns alltså fall då en mer funktionsbaserad lösning skulle vara att föredra.

Någon konsekvensanalys av de formulerade krav- och verifieringsnivåerna har inte gjorts. De är istället definierade utifrån dagens praxis eller utifrån ett enklare riskanalysperspektiv (värsta troliga, eller värsta fall). Ett naturligt följdprojekt skulle vara att utifrån flera parametrar, såsom risken, säkerhetsnivån på vägar, säkerhetsnivån i samhället och nationalekonomiska implikationer, definiera krav- och verifieringsnivån. Till exempel för områden såsom bärförmåga och utrymning. Hur bör kravnivån sättas, vad får det för ekonomiska och säkerhetsmässiga implikationer, och vilken metod och vilka inparametrar krävs?

För vissa delar i en vägledning är det en fördel att den öppnar upp för funktionsbaserad utformning, det vill säga att andra lösningar tillåts. Men för andra delar, som till exempel design av utrymningsdörrar och skyltar för utrymning, är det en fördel om de standardiseras. En standardisering skulle då bidra till att tunnelanvändaren känner igen sig samt säkerställa en viss lägsta standardiserad funktion. I Nederländerna så har man haft en väldigt funktionsbaserad tunnelhandbok (Ruijter, 2012), men det Nederländska Trafikverket är av uppfattningen att man för samma diskussioner med samma resulterande lösning, gällande utformningen av många aspekter. Därför så vill man standardisera uppemot 90 % av utformningen:

*"Length, width, number of tubes and traffic composition is different for each tunnel. However, usage, operation, and incident management are the same for every tunnel."* (Ruijter, 2012).

I likhet med detta förslag har författarna identifierat områden såsom utseende och funktion av säkerhetsutrustning såsom dörrar som ska användas för utrymning och vägledande markeringar som, ur ett ergonomiskt- och säkerhetsperspektiv, skulle vinna på att se likadana ut i alla tunnlar.

## 5 Slutsatser

Ett förslag till en tunnelvägledning för brandsäkerhet har utifrån övergripande lagkrav (top-down) skapats. Ett utarbetat utkast till en tunnelvägledning ges i bilaga till denna rapport. Om vägledningen följs anser författarna att den ger en tillräckligt säker tunnel. Föreslagen vägledning är mer flexibel än nuvarande dimensioneringsbeskrivningar från Trafikverket, eftersom brandskyddet antingen kan följa en godtagbar lösning eller dimensioneras analytiskt utifrån mer faktiska förutsättningar. Detta kommer att kunna ge mer balanserade lösningar som är anpassade efter behovet med hjälp av funktionskrav.

Att följa tunnelvägledningen ger goda förutsättningar för en säker tunnel, men hela processen från konceptidé via utformning och konstruktion till drift och underhåll måste kontinuerligt beakta säkerhet för att sträva mot en säker tunnel i praktiken.

Ett följdprojekt skulle kunna vara att utifrån kunskap, befintliga tunnlar, vägar, och nationalekonomi föreslå krav- och verifieringsnivå som är mer underbyggd.

Ett annat följdprojekt skulle kunna belysa hur hela processen borde se ut. Hur ska avväganden mellan mål och krav som står i konflikt göras, vilka parter ska ingå, och var i processen bör det ske?

## 6 Referenser

- ADR-S 2011. ADR-S Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng. Karlstad: MSB.
- ALMGREN, E. & HANSSON, P. 2010. "Finding the performance in performance based codes" Lessons learned from the pre-study for the renewal of the Swedish fire safety code due to 2010. *8th International Conference on Performance-Based Codes and Safety Design Methods*. Lund, Sweden: SFPE.
- ANTONSSON, L. 2010. E4 Förbifart stockholm: Riskanalys för driftskedet & Bränder i fordon och farligt gods. Stockholm: Trafikverket.
- BBR19 2011. Boverkets byggregler. Karlskrona: Boverket.
- BBRAD1 2011. Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd. BFS 2011:27, Karlskrona, Boverket.
- BLOMQVIST, P. 2005. Emissions from Fires - Consequences for Human Safety and the Environment. Doctoral thesis, Lund University.
- BOVERKET 2005. Personsäkerhet i tunnlar - Slutrapport, regeringsuppdrag. Karlskrona: Boverket.
- BSI 2004. The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings - Part 6: Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6). PD 7974-6:2004. British Standards Institution: London.
- BVT1 2007:11. Boverkets föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar (BFS 2007:11). Karlskrona: Boverket.
- DARTS 2004. Durable and Reliable Tunnel Structures – The reports (CD Rom) CUR Gouda, The Netherlands.
- EKS-8 2011. Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpningen av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder). Karlskrona: Boverket.
- FERKL, L. & DIX, A. 2011. Risk Analysis - from the garden of eden to its seven most deadly sins. 14th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Tunnels (ISAVT 14). Dundee, Scotland: BHR Group.
- FRANTZICH, H., NILSSON, D., KECKLUND, L., ANDERZÉN, I. & PETTERSON, S. 2007. Utrymningsförsök i Götatunneln. Lund.
- FRIDOLF, K., NILSSON, D. & FRANTZICH, H. 2012. Taking advantage of theories and models on human behaviour in the fire safety design of underground transportation systems. *Proceedings from the Fifth International Symposium on Tunnel Safety and Security (ISTSS 2012)*. New York, USA: SP Technical Research Institute of Sweden.
- HANSSON, S. O. 2011. Riskfilosofi, en introduktion, Lund, Studentlitteratur.
- HUGOSSON, J., INGASON, H., LÖNNERMARK, A. & FRANTZICH, H. 2012. Requirements and verification methods of tunnel safety and design. Borås, Sweden: SP Technical Research Institute of Sweden.
- INGASON, H. 2005. UPTUN - Workpackage 2 Fire development and mitigation measures - Target criteria. Upgrading of existing Tunnels for fire safety.
- INGASON, H. 2012, Fire Dynamics in Tunnels, In: BEARD, A. & CARVEL, R. (eds.) In The Handbook of Tunnel Fire Safety, 2nd edition. London: ICE Publishing.
- INGASON, H., FRANTZICH, H., DE LAVAL, S. & DARAM, L. 2009. Funktionsbaserad design för tunnlar med avseende på säkerhet - Förstudie. SP.
- INGASON, H. & LÖNNERMARK, A. 2012. Heat Release Rates in Tunnel Fires : A Summary. In: BEARD, A. & CARVEL, R. (eds.) In The Handbook of Tunnel Fire Safety, 2nd edition. London: ICE Publishing.
- IRCC 2010. Performance-Based Building Regulatory Systems. In: MEACHAM, B. (ed.). Inter-Jurisdictional Regulatory Collaboration Committee.

- JOHANSSON, V. 2011. Vägen till en väg. Riskhantering och beslutspraktiker i vägbyggnadsprocessen, Umeå, Boréa Bokförlag.
- KECKLUND, L., PETTERSON, S., ANDERZÉN, I., FRANTZICH, H. & NILSSON, D. 2007. Att utrymma en vägtunnel – en helhetslösning för utrymningskommunikation. Vägverket/MTO psykologi.
- LI, Y. Z. & INGASON, H. 2012. The maximum ceiling gas temperature in a large tunnel fire. *Fire Safety Journal*, 48, 38-48.
- LSO 2003:778. Lag om skydd mot olyckor (t.o.m. SFS 2010:1908 ). Stockholm: Regeringskansliets rättsdatabaser.
- LUNDIN, J. 2001. Verifiering, kontroll och dokumentation vid brandteknisk projektering. Lund: Lunds Universitet.
- LUNDIN, J. 31 Januari 2012. RE: Informell diskussion gällande hur Svenska tunnlar projekteras ur ett brandsäkerhetsperspektiv.
- LUNDIN, J. & LANGÉEN, H. 2011. E4 Förbifart stockholm: Arbetsätt riskhantering. Stockholm: Trafikverket.
- MAGNUSSON, S.E., THELANDERSSON, S. 1970. Temperature-time curves for the complete process of fire development. A theoretical study of wood fuel in enclosed spaces. *Acta Polytechnica Scandinavica*, Ci 65, Stockholm.
- MATTSO, B. 2000. Riskhantering vid skydd mot olyckor - problemlösning och beslutsfattande. Räddningsverket.
- MEACHAM, B. J. & CUSTER, R. L. P. 1995. Performance-Based Fire Safety Engineering: An Introduction of Basic Concepts. *Journal of Fire Protection Engineering*, 7, 35–53.
- NILSSON, D., JOHANSSON, M. & FRANTZICH, H. 2009. Evacuation experiment in a road tunnel: A study of human behaviour and technical installations. *Fire Safety Journal*, 44, 458-468.
- NORÉN, A., WINÈR, J. 2003. Modelling Crowd Evacuation from Road and Train Tunnels - Data and design for faster evacuation. Report 5127. Lund: Dept of Fire Safety Eng. Lund University.
- PATÉ-CORNELL, M. E. 1996. Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment. *Reliability Engineering and System Safety*, 54, 95-111.
- PBF 2011:338. Plan- och byggförordning (t.o.m. SFS 2011:819). Socialdepartementet, Regeringskansliet.
- PBL 2010:900. Plan- och bygglag (t.o.m. SFS 2012:444). Socialdepartementet, Regeringskansliet
- PETTERSSON, O., ÖDEEN, K. 1974. Brandteknisk dimensionering. Stockholm: Liber Förlag.
- PIARC 2007. Integrated approach to road tunnel safety (2007R07). World Road Association.
- PIARC 2008. Risk analysis for road tunnels. World Road Association.
- RUIJTER, H. A. 2012. Safety of Dutch tunnels guaranteed by standard approach. Proceedings from the Fifth International Symposium on Tunnel Safety and Security (ISTSS 2012). New York, USA: SP Technical Research Institute of Sweden.
- RULAND, T. & SNEL, A. 2010. Determination and analysis of tunnel safety requirements from a functional point of view. Proceedings from the Fourth International Symposium on Tunnel Safety and Security (ISTSS 2010). Frankfurt, Germany: SP Technical Research Institute of Sweden.
- RÄDDNINGSVERKET 2003. Handbok för riskanalys. Räddningsverket.
- SFS 1992:1403. Lag om totalförsvar och höjd beredskap (t.o.m. SFS 1999:946). Socialdepartementet, Regeringskansliet.
- SFS 2006:418. Lag om säkerhet i vägtunnlar (t.o.m. SFS 2010:1573). Socialdepartementet, Regeringskansliet.

- SFS 2006:421. Förordning om säkerhet i vägtunnlar (t.o.m. SFS 2010:1608). Stockholm: Sveriges Regering.
- SFS 2006:942. Förordning (2006:942) om krisberedskap och höjd beredskap (t.o.m. SFS 2010:1477). Socialdepartementet, Regeringskansliet.
- SLEICH, J. B., CAJOT, L. G. & PIERRE, M. 2002. Competitive steel buildings through natural fire safety concepts. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation
- SRVFS 2003. Statens räddningsverks föreskrifter om skriftlig redogörelse för brandskyddet. Statens räddningsverk.
- SRVFS 2004. Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbete. Statens räddningsverk.
- SS-ISO 2007. SS-ISO 13571:2007 Life threatening components of fire - Guidelines for estimation of time available for escape using fire data. Stockholm: SIS Förlag.
- TEWARSON, A. 1988. Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires. In: DINENNO, P. J., BEYLER, C. L., CUSTER, R. L. P., WALTON, W. D. & WATTS, J. M. (eds.) SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. First Edition ed.: NFPA.
- TEWARSON, A. 1995. Generation of Heat and Chemical Compounds in Fires. In: DINENNO, P. J., BEYLER, C. L., CUSTER, R. L. P., WALTON, P. D., WATTS, J. M., DRYSDALE, D. & HALL, J. R. (eds.) SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Second Edition ed. Quincy, MA, USA: The National Fire Protection Association.
- TRAFIKVERKET 2011. Nationell plan för transportsystemet 2010-2021. Trafikverket.
- TRVK 2011. Tunnel 11 - Trafikverkets tekniska krav Tunnel. Borlänge: Trafikverket.
- TRVR 2011. Tunnel 11 - Trafikverkets tekniska råd Tunnel. Borlänge: Trafikverket.
- TUNNEL 1995. Allmän teknisk beskrivning TUNNEL 95. Borlänge: Vägverket.
- TUNNEL 2004. ATB Tunnel 2004:124. Borlänge: Vägverket.
- WAHLSTRÖM, B. 31 Januari 2012. *RE: Informell diskussion gällande hur Svenska tunnlar projekteras ur ett brandsäkerhetsperspektiv.*

Bilaga

Vägledning för brandsäkerhet i tunnel

## Innehållsförteckning bilaga

<b>B.1</b>	<b>Inledning</b>	<b>48</b>
B.1.1	Allmänt	48
B.1.2	Giltighetsområde	48
B.1.3	Syfte	49
B.1.4	Omfattning	49
<b>B.2</b>	<b>Allmänna förutsättningar</b>	<b>50</b>
B.2.1	Krav	50
B.2.2	Rekommendationer	50
B.2.3	Säkerhetskoncept	50
B.2.4	Tunnelklassificering	50
B.2.4.1	Tunnlar med särskilda skyddsbehov	51
B.2.5	Dimensionering och verifiering	52
B.2.5.1	Förenklad dimensionering	52
B.2.5.2	Analytisk dimensionering	52
B.2.5.2.1	Identifiering av verifieringsbehov	52
B.2.5.2.2	Verifiering av tillfredställande brandsäkerhet	53
B.2.5.2.3	Verifiering med kvalitativ bedömning	53
B.2.5.2.4	Verifiering med scenarioanalys	53
B.2.5.2.5	Verifiering med kvantitativ riskanalys	54
B.2.5.2.6	Tillfredsställande brandsäkerhet	54
B.2.6	Säkerhetsdokumentation	54
B.2.6.1	Projektering	54
B.2.6.2	Dokumentation av brandskyddets utformning	55
B.2.6.3	Vid drifttagande	55
B.2.6.4	Under drift	55
B.2.7	Kontroll	55
B.2.7.1	Kontroll av verifiering	55
<b>B.3</b>	<b>Systembeskrivning och definitioner</b>	<b>57</b>
<b>B.4</b>	<b>Ledning, förvaltning och samverkan</b>	<b>64</b>
B.4.1	Grundkrav	64
B.4.2	Verifiering	64
B.4.3	Systematiskt brandskyddsarbete	64
B.4.3.1	Instruktioner och ansvar	64
B.4.4	Drift och underhåll	65
B.4.4.1	Plan för drift och underhåll	65
B.4.4.1.1	Driftstatus	65
B.4.5	Incident- och olyckshantering	65
B.4.5.1	Krishantering	66
B.4.5.2	Återställning till befintligt skick efter olycka	66
B.4.5.3	Reglering av ventilationsflöden	66
B.4.6	Krav på övning och scenariospel	67
B.4.6.1	Krav på MTO-analys	67
B.4.7	Planer, procedurer och träning	67
<b>B.5</b>	<b>Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgaser</b>	<b>68</b>
B.5.1	Grundkrav	68
B.5.2	Verifiering	68
B.5.3	Skydd mot uppkomst av brand i tunneln	68

B.5.3.1	Robusthet	68
B.5.3.1.1	Tillförlitliga säkerhetssystem	68
B.5.3.1.2	Redundant kraftförsörjning	69
B.5.3.2	Tunnelutrustning och system	69
B.5.3.3	Trafikbelysning	69
B.5.3.4	Trafikhantering	69
B.5.3.4.1	Kameraövervakning	69
B.5.3.4.2	Övervakningssystem	69
B.5.3.4.3	Trafikregleringssystem	70
B.5.3.4.4	Trafikassistans	70
B.5.3.4.5	Rutin för avlägsnande av hinder	70
B.5.3.4.6	Trafikinformationssystem	70
B.5.3.4.7	Stängning av tunnel	70
B.5.3.4.8	Nöduppställning	70
B.5.3.4.9	Förbud mot omkörning	70
B.5.3.4.10	Farligt gods	71
B.5.3.5	Tunnelns utformning	71
B.5.3.6	VA-system	71
B.5.4	Skydd mot spridning av brand och brandgaser i tunneln	71
B.5.4.1	Brandceller	73
B.5.4.2	System för brandgaskontroll	73
<b>B.6</b>	<b>Möjlighet till utrymning vid brand</b>	<b>74</b>
B.6.1	Grundkrav	74
B.6.2	Verifiering	74
B.6.3	Förflyttning till utrymningsväg	74
B.6.3.1	Nödgångbana	74
B.6.3.2	Gångavstånd till utrymningsväg	74
B.6.4	Utformning av utrymningsväg	74
B.6.4.1	Gångytor i utrymningsväg	75
B.6.4.2	Bredd på utrymningsväg	75
B.6.4.3	Användandet av trappor och ramper i utrymningsväg	75
B.6.4.4	Dörrar	75
B.6.5	Tekniska installationer	76
B.6.5.1	Utrymningslarm	76
B.6.5.2	Vägledande markeringar	76
B.6.5.3	Allmänbelysning och reservbelysning	76
B.6.5.4	Nödbelysning	77
B.6.5.5	Ventilationstekniskt brandskydd	77
B.6.6	Kommunikation till trafikanter vid en nödsituation	77
B.6.6.1	Hjälpteleson	78
<b>B.7</b>	<b>Möjlighet till räddningsinsatser</b>	<b>79</b>
B.7.1	Grundkrav	79
B.7.2	Verifiering	79
B.7.3	Lokalisering av brandplats	79
B.7.4	Åtkomlighet för räddningsinsatser	79
B.7.4.1	Räddningsväg	79
B.7.4.2	Tillgänglighet utanför tunnel	79
B.7.5	Angreppsväg	79
B.7.6	Installationer för släck- och räddningsinsatser	80
B.7.6.1	Släckutrustning	80
B.7.6.2	Brandgasventilation	80
B.7.7	Räddningsstationer eller nödsåp	80
B.7.8	Planering och övning för insats	80

B.7.9	Kommunikationsmöjligheter för räddningstjänst	80
<b>B.8</b>	<b>Bärförmåga vid brand</b>	<b>81</b>
B.8.1	Grundkrav	81
B.8.2	Verifiering	81
B.8.3	Bärande huvudsystem	81
B.8.4	Övrigt bärverk och inredning	82
<b>B.9</b>	<b>Skydd mot spridning av brand till närliggande byggnadsverk</b>	<b>83</b>
B.9.1	Grundkrav	83
B.9.2	Verifiering	83
B.9.3	Förhindra andra risker	83
<b>B.10</b>	<b>Rekommendation för analytisk dimensionering genom scenarioanalys</b>	<b>84</b>
B.10.1	Val av scenarier	84
B.10.2	Möjlighet till utrymning (se kapitel B.6)	85
B.10.3	Dimensionering av bärande huvudsystem (se kapitel B.8)	89
<b>B.11</b>	<b>Referenser</b>	<b>91</b>

## B.1 Inledning

### B.1.1 Allmänt

Denna vägledning har en struktur med grundkrav, tillämpningskrav (preskriptiva krav eller funktionskrav) och rekommendationer (förtydliganden eller exempel på godtagbara lösningar), se *Figur B.1*, som härrör till följande regelverk.

- Plan- och bygglag (PBL, 2010:900).
- Plan- och byggförordning (PBF, 2011:338).
- Lag om säkerhet i vägtunnlar (SFS, 2006:418).
- Förordning om säkerhet i vägtunnlar (SFS, 2006:421).
- Lag om skydd mot olyckor (LSO, 2003:778).
- Förordning (SFS, 2006:942) om krigsberedskap och höjd beredskap.
- Boverkets föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar (BVT1, 2007:11).
- Statens räddningsverks föreskrifter om skriftlig redogörelse för brandskyddet (SRVFS, 2003:10).



*Figur B.1 Vägledningens hierarkiska struktur. Högst upp i hierarkin finns ett generellt syfte, detta följs sedan av ett antal grundkrav som krävs för att uppfylla syftet. Varje grundkrav har i sin tur funktionskrav, preskriptiva krav och godtagbara lösningar (rekommendationer) definierade. Alla krav måste följas. Antingen väljer man att verifiera genom analytisk dimensionering mot funktionskrav, eller så väljer man att följa givna rekommendationer och en förenklad dimensionering.*

### B.1.2 Giltighetsområde

Vägledningen<sup>1</sup> för brandskydd gäller för vägtunnlar vars längd<sup>2</sup> överstiger 100 meter. Vägledningen gäller för överdäckningar som är en del av en trafikled. Däremot gäller den inte för bilgarage, överdäckta buss- eller lastbilsterminaler eller andra typer av byggnadskonstruktioner där man kan förvänta sig fordonsrörelser.

Målgrupp är i huvudsak tunnelhållare och tunnelprojektörer.

<sup>1</sup> Beteckningen vägledning används i dokumentet för att poängtera att det inte är en officiell standard.

<sup>2</sup> Med en tunnels längd avses Trafikverkets definition.

### **B.1.3 Syfte**

Syftet med vägledningen är att ge vägledning och grundförutsättningar till hur tillfredställande brandskydd i vägtunnlar kan utformas för att skydda liv, hälsa, egendom, miljö och samhällsviktiga funktioner utifrån kraven i svensk lagstiftning<sup>3</sup>. Vägledningen specificerar minimikraven som bör vara uppfyllda för vägtunnlar i olika kategorier.

### **B.1.4 Omfattning**

Vägledningen fokuserar på en tunnels brandskydd ur ett systemperspektiv. Eftersom många bränder börjar som en följd av trafikolyckor har i viss mån åtgärder med syfte att minska olycksrisken tagits med, men vägledningen bör inte inskränka på vad som redan står i till exempel vägar och gators utformning (VGU). Trafikhantering, till exempel, påverkar både risken för olyckor, samtidigt som det kan användas för att styra om trafiken vid en brand eller olycka, det vill säga det är både sannolikhetsreducerande och konsekvensreducerande, varför trafikhantering ingår. Det finns alltså en koppling till trafikhantering, teknik, utformning, organisation genom dess koppling till brandrisk i tunnlar.

Vägledningen är tänkt att kunna användas i avseende att kravspecificera brandsäkerheten för en tunnel, för upphandling, för verifiering av tillräcklig brandsäkerhet, eller som stöd vid projektering.

---

<sup>3</sup> Att liv, hälsa, egendom, miljö och samhällsviktiga funktioner ska skyddas kan bland annat härledas ifrån lagen om skydd mot olyckor samt Förordning (2006:942) om krisberedskap och höjd beredskap. Enligt plan- och bygglagen ska byggnadsverk utformas på ett sådant sätt att brandsäkerheten blir tillfredsställande.

## B.2 Allmänna förutsättningar

Vägledningen ska bidra till en tillfredsställande trafiksäkerhet i samband med brand och arbeta mot nollvisionen. Brandskyddet ska utformas med betryggande robusthet så att hela eller stora delar av skyddet inte slås ut av enskilda händelser eller påfrestningar. Vägledningen beaktar de fem grundläggande krav för brandskydd i byggnadsverk som ställs i PBF 3 Kap, 8§ samt organisation och underhåll, se till exempel PBL 14§.

### B.2.1 Krav

Krav som ges i denna vägledning anger villkor som ska uppfyllas. Krav formuleras som ska- eller får-satser.

### B.2.2 Rekommendationer

Rekommendationer som ges i denna vägledning innehåller generella rekommendationer om tillämpningen av denna vägledning och anger hur någon lämpligen kan eller bör handla för att uppfylla kraven. Rekommendationer är skrivet med kursiv text som *bör* eller *kan* satser.

### B.2.3 Säkerhetskoncept

Ett säkerhetskoncept ska utvecklas. Ett sådant utgör en beskrivning av tekniska, organisatoriska och administrativa åtgärder för att minska sannolikheten för och konsekvenserna av olyckor till en för objektet godtagbar nivå. Detta bör ses som ett övergripande dokument som presenterar tunnelns strategi att fungera på ett säkert sätt och bör inkludera såväl tekniska, organisatoriska och administrativa aspekter som de övergripande principerna för hur säkerheten ska upprätthållas under drift och vid bränder. Säkerhetskonceptet ska ingå i brandskyddsdokumentationen.

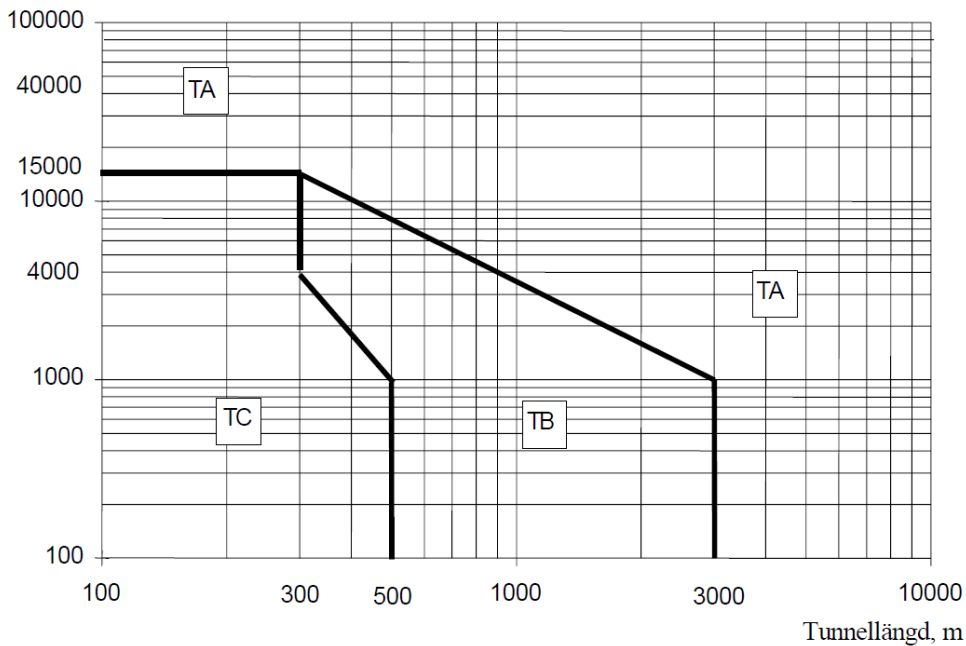
### B.2.4 Tunnelklassificering

Tunnelklass ska bestämmas som TA, TB eller TC med följande metodik:

- bestäm dimensionerande ÅDT-DIM,
- korrigera ÅDT-DIM för tungt gods:  $+0.6 * (\text{procentandel tung trafik} - 15)$ ,
- bestäm tunnelns längd,

välj sedan förslag till tunnelklass enligt *Figur B.2*.

Trafikflöde per tunnelrör ÅDT-DIM



Figur B.2 Definition av tunnelklasser.

TA är den högsta säkerhetsklassen och TC den lägsta.

#### B.2.4.1 Tunnlrar med särskilda skyddsbehov

För tunnlar som har särskilda skyddsbehov gäller särskilda dimensioneringsprinciper. För sådana tunnlar ska en särskild värdering av brandskyddet ur ett helhetsperspektiv göras. För sådana tunnlar kompletteras tunnelklassificeringen med tilläggsbeteckningen \*, det vill säga TA\*, TB\* eller TC\*.

Tunnlar kan bedömas ha särskilda skyddsbehov för ett eller flera delsystem i brandskyddet. Tunnlar bedöms ha särskilda skyddsbehov för tunneln som helhet om den uppfyller ett eller flera av kriterierna nedan:

- Om tunneln är en mycket viktig infrastrukturresurs, det vill säga påverkan på samhället vid en brand blir mycket stor
- Om den befarade konsekvensen för personers säkerhet är mycket stor

Exempel på sådana tunnlar kan vara de som har många på- och avfarter och där tunneln är en nyckelresurs för samhället.

Brandskyddet i tunnlar med särskilda skyddsbehov ska verifieras mot funktionskraven i denna vägledning. För dessa tunnlar tillkommer en särskild värdering av brandskyddet sett ur ett helhetsperspektiv. För sådana tunnlar bedöms inte de föreslagna rekommendationerna ge en tillräcklig säkerhet. För uppfyllande av varje funktionskrav bör särskild hänsyn tas till de specifika riskerna och förutsättningarna som är aktuella. I de fall som förutsättningarna kan antas vara lika som för en referenstunnel enligt förenklad dimensionering kan de godtagbara lösningarna antas vara tillämpliga. Utformningen av tunnelnars brandskydd ska minst motsvara vad som hade gällt för motsvarande tunnelklass (till exempel TA för TA\*).

För dimensionering av tunnlar med särskilda skyddsbehov förutsätts särskilt höga krav vad gäller kompetens och erfarenhet. För sådana tunnlar bör dimensioneringen vara föremål för en tredjepartsgranskning av en part som inte tidigare har varit involverad i processen.

## **B.2.5 Dimensionering och verifiering**

Tunnelns brandskydd ska dimensioneras, utformas och verifieras genom förenklad eller analytisk dimensionering. För vissa mål är enbart förenklad dimensionering möjlig.

### **B.2.5.1 Förenklad dimensionering**

Förenklad dimensionering innebär att tunnelhållaren uppfyller vägledningen genom de lösningar och metoder som anges i krav och rekommendationer i denna vägledning.

### **B.2.5.2 Analytisk dimensionering**

Analytisk dimensionering innebär att tunnelhållaren uppfyller ett eller flera av kraven på annat sätt än genom förenklad dimensionering. Verifieringen av tunnelns brandskydd ska utföras genom

- kvalitativ bedömning,
- scenarioanalys,
- kvantitativ riskanalys, eller
- annan metod, t ex baserad på scenariospel, provning eller försök

Metoderna får också kombineras. Verifieringsmetoden ska väljas för det specifika objektet med hänsyn till hur komplext det brandskyddstekniska problemet är. Kvalitativ bedömning får användas som verifieringsmetod om avvikelserna från förenklad dimensionering är begränsade<sup>4</sup>. Detsamma gäller om utformningens effekt på brandsäkerheten är väl känd och om utformningen med god marginal uppfyller kraven.

Analytisk dimensionering bör omfatta en beskrivning av vad som ska analyseras, hur det ska ske och vad som är tillfredsställande brandsäkerhet.

Vid analytisk dimensionering av tunnelns brandskydd bör följande steg ingå.

- Identifiering av verifieringsbehovet.
- Verifiering av tillfredsställande brandsäkerhet.
- Kontroll av verifiering.
- Dokumentation av brandskyddets utformning.

#### **B.2.5.2.1 Identifiering av verifieringsbehov**

Vid identifiering av verifieringsbehovet bör avvikelserna från förenklad dimensionering klargöras så att det framgår vilka delar av tunnelns brandskydd som berörs av förändringen.

Om analytisk dimensionering är ett krav bör tunnelns avvikelse gentemot tunnlar för vilka analytisk dimensionering inte är ett krav klargöras och ställas i relation till kraven ifråga.

---

<sup>4</sup> Avvikelse anses vara begränsad om det finns belägg för det. Till exempel kan man hänvisa till tidigare fall. Avvikelsen ska vara få i antal.

### **B.2.5.2.2 Verifiering av tillfredställande brandsäkerhet**

Verifieringen bör omfatta en riskidentifiering för att identifiera relevanta scenarier som utgör en påfrestning för tunnelns eller organisationens brandskydd. Dessa scenarier bör väljas utifrån den bedömda risknivån för respektive scenario, det vill säga sannolikheten för att scenariot inträffar och konsekvenserna av detta. Olika trafiksituationer bör ingå i riskidentifieringen och denna bör även omfatta förhållanden som kan förväntas i en framtida verksamhet.

För varje angivet krav bör tunnelhållaren visa hur kravet uppfylls utifrån avsedd användning. I verifieringen bör särskild hänsyn tas till hur kravet kan upprätthållas under tunnelns ekonomiskt rimliga livslängd.

Om exempelvis flera samtidiga tekniska byten genomförs bör en särskild värdering göras av robustheten i tunnelns totala brandskydd. I värderingen av tunnelns totala brandskydd bör därför ytterligare scenarier utöver de som anges i respektive avsnitt övervägas för att pröva robustheten. Värderingen kan vara en del av känslighetsanalysen.

### **B.2.5.2.3 Verifiering med kvalitativ bedömning**

Med begränsade avvikelser avses att påverkan på brandsäkerheten är liten och att osäkerheterna med vald utformning är små. Utgångspunkten för kvalitativ bedömning bör vara den riskidentifiering som ligger till grund för den analytiska dimensioneringen.

Verifiering med kvalitativ bedömning kan baseras på logiska resonemang, statistik, beprövade lösningar, provning, objektsspecifika försök, enklare beräkningar, m.m. Verifiering med utgångspunkt i tidigare erfarenheter bör kontrolleras med hänsyn till att riskerna och förutsättningarna över tid kan ha förändrats.

### **B.2.5.2.4 Verifiering med scenarioanalys**

Verifiering med scenarioanalys bör utgå från att tunnelns brandskydd utsätts för ett eller flera scenarier. Val av scenarierna bör utgå från riskidentifieringen med hänsyn till att förutsättningarna och själva påfrestningen i sig kan variera. Erfordrade brandscenarier bör identifieras och motiveras så att de utgör en trolig värsta påfrestning.

Verifiering med scenarioanalys bör omfatta en känslighetsanalys för att identifiera variabler som har stor påverkan på säkerhetsnivån. Sådana variabler bör behandlas konservativt. Exempel på variabler som kan ingå i känslighetsanalysen är brandeffekt, gastemperaturer i olika delar av tunneln, utrymmande personers gånghastighet och personers fördelning mellan olika utrymningsvägar. De variabler för vilka det ges värden i rekommendationer i avsnitt B.10 behöver normalt inte analyseras med avseende på känsligheten.

Resultatet av känslighetsanalysen bör ingå i en bedömning för att avgöra om den föreslagna brandskyddslösningen är tillfredsställande.

#### *Rekommendation:*

*Vägledning för analytisk dimensionering genom scenarioanalys finns för vissa specifika krav i kapitel B.10.*

### **B.2.5.2.5 Verifiering med kvantitativ riskanalys**

En kvantitativ riskanalys bör omfatta en analys som inkluderar relevanta scenarier vilka avser att spegla den osäkerhet som råder. Osäkerheten representeras också genom val av ingående variabler som beskrivs utifrån sannolikheter och konsekvens. I mer avancerad kvantitativ riskanalys bör dessutom fördelningar av ingående variabler ingå. Fördelningarna för variablerna bör spegla de förhållanden som kan förväntas under tunnelns ekonomiskt rimliga livslängd.

Verifiering med kvantitativ riskanalys bör omfatta en känslighetsanalys för att identifiera de variabler som har stor påverkan på säkerhetsnivån. Sådana variabler bör behandlas konservativt. En osäkerhetsanalys kan komplettera känslighetsanalysen för att särskilt studera sådana variabler.

Resultatet av känslighetsanalysen bör ingå i en bedömning för att avgöra om den föreslagna brandskyddslösningen är tillfredsställande. Exempel på variabler som kan ingå i känslighetsanalysen är brandeffekt, tillförlitligheten på tekniska system, personers gånghastighet och utrymmande personers fördelning mellan olika utrymningsvägar.

Resultatet från en kvantitativ riskanalys kan presenteras med mått som exempelvis anger individrisk eller samhällsrisk och jämföras med motsvarande resultat från en förenklad dimensionering. Dessa riskmått beaktar både sannolikhet och konsekvens för de analyserade scenarierna.

### **B.2.5.2.6 Tillfredsställande brandsäkerhet**

Brandskyddet kan verifieras genom en jämförelse med det skydd som ges av förenklad dimensionering för en referenstunnel. Som alternativ kan brandskyddet verifieras mot de kriterier som anges i denna vägledning.

För en kvalitativ bedömning bör en jämförelse med en referenstunnel enligt förenklad dimensionering utgöra nivån för tillfredsställande brandskydd.

För scenarioanalys bör de kriterier som anges i denna vägledning utgöra nivån för ett tillfredsställande brandskydd.

För kvantitativ riskanalys bör nivån för ett tillfredsställande brandskydd avgöras genom jämförelse med en referenstunnel enligt förenklad dimensionering eller med de kriterier som anges i dessa rekommendationer.

## **B.2.6 Säkerhetsdokumentation**

Säkerhetsdokumentation ska uppföras under tunnelns olika faser.

Säkerhetsdokumentationen ska innehålla samtliga delar som anges i avsnitt 2.6.1–2.6.4.

### **B.2.6.1 Projektering**

Trafikprognoser ska uppföras och riskanalyser ska genomföras. Syftet med de tidiga riskanalyserna är att skapa sig en grov uppfattning om vilka risker som föreligger för att i ett tidigt skede kunna ta effektiva åtgärder. Säkerhetsdokumentation ska innehålla en beskrivning av de förebyggande åtgärder och säkerhetsåtgärder som behövs för att garantera säkerheten för trafikanterna, med beaktande även av personer med funktionsnedsättning, med hänsyn till hur tunneln är uppbyggd och till tunnelns omgivning, trafikens karaktär och möjliga räddningsinsatser.

### **B.2.6.2 Dokumentation av brandskyddets utformning**

En beskrivning av tunnlar som helt eller delvis utformats enligt analytisk dimensionering bör i sin helhet redovisas som del av säkerhetsdokumentationen.

Dokumentationen för den analytiska dimensioneringen bör minst innehålla följande delar:

- vad som avviker i jämförelse med en förenklad dimensionering,
- genomförd riskidentifiering,
- dimensionerande förutsättningar och antaganden som verifieringen bygger på,
- planer för drift och underhåll,
- beskrivning och motivering av använda metoder och modeller,
- redovisning av och genomförda beräkningar i sådan omfattning att beräkningsprocessen kan följas,
- avvikelser från de allmänna råden i denna författning samt motiv till dessa, och
- slutsatser grundade på den analytiska verifieringen.

### **B.2.6.3 Vid drifttagande**

När en tunnel är färdig att tas i drift ska en beskrivning av organisationen finnas klar för att säkra driften och underhållet av tunneln. Likaså ska en plan för räddningsinsatser finnas som särskilt tar hänsyn till de behov som personer med funktionsnedsättning har. En beskrivning av hur olyckor och allvarliga olyckstillbud ska rapporteras ska finnas.

### **B.2.6.4 Under drift**

Dokumentera, analysera och utvärdera olyckor och allvarliga olyckstillbud samt de övningar i räddningsinsatser som har genomförts. Beakta de förutsättningar som personer med funktionsnedsättning har.

## **B.2.7 Kontroll**

Dimensionering- och utförandekontroll ska utföras innan tunneln tas i drift.

Dimensionering och styrande beslut gällande brandskydd ska kontinuerligt verifieras och kontrolleras så att de också implementeras och fungerar som avsett. Kontrollens omfattning baseras på vald verifieringsmetod och de osäkerheter som gäller för aktuellt dimensioneringsproblem.

*Rekommendation:*

*En systematisk ingenjörsmetod rekommenderas för att verifiera och validera att specifikationer uppfyller de krav som ställs i denna vägledning och att tunneln i slutändan uppfyller specifikationerna. Exempel på sådana metoder är systemingenjörsvetenskap och tillförlitlighetsanalyser.*

### **B.2.7.1 Kontroll av verifiering**

*Rekommendation:*

*Vid kontroll av verifieringen bör följande saker kontrolleras.*

- *Att samtliga avvikelser från förenklad dimensionering är verifierade.*
- *Att dimensioneringskontroll är genomförd.*
- *Att dimensioneringsförutsättningarna är riktiga.*

*Om beräkningar används som underlag till scenarioanalys eller kvantitativ riskanalys bör beräkningarnas riktighet styrkas genom dimensioneringskontroll. Med dimensioneringskontroll avses kontroll av dimensioneringsförutsättningar, bygghandlingar och beräkningar. Denna kontroll bör utföras av en person som inte tidigare har varit delaktig i projektet.*

*En större osäkerhet bör föranleda att kontrollens omfattning ökar. Samma sak gäller om verifiering sker genom analytisk dimensionering. För att avgöra och följa upp kontroller bör en kontrollplan upprättas. Av denna bör det framgå vad som ska kontrolleras, hur kontrollen ska gå till, när den bör genomföras samt vem som utför kontrollen. Beroende på kontrollpunktens betydelse kan tre kontrollnivåer identifieras: (1) projektören kontrollerar själv, (2) någon annan person med motsvarande kompetens kontrollerar och (3) en från projektet fristående part utför kontrollen, så kallad tredjepartskontroll.*

*Utgångspunkten är att kontrollen bör ske på nivå 3 men kan sedan sänkas för delar av projekteringsunderlaget.*

## B.3 Systembeskrivning och definitioner

### **Angreppsväg**

Angreppsväg är en väg som räddningstjänst kan använda för att nå en olycksplats i en tunnel.

### **Avskiljande och bärande konstruktioner**

Med avskiljande konstruktion avses en konstruktion såsom bjälklag och väggar inklusive genomföringar och liknande samt anslutningar till angränsande byggnadsdelar som motstår hela brandförloppet eller en del av ett brandförlopp. Avskiljande konstruktion ska uppfylla relevanta krav på integritet och isolering. Kravet att brand- och brandgasspridning ska begränsas ska tillämpas med beaktande av vilka brandförlopp som kan förväntas och tunnelns skyddsbehov.

Kravet för en bärande konstruktion är att den ska kunna upprätthålla den bärande förmågan under hela brandförloppet eller en del av ett brandförlopp.

#### *Rekommendation:*

*Beroende på skyddsbehov och verifieringsmetod kan konstruktionen dimensioneras utifrån olika brandförloppsexponeringar. Komponenter såsom dörrar och vissa väggar kan klassificeras mot brandförlopp enligt ISO 834 (se avsnitt 0, tid-temperaturkurva) medan exempelvis en takkonstruktion kan behöva ytterligare skydd och dimensioneras efter en temperaturpåverkan enligt HC-kurvan (se avsnitt 0, tid-temperaturkurva). Vid analytisk dimensionering kan brandförloppet beskrivas med en effektutveckling istället för en temperaturpåverkan.*

### **Brandbelastning**

Med brandbelastning avses energi per golvarea ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) inom en viss rumsvolym (till exempel ett teknikutrymme). Brandbelastning bestäms för den totala mängd energi som kan förbrännas vid ett fullständigt brandförlopp i förhållande till golvarean för aktuell rumsvolym.

### **Brandcell**

Med brandcell avses en avskild del av ett byggnadsverk inom vilken en brand under hela eller delar av ett brandförlopp kan utvecklas utan att sprida sig till andra delar av tunneln eller andra byggnadsverk. Brandcellen ska vara avskild från tunneln i övrigt med omslutande väggar och bjälklag eller motsvarande, så att utrymning av tunneln tryggas och så att personer i intilliggande brandceller eller byggnadsverk skyddas under hela eller delar av ett brandförlopp. Tillfredsställande skydd mot spridning av brand och brandgaser ska erhållas mellan tunnel och teknikutrymmen samt utrymningsvägar genom slussar. Utformningen av brandcellen ska begränsa spridning av brand och brandgaser till intilliggande brandcell under en bestämd tid. Genomföringar, upplag och förband bör särskilt beaktas så att brandcellen upprätthåller sin avskiljande funktion (BBR19, 2011).

För en beskrivning av olika brandcellsklasser hänvisas till SS-EN 13501 1-5.

### **Brandeffekt**

Inom trafikutrymmet av tunneln används brandeffekten (MW) som ett mått på brandens storlek. Brandeffekt är utvecklad energi per tidsenhet ( $\text{MJ}/\text{s}$ ).

### **Brandgasventilation**

Om ett system för brandgasventilation är en förutsättning för att brandskyddet ska fungera ska systemet utformas så att det, med hög tillförlitlighet, kan kontrollera spridning av brandgaser under avsedd tid. Systemet ska ha tillräckligt snabb aktiveringstid och tillräcklig kapacitet för att säkerställa att brandskyddet blir

tillfredsställande. Anläggningens funktion ska kunna upprätthållas då ström finns till tunneln samt ha ett skydd mot strömavbrott på grund av brand.

### **Brandscenario**

Ett brandscenario innefattar en kvalitativ beskrivning av brandens utveckling över tid med nyckelhändelser som karaktäriserar brandens utveckling och skiljer den från andra bränder. En sådan beskrivning innefattar antändning, brandens tillväxt, fullt utvecklad brandeffekt, brandens avsvälning och släckning tillsammans med troliga brand- och brandgasspridningsvägar. Interaktionen med brandskyddssystem såsom ventilationssystem eller fasta släcksystem ingår också i beskrivningen.

### **Byggprodukter**

Vägledningen ställer grundläggande krav på materialet i den färdiga tunneln. För att uppfylla dessa krav måste man använda byggprodukter med lämpliga egenskaper. Med byggprodukter menas produkter som är avsedda att stadigvarande ingå i tunnlar. I begreppet ingår också sammanfogade produkter och byggsatser. Vad som är viktiga egenskaper hos en viss byggprodukt beror på hur den är tänkt att användas i det aktuella tunnelprojektet. Viktiga produktens egenskaper kan exempelvis avse bärförmåga, brandskyddsegenskaper, energihushållning, skydd mot fukt eller buller. Det är tunnelhållaren som ansvarar för att produkter med lämpliga egenskaper används.

### **Byggprodukter med bestyrkta egenskaper**

För att få kännedom om produktens egenskaper kan tunnelhållaren antingen själv prova (eller ombesörja provning av) produkterna, eller välja produkter vars egenskaper redan är bestyrkta under tillverkningen. På marknaden förekommer en mängd olika märkningar av byggprodukter:

- a) CE-märkning enligt byggproduktdirektivet (CPD),
- b) typgodkännande/tillverkningskontroll,
- c) produktcertifiering av ett ackrediterat organ, och
- d) tillverknings- och produktionskontroll som gjorts av ett ackrediterat organ.

Om det är möjligt att CE-märka byggprodukten (alternativ a) får enbart detta sätt användas för att bestyrka produktens egenskaper.

### **Dimensionerande årsdygnstrafik (ÅDT)**

Dimensionerande årsdygnstrafik, ÅDT-DIM, bestäms i enlighet med VGU, del Dimensioneringsgrunder.

### **VA-system**

Ett VA-system syftar till att dränera regnvatten, släckvatten eller läckage från transporter. VA-systemet kan utformas enligt TRVR 11, avsnitt G.6.

### **Dörrstängare**

Dörrstängare ska utformas så att det, med hög tillförlitlighet, säkerställer att brandcellsgränserna upprätthåller sin funktion.

### **Farligt gods**

Farligt gods är ämnen som kan innebära risk för hälsa, säkerhet, egendom eller miljön då det transporteras eller används. Alla dessa ämnen är indelade i olika klasser beroende på deras specifika kännetecken och därmed farlighet. För mer information om farligt gods, se Lag (2006:263) om transport av farligt gods, 5§.

### **Fasta släcksystem**

Om ett fast släcksystem är en förutsättning för brandskyddets utformning ska det utformas så att det, med hög tillförlitlighet, har förmåga att släcka eller kontrollera en initial brand och vidare brandspridning mellan enskilda fordon under avsedd tid. Systemet ska aktivera tillräckligt snabbt (manuellt eller automatiskt) och ska utformas med tillräcklig täckningsgrad för att säkerställa avsedd funktion. Systemet ska ha sådana egenskaper som krävs för att säkerställa att aktivering kan ske med hög tillförlitlighet. Systemet ska utformas så att korrosion, termisk påverkan eller andra faktorer i tunnelns miljö inte påverkar tillförlitligheten och funktionaliteten. System med släckmedel som kan ha toxiska egenskaper ska utformas så att betryggande personsäkerhet upprätthålls.

Anläggningen ska ha ett skydd mot att funktionen störs på grund av brand. Anläggningens prestanda ska verifieras med en vedertagen internationell standard, eller genom objektspecifika försök i en tunnel med liknande geometriska och ventilationstekniska förhållanden där fasta släcksystemet ska användas.

### **Kommunicering med trafikanter**

Kommunicering med trafikanter syftar till att uppmuntra ett säkert och önskat beteende, både vid mindre trafikstörningar, samt vid större olyckor. Kommunikeringen bör generellt vara direkt och upprepande. System som kan användas är inbrytning i publik radio, variabla informationsskyltar med textmeddelande och/eller symboler samt ljud- och ljussignaler. Forskning har visat att flera signaltyper krävs för att få en snabb respons vid till exempel utrymningen varför en kombination av flera system föreslås. Det är viktigt att utgå ifrån trafikantens perspektiv för att uppnå önskat resultat.

### **Kraftförsörjning**

Se (TRVK, 2011), avsnitt G4 för beskrivning gällande kraftförsörjning och reservström.

### **Känsligt område**

Tunnlar kan gå igenom speciellt känsliga områden. Exempel på känsliga faktorer kan vara risken för ras, översvämning, eller tunnlar som går under bebyggelse eller vatten.

### **Larmsystem för brand**

Larmsystemet syftar till att upptäcka en brand, uppmärksamma trafikanter om fara samt instruera dem om vad de ska göra. Systemet ska utformas med sådana egenskaper att det, med hög tillförlitlighet, har förmåga att detektera brand och att ge signal till de funktioner som är beroende av larmet. Systemet ska utformas med tillräcklig täckningsgrad och ska aktivera tillräckligt snabbt för att säkerställa avsedd funktion.

Anläggningens funktion ska kunna upprätthållas vid strömavbrott och ska förses med skydd mot strömavbrott på grund av brand i de utrymmen som inte täcks av det larmsystemet.

Om larmsystemet är en förutsättning för brandskyddet i hela eller delar av ett byggnadsverk ska detektionssystemet täcka dessa områden. Larmsystemet ska utformas efter behovet av information så att personer som vistas i tunneln kan nås av information om lämpliga åtgärder vid utrymning. Även hörselskadade och döva ska nås av varningssignaler i händelse av brand eller annan fara.

Vid akustiskt larm ska hörbarheten vara sådan att signaler eller meddelanden kan uppfattas inne i vägfordon.

*Rekommendation:*

*Larmsystem delas ibland upp i system för detektion och system för utrymning (utrymningslarm). I de fall enbart ett av dessa föreskrivs i gällande anvisningar förutsätts att en samordning mellan de två typerna av larm ändå sker. Komponenter för larm bör verifieras i enlighet med standardserien SS-EN 54. Akustiska larm bör om möjligt utformas så att ljudnivån inne i en bil uppnår 65 dB(A). Ljudnivån i tunneln bör inte överstiga 115 dB(A) i de delar där personer vistas. Hörbarhet för talade larm kan verifieras enligt prEN 50849 och bör ha ett STI-värde på minst 0,55.*

**Luftsluss och brandsluss**

Luftslussar förbinder utrymmen där särskilda krav ställs på skydd mot spridning av brand och brandgaser. Luftslussen ska vara så stor att den kan passeras med endast en dörr i taget öppen. Om luftslussen ingår i en brandcellsgräns ska den brandklassade dörren vara självstängande.

Brandslussar förbinder utrymmen med särskilt höga krav på skydd mot spridning av brand och brandgaser. Brandslussen ska utformas som egen brandcell. Brandslussen ska vara så stor att den kan passeras med endast en dörr i taget öppen.

*Rekommendation:*

*Täthet på dörrar i brandcellsgräns i luft- och brandsluss bör uppfylla brandteknisk klass  $S_m$ .*

*Brandslussen bör avskiljas från angränsande utrymmen i lägst klass EI 60 eller den klass som gäller för väggen i övrigt. Brandslussen bör ha dörrar i lägst klass EI 60- $S_m$ C såvida inte andra avsnitt rekommenderar ett högre värde.*

**MTO-analys**

Människa- Teknik- och Organisationsanalys (MTO) innebär att ett paket av metoder kan användas. MTO-analyserna stöder flera delar i den kvantitativa analysen samt val av kompletterande åtgärder. Nedan ges förslag på lämpliga MTO-analyser:

- Uppgiftsanalys
- HRA-riskanalys
- Funktionsanalys och bemanningsanalyser kan komma att bli aktuella beroende på vad som framkommer vid planläggningen av MTO-aktiviteterna.

**Nödbelysning**

Nödbelysning syftar till att stödja trafikanters siktförhållanden vid nödsituation. Det gäller dels belysning i eller till utrymningsvägar.

Nödbelysning ska utformas enligt EN 1838 samt EN 16276.

**Nödgångbana, utrymningsväg och säker plats**

En nödgångbana utgör en förberedd gångyta inne i tunneln och löper längs vägbanan. En utrymningsväg ska vara en utgång till en säker plats eller en förbindelse inom byggnadsverket i en egen brandcell som leder till en säker plats. Med säker plats avses plats i det fria. Säker plats kan även utgöras av parallellt tunnelrör under förutsättning att brand och brandgaser inte kan tränga in i detta säkra tunnelrör till exempel via tunnarnas mynningar. Det förutsätts att tunneln utrustas med system som i händelse av brand kan stänga av trafiken i det parallella tunnelröret.

**Nöduppställning**

En nöduppställningsplats möjliggör för fordon att säkert stanna inne i en tunnel vid sidan av vägen, på samma sätt som ett nödkörfält, om det finns, kan användas.

**Raskänslig tunnel**

Med raskänslig tunnel menas en tunnel som går under vatten, som ger allvarliga följd effekter vid ras, eller där man har byggnader ovanpå.

**Referenstunneln**

Med referenstunnel menas en motsvarande tunnel för vilken förenklad dimensionering tillämpas.

**Räddningsväg**

Räddningsväg ger framkomlighet för utförande av räddningsinsatser. Räddningsväg ska betraktas som sidoanläggning och hänföras till standardklass 5 enligt ATB Vinter, 2003.

*Rekommendation:*

*Räddningsväg bör utföras med för aktuella fordon erforderlig bärighet och förses med beläggning. Utformningen bör också beakta det utrymme som räddningstjänstens fordon behöver för att kunna manövreras till exempel gällande svängradie, lutning, fri höjd och bredd.*

*Räddningsväg bör med kort varsel kunna användas under alla årstider och bör inte blockeras.*

**Räddningsrum**

Ett rum utformat som eget brandavskilt utrymme, avsett för personer att tillfälligt vistas i vid utrymning om de är förhindrade att nyttja utrymningsväg. Räddningsrum ska vara en del av utrymningsvägen men kan ha ytterligare krav utöver krav på utrymningsväg. Detta innebär att räddningsrum står i förbindelse med plats i det fria.

Ett räddningsrum ska ha kommunikationsutrustning, till exempel hjälptelefon, sittplatser för det antal personer rummet är avsett för samt en tavla med utrymningsanvisningar och information om räddningsrummets läge.

Ett räddningsrum ska dimensioneras så att personer kan vistas i det på ett säkert sätt tills utrymning kan ske.

*Rekommendation:*

*Antalet personer kan baseras på det förväntade antalet personer som utnyttjar utrymningsvägen tills dess att utrymning till säker plats kan fortsätta (om den till exempel hindras av trafik i parallellt tunnelrör).*

**Räddningsstationer eller nödsåp**

Med räddningsstationer eller nödsåp avses ett rum eller skåp avsett för att stödja tunnelanvändaren vid nödsituation. Räddningsstation eller nödsåp ska vara utrustat med hjälptelefon och släckutrustning.

Hjälptelefonanläggning utformas så att den har automatisk funktionsövervakning, vilket innebär test av telefonernas funktion och kontakt med övervakningssystem. En hjälptelefon ska utformas enligt EN1823.

*Rekommendation:*

*Släckutrustningen bör bestå av två handbrandsläckare. Handbrandsläckare bör uppfylla krav enligt SS-EN 3-7 och innehålla 6 kg ABC-pulver och minst klara provbål 34A och 183B.*

Utrustning för släckning ska vara märkt enligt AFS 1997:11

Märken ska finnas som visar var telefon och brandsläckare är placerade. Om räddningsstationen har en dörr mot tunneln ska en lättläst text ange att räddningsstationen inte utgör något skydd mot brand.

### Scenariospel

Syftet med scenariospelen är att ta fram och utvärdera larm- och beslutskedjor samt uppskatta tiden från brandstart till påbörjad utrymning för utvalt brandscenario. Scenariospelet genomförs i form av en rollspelsövning. Medverkande aktörer spelar roller som beskrivits dels med avseende på aktiviteten, dess relation till andra aktiviteter och dels till den tid aktiviteten tar. För detta skapas en arbetsgrupp med representanter från berörda intressenter, tunneloperatörer, trafikledningscentral, räddningstjänsten, SOS alarm, säkerhetssamordnare, projektet m.m.

### Självräddningsprincipen

Självräddningsprincipen innebär att på alla ställen där människor uppehåller sig ska det finnas möjlighet att rädda sig själv i en farlig situation.

För vägtunnlar innebär detta att trafikanterna vid en utrymning ska kunna rädda sig själva ut ur tunneln med hjälp av de anvisningar och utrustning som finns i tunneln. En förutsättning är att trafikanter kan ta sig ur sina fordon och förflytta sig utan extern hjälp.

### Spjälkning

Spjälkning är ett fenomen som kan inträffa när betong värms upp eller avsvagnar. Det innebär att delar av betongen avlägsnas p.g.a. branden. Man brukar skilja på ytavspjälkning och explosiv spjälkning. Spjälkningen tros bero framför allt på internt ångtryck, höga termiska spänningar och förändrade egenskaper hos betongen.

### Teknisk livslängd

All installerad säkerhetsutrustning ska ha en dokumenterad teknisk livslängd. Den tekniska livslängden och behovet av underhåll ska ligga till grund för underhållsplaner, renoveringar eller nyinstallationer innan den tekniska livslängden överskrids.

### Tid- temperaturkurva (brandkurva)

Genom en tid- temperaturkurva specificeras gastemperaturen i ett utrymme som funktion av tiden. Brandkurva är ett synonymt begrepp. Standardkurvan anges enligt EN 1363-1 och ISO 834 och ska representera en normal rumsbrand. HC, eller hydrokarbonkurvan, är ursprungligen framtagen för brandsäkerhet på oljeplattformer och representerar en mindre kolvätebrand. Funktionen för HC-kurvan är:

$$Temperatur = 1080(1 - 0.325e^{-0.167*Tim} - 0.675e^{-2.5*Tim}) + 20$$

där tiden ges i minuter. RWS-kurvan motsvarar en brand från en tankbil och är baserad på tabulerade värden enligt följande:

Tid (minuter)	Gastemperatur (°C)
0	20
3	890
5	1140
10	1200
30	1300
60	1350
90	1300
120	1200

### **Tunnelhållare**

Tunnelhållare är i fråga om allmän väg den som enligt väglagen (1971:948) ansvarar för väghållningen och i fråga om gata den som enligt PBL ansvarar för gatuhållningen. I fråga om annan väg skall tunnelmyndigheten utse en tunnelhållare.

### **Uppställningsplats för räddningstjänst**

Uppställningsplats är en plats nära tunnelportal för räddningstjänstens fordon.

#### *Rekommendation:*

*Uppställningsplats bör utföras med för aktuella fordon erforderlig bärighet och förses med beläggning. Utformningen bör också beakta det utrymme som räddningstjänstens fordon behöver för att kunna manövreras till exempel gällande svängradie, lutning, fri höjd och bredd.*

*Uppställningsplats bör med kort varsel kunna användas under alla årstider och bör inte blockeras.*

### **Övervakningssystem**

Med övervakningssystem avses en anläggning där personal i en övervakningscentral kan ha kontroll över tunnelns säkerhetsfunktioner. I övervakningscentralen ska trafik tillbud, exempelvis stillastående fordon samt uppkomna bränder, kunna detekteras. Tunneln ska kunna fjärrövervakas med exempelvis TV-övervakning (CCTV). Tunnelns säkerhetssystem ska kunna fjärrstyras från övervakningscentralen.

Övervakning av flera tunnlar kan ske från en gemensam övervakningscentral. För tunnlar med flera övervakningscentraler ska vid varje tillfälle endast en övervakningscentral ha kontroll över tunnelns säkerhetsfunktioner. Organisationen ska i förväg bestämma hur denna kontroll ska utformas.

Syftet med övervakning är att snabbt kunna identifiera trafik tillbud och incidenter (stillastående fordon, brand, etc.). En ITV-installation ska utformas enligt SS-EN 50132-7.

### **Övningar**

Övningar i räddningsinsatser i samarbete med den kommunala organisationen för räddningstjänst, polismyndigheten och andra berörda aktörer ska genomföras under realistiska förhållanden. Scenariospel kan ligga till grund för förberedelse och val av övningar.

## **B.4 Ledning, förvaltning och samverkan**

### **B.4.1 Grundkrav**

Tunnelhållare ska vidta de organisatoriska, administrativa och tekniska åtgärder för tunneln som krävs för att säkerställa drift, underhåll samt incident- och olyckshantering. Övningar och scenariospel ska genomföras i proportion till riskbilden för alla tunnlar<sup>5</sup>.

För tunnlar som riskerar en större negativ regional inverkan vid en längre tunnelstängning ska robusthet upprätthållas på en tillfredställande nivå genom samverkan, utbildning, övning och andra åtgärder samt genom den organisation och de strukturer som skapas före, under och efter en kris för att förebygga, motstå och hantera krissituationer.

### **B.4.2 Verifiering**

Krav och övningar ska uppfyllas och dokumenteras i det systematiska brandskyddsarbetet. Syftet är att verifiera funktion hos tekniska system samt organisationens beredskap.

### **B.4.3 Systematiskt brandskyddsarbete**

Tunnelhållaren ska kontinuerligt bedriva ett systematiskt brandskyddsarbete med den organisation och administration som krävs för att uppfylla kraven som anges i denna vägledning. Tunnelhållarens organisation ska säkerställa att:

1. dokumentation upprättas,
2. tunneln underhålls,
3. övningar och scenariospel genomförs, och
4. incidenter och olyckor analyseras och utvärderas.

#### **B.4.3.1 Instruktioner och ansvar**

Oavsett tunnelklass, ska det finnas en organisation och instruktioner för ansvar, kontroller och underhåll med en tydlig ansvarsfördelning för brandskyddet samt tydliga instruktioner vid brand.

Tunnelhållare ska vidta de åtgärder som behövs för att förebygga brand och för att hindra eller begränsa skador till följd av brand.

Tunnelhållare ska upprätta en skriftlig redogörelse av brandskyddet. Redogörelsen ska lämnas till kommunen och kontinuerligt uppdateras.

*Rekommendation:*

*Åtgärderna kan vara av teknisk, administrativ eller organisatorisk karaktär. Åtgärder av teknisk karaktär kan vara anskaffande av utrustning för brandsläckning, åtgärder av administrativ karaktär kan vara att säkerställa att åtgärder dokumenteras och implementeras, medan åtgärder av organisatorisk karaktär kan vara utbildning och övning.*

---

<sup>5</sup> Avsnittet har följande lagliga stöd: PBL 8 Kap, 4§, tunnelförordning SFS 2006:421, LSO (2003:778) 2 kap. 2 §, Tunnellagen (SFS 2006:418), Lag (1992:1403) om totalförsvar och höjd beredskap och Förordning (2006:942) om krisberedskap och höjd beredskap

## B.4.4 Drift och underhåll

Tunnlar ska utformas så att drift och underhåll av alla ingående delar underlättas och så att dessa kan inspekteras. Driftorganisationen ska ha tillräcklig beredskap och förmåga för att uppnå en god tunnelsäkerhet och tillgänglighet genom att undvika nedsatt tunnelfunktion. Brandskyddet i tunneln, inklusive alla installationer, med syfte att upprätthålla de tekniska egenskaperna ska hållas i sådant skick att de alltid fyller sitt ändamål.

Byggnadsverksdelar i tunneln ska utformas så att de antingen är:

1. beständiga under hela byggnadens ekonomiskt rimliga livslängd,
2. åtkomliga och möjliga underhålla, eller
3. möjliga att byta ut.

### B.4.4.1 Plan för drift och underhåll

Tunnelhållaren ska förse tunneln med skriftliga instruktioner för hur och när idrifttagande och provning samt skötsel och underhåll och kontroller ska utföras.

Det ska finnas en plan för underhåll och kontroller för samtliga åtgärder som syftar att uppfylla brandskyddskraven. Planen ska innehålla uppgifter om vem som är ansvarig, vilken typ av underhåll eller kontroll som avses och hur ofta det ska ske.

Funktionsverifiering ska ske minst vart sjätte år.

*Rekommendation:*

*Plan för periodiskt underhåll bör omfatta minst 30 år. Med idrifttagande avses det skede och de aktiviteter som syftar till att slutföra och samköra byggnader och deras installationer till en fullt färdig och fungerande enhet. Samordnade funktionskrav som verifierar att installationerna uppfyller alla tillämpliga krav bör göras.*

#### B.4.4.1.1 Driftstatus

För att säkerheten ska kunna garanteras är det en förutsättning att tunneln har ämnad funktion. Om tunneln inte uppnår ämnad funktion ska åtgärder göras som bibehåller säkerheten. För viktiga säkerhetsfunktioner ska en plan finnas som innefattar följande aspekter innan en tunnel tas i drift. Vad ”snarast” och ”omedelbart” är för en viss tunnel specificeras i avsnitt B.4.5.2.

*Tabell B.1 Driftstatus och åtgärder.*

<b>Driftstatus</b>		<b>Åtgärd</b>
Normal funktion och drift		Kontinuerligt underhåll
Acceptabel förlorad funktion	→	<i>Omedelbart:</i> Säkerhetshöjande åtgärder <i>Snarast:</i> återställ till normal funktion och drift
Oacceptabel förlorad funktion	→	<i>Omedelbart:</i> Stängning av tunnel, omledning av trafik. <i>Snarast:</i> återställ om möjligt och om önskvärt till acceptabel förlorad funktion

## B.4.5 Incident- och olyckshantering

Tunnelhållaren ska säkerställa att organisationen har en tränad organisation med tydliga procedurer för incident- och olyckshantering. Procedurer ska fastställas i samverkan med berörda aktörer och omfatta händelser som kan vara aktuella för den berörda tunneln. Kravet gäller alla tunnlar.

*Rekommendation:*

*Personal med trafikledande roll bör vara tränad att kunna hantera händelser som kan vara aktuella för den berörda tunneln. Det kan till exempel gälla hantering av tekniska installationer såsom ventilationssystem vid utrymning, manuellt aktiverade släcksystem och system för kommunikation med trafikanter. Hanteringen av incidenter och olyckor bör förutsättas kunna ske samtidigt som ett ökat informationsbehov i övriga samhället uppstår.*

*I samverkan av systemet ingår planer för driften av tunneln, planeringen, genomförandet och utvärderingen av räddningsinsatser. Utarbetandet av säkerhetsplaner och specifikationer för tunnelkonstruktion, utrustning och drift. Driftspersonal och räddningspersonal bör ha den utbildning som behövs.*

*Det förutsätts att tunnelkonstruktion och utrustning underhålls och repareras. Exempel på händelser som i övrigt omfattas är omledning av trafik, stängning av körfält, bortbogsring av föremål eller stillastående fordon samt bil- och lastbilsbrand. Trafikassistans vara tränade att göra en första släckinsats.*

### **B.4.5.1 Krishantering**

Större olyckor och bränder ska hanteras på ett effektivt och säkert sätt.

Tunneln ska vara anpassad till att hantera den riskbild som tunga lastbilar, alternativa bränslen och farligt gods innebär för varje tunnel.

Tunnlar i känsligt område ska särskilt beaktas oavsett tunnelklass.

*Rekommendation:*

*Organisation bör vara tränad att vid identifierade kriser understödja krishanteringen: stängning av tunnel, utrymning, omledning av trafik, samverkan med övriga aktörer, brandbekämpning och att förmedla information till allmänheten. Förebyggande åtgärder bör rangordnas och övervägas, stora kriser är generellt inte accepterade varför de bör byggas bort i största möjliga mån.*

### **B.4.5.2 Återställning till befintligt skick efter olycka**

Det ska finnas procedurer som snabbar på arbetet med att återställa tunneln i ursprungligt skick efter incidenter, olyckor och kriser. Acceptabla tider<sup>6</sup> för när omledning av trafik ska vara i funktion och när tunneln ska vara tillbaka i normal drift. Dessa beror på tunnelklass.

Det ska finnas ett omledningsvägnät.

### **B.4.5.3 Reglering av ventilationsflöden**

Om ett mekaniskt ventilationssystem finns installerat ska ventilationsinställningarna vid behov snabbt kunna anpassas för att skapa gynnsamma förhållanden för trafikanterna under utrymning och räddningsinsats.

*Rekommendation:*

*Beroende på situation och tunneltyp kan olika ventilationsstrategier vara mer lämpliga vid olika situationer. Om ett frånluftssystem finns bör det startas direkt vid upptäckt av brand. Vid longitudinell ventilation bör systemet initialt hålla en lufthastighet av 1.5 m/s i trafikriktningen för att sedan öka till 3 m/s när självutrymning är avklarad. Vid kö bör systemet hålla en minimal brandventilation, drygt 1 m/s i trafikriktningen tills alla har utrymt och kön är avvecklad.*

<sup>6</sup> Tider meddelas av Trafikverket eller tunnelhållaren.

## B.4.6 Krav på övning och scenariospel

Organisationen ska genomföra övningar och scenariospel på upp till tre kategorier av scenarier.

**Övningskategori 1:** Troligt scenario. Detta kan innebära alltifrån trafikstillbud till en större brand så som en lastbil i tunneln. Gäller tunnlar i klass TA, TB och TC.

**Övningskategori 2:** Scenarier då ett säkerhetssystem inte fungerar (känslighetsanalys, ska kunna hanteras). Gäller för tunnlar i klass TA och TB.

**Övningskategori 3:** Extrema händelser (planer och kostnadseffektiva system ska finnas). Gäller för tunnlar i klass TA, TA\*, TB\* och TC\*.

Övningar i full skala ska genomföras minst vart fjärde år. Övningar i partiell skala och scenariospel ska genomföras minst vart annat år.

Övningar och scenariospel ska dokumenteras och utvärderas. Resultatet ska användas för att vid behov förbättra tunnelns säkerhet genom organisatoriska och tekniska åtgärder. Särskild driftinstruktion för säkerhetsanordningar bör upprättas för polismyndighet och räddningstjänst samt berörd driftpersonal, så att tunnelns säkerhetsutrustning kan manövreras på ett säkert och effektivt sätt vid tänkbara nödsituationer.

*Rekommendation:*

*Utförda övningar och scenariospel kan användas för att optimera valet av nästkommande scenariospel och övningar så att organisationen utmanas och förbättras.*

### B.4.6.1 Krav på MTO-analys

MTO-analyser ska utföras för tunnlar i klass TA.

*Rekommendation:*

*MTO-aktiviteter bör genomföras som stöd till kvantitativa analyser. Erfarenheter från större tunnelprojekt där MTO-analyser genomförts kan ligga till grund för analyserna.*

## B.4.7 Planer, procedurer och träning

Beredskapsplaner ska upprättas och berörd personal tränas regelbundet i insats- och utrymningsövningar.

En insatsplan för räddningsinsatser ska upprättas. Planen ska särskilt ta hänsyn till de behov som personer med funktionsnedsättning har. Planen ska även innehålla en beskrivning av hur olyckor och allvarliga olyckstillbud ska rapporteras av tunnelorganisationen.

Allvarliga olyckstillbud som har inträffat samt övningar och räddningsinsatser som har genomförts ska dokumenteras, analyseras och utvärderas.

En plan ska upprättas för hantering av störningar och omledning av trafik.

## **B.5 Skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgaser**

### **B.5.1 Grundkrav**

Tunnlar ska erbjuda ett skydd mot uppkomst, utveckling samt spridning av brand och brandgaser inom byggnadsverket<sup>7</sup>.

### **B.5.2 Verifiering**

Tunnelns skydd mot utveckling och spridning av brand och brandgaser får verifieras med analytiska metoder.

### **B.5.3 Skydd mot uppkomst av brand i tunneln**

Skydd mot uppkomst av brand kan vara av teknisk eller organisatorisk karaktär. Detta avsnitt behandlar den tekniska aspekten, den organisatoriska aspekten återfinns i avsnitt B.4.

#### **B.5.3.1 Robusthet**

Tillförlitligheten på hela tunnelsystemet och delsystem ska vara hög. Total återställningstid för tunneln ska begränsas i enlighet med tunnelhållarens rekommendationer för det enskilda tunnelobjektet, se avsnitt B.4.5.2. Tunnlar ska vara försedda med övervakning av driftfunktioner.

*Rekommendation:*

*Tunneln och dess system bör underhållas kontinuerligt. Det bör finnas procedurer för att bibehålla en hög säkerhet under tiden för reparation eller systemavbrott. Verifiering av att kraven på robusthet uppfylls kan ske genom övningar och scenariospel.*

##### **B.5.3.1.1 Tillförlitliga säkerhetssystem**

Säkerhetssystem ska utformas med sådana egenskaper att de, med hög tillförlitlighet säkerställer avsedd funktion. Systemet ska utformas så att korrosion, termisk påverkan eller andra faktorer i tunnelns miljö inte påverkar tillförlitligheten. Ett lokalt fel ska inte påverka säkerhetsfunktioner utanför skadans närhet.

*Rekommendation:*

*En strävan bör vara att minimera utbredningen av en skadas konsekvens. Exempelvis kan armaturer för belysning för utrymning växelvis matas från olika elcentraler.*

En installation vars funktion är nödvändig under utrymning och räddningsinsats ska dimensioneras för brandpåverkan enligt D.4.4 i TRVK, Tunnel 11 upp till en temperatur av 250 °C.

---

<sup>7</sup> Detta avsnitt hänvisar framförallt till PBF 3 Kap, 8§\_2, PBL samt BVT 1.

### **B.5.3.1.2 Redundant kraftförsörjning**

Tunnlar ska vara försedda med reservströmkällor för att säkerställa att säkerhetsutrustningen för utrymning fungerar till dess att alla trafikanter har utrymt tunneln.

*Rekommendation:*

*Medel för att uppnå redundant kraftförsörjning kan vara punktskydd av känslig utrustning och att separera oberoende system.*

Tunnelns säkerhetsfunktioner ska inte störas av ett isolerat fel i elnätet.

*Rekommendation:*

*UPS och transformator bör inte placeras i samma brandcell.*

### **B.5.3.2 Tunnelutrustning och system**

Uppkomsten av brand i tunnelutrustning ska begränsas.

*Rekommendation:*

*Tunnelutrustningen bör vara utförda med hög säkerhet mot uppkomst av brand. Detta bör verifieras genom CE-märkning eller annan likvärdig produktcertifiering.*

### **B.5.3.3 Trafikbelysning**

Belysning ska anordnas så att trafikanternas sikt blir tillfredsställande såväl i infartszonen som inne i tunnlar av klass TA, TB och TC, dag som natt.

Det lägsta medelvärdet på belysningen ska vara 200 lux uppmätt mitt över vägbanan på en höjd av 2 m. Reservbelysning ska finnas så att trafikanterna har tillräcklig sikt vid strömavbrott för tunnelklass TA, TB och TC. .

*Rekommendation:*

*Aspekter som bör beaktas gäller ljussättning och ljusskillnader vid in- respektive utfart vid olika tider på dygnet och väder. En ljusskärm kan användas för att uppnå en långsammare övergång vid in- respektive utfart.*

### **B.5.3.4 Trafikhantering**

Trafiken ska hanteras på ett effektivt och säkert sätt så att risken för en trafikolycka minimeras. Syftet med trafikhantering är att uppnå en hög tillgänglighet och trafiksäkerhet. Målet är en strid ström av körande fordon med säkerhetsavstånd i en jämn hastighet.

#### **B.5.3.4.1 Kameraövervakning**

Tunnlar i klass TA och TB ska vara försedda med utrustning för kameraövervakning och larm för säkerhets- och trafikincidenter.

#### **B.5.3.4.2 Övervakningssystem**

Ett övervakningssystem ska installeras för tunnlar i klass TA.

#### **B.5.3.4.3 Trafikregleringssystem**

Ett trafikreglersystem ska installeras för tunnlår i klass TA.

*Rekommendation:*

*Exempel på medel för att reglera trafiken kan vara trafikövervakningsfunktioner för ködetektering med automatiskt larm om kö samt ett kövarningssystem som aktiveras, eller hastighetsdetektering med automatiskt larm som triggar lämplig skyltning, eller markerat säkerhetsavstånd mellan fordon och omställbara hastighets- och varningsskyltar.*

#### **B.5.3.4.4 Trafikassistans**

*Rekommendation:*

*Trafikassistans bör finnas för alla tunnlår i klass TA.*

#### **B.5.3.4.5 Rutin för avlägsnande av hinder**

Tillfälliga hinder såsom tappade föremål och stillastående fordon bör avlägsnas snabbt så att riskpåverkan blir minimal. Rutin för avlägsnande av hinder ska finnas för alla tunnlår.

*Rekommendation:*

*Hinder mm kan avlägsnas med en så kallad trafikassistansfunktion.*

#### **B.5.3.4.6 Trafikinformationssystem**

Olyckor och tillbud ska effektivt kommuniceras till körande trafikanter för att uppnå ett säkert beteende. Skyltning för information till trafikanter ska finnas tillgänglig för tunnlår i klass TA.

*Rekommendation:*

*Tunnlår i klass TB bör utrustas med omställbara informationsskyltar för olyckor och tillbud.*

*För tunnlår i klass TA bör följande system finnas till förfogande för att kommunicera och undvika trafikstörningar: trafikinformations- och styrningssystem som radio/högtalare, VMS-skyltar för till exempel omledning, och kövarningssystem. Utrustning för att stoppa fordon inuti tunnel bör finnas minst var 1000:e m. Informationssystem kan om lämpligt utformat utgöra utrymningslarm.*

#### **B.5.3.4.7 Stängning av tunnel**

Tunnlår i klass TA och TB ska kunna stängas av för inkommande trafik utan dröjsmål.

*Rekommendation:*

*Infartssignaler och infartsbommar bör tillsammans användas för att stänga en tunnel.*

#### **B.5.3.4.8 Nöduppställning**

I tunnlår med dubbelriktad trafik som är längre än 1000 m och har ett trafikflöde som överstiger 4000 fordon per dygn ska platser för nöduppställning anordnas på högst 500 m avstånd från varandra om nödkörfält saknas. Kravet gäller om det kan ske till en rimlig kostnad.

#### **B.5.3.4.9 Förbud mot omkörning**

Förbud mot omkörning med tunga fordon ska övervägas för alla tunnlår.

*Rekommendation:*

*Omkörning bör förbjudas i den mån det är rimligt eller nödvändigt för att bibehålla en tillräcklig brandsäkerhet.*

#### **B.5.3.4.10 Farligt gods**

Tunneln ska i skäligen omfattning vara anpassad till den hotbild som finns ifråga om bränder och explosioner från farligt gods.

Om transporter av klass 1 och 2 enligt förordningen om transport av farligt gods, SFS 1982:923, ska tillåtas i tunneln ska behovet av särskilda åtgärder värderas efter särskild utredning.

Övriga klasser av farligt gods kräver särskilda åtgärder för konstruktioner där konsekvenserna av olyckslastfallen brand och explosion är särskilt stora, till exempel tunnlar under vatten eller direkt under byggnader. För sådana konstruktioner ska restriktioner och skyddsåtgärder bestämmas efter särskild utredning.

*Rekommendation:*

*Särskilda åtgärder kan vara av teknisk karaktär, till exempel VA-system eller ytbehandlad asfalt, eller av organisatorisk karaktär, till exempel att enbart tillåta farligt godstrafik vissa tider med lite trafik.*

#### **B.5.3.5 Tunnelns utformning**

Tunnlar med ÅDT högre än 15 000 ska projekteras och utföras så att endast enkelriktad trafik förekommer i ett enskilt tunnelrör. Tunnelutformningen ska bidra till en god säkerhet.

*Rekommendation:*

*Lutningen på vägbanan bör inte vara över 5 %. Aspekter som bör beaktas gäller ytbeläggning, linjeföring, upplevd säkerhet och sikt. Om skarpa kurvor förekommer bör särskilda åtgärder såsom bredare vägbanor, vägmärkingar samt hastighetsgräns övervägas. Stora lutningar kan innebära en större brandrisk, speciellt för tungt gods. I dessa fall bör särskilda åtgärder övervägas. Beakta säkerhetshöjande åtgärder om plankorsningar eller av- och påfarter i tunneln förekommer.*

#### **B.5.3.6 VA-system**

Tunnlar i klass TA och TB ska utformas så att brandfarliga och giftiga spillvätskor kan ledas bort genom väl utformade dräneringssystem som ska förhindra att brand eller brandfarliga och giftiga vätskor sprids inne i ett tunnelrör eller mellan tunnelrören. Släckvatten ska inte leda till översvämning.

### **B.5.4 Skydd mot spridning av brand och brandgaser i tunneln**

*Rekommendation*

*Brandklassat ytskikt och beklädnad, brandcellsindelning och brandtekniska installationer är exempel på skyddsåtgärder som kan begränsa utveckling och spridning av brand och brandgaser inom en tunnel eller system av tunnlar.*

### Ytskikt och beklädnad

Material i tak, väggar, golv och fast inredning ska ha sådana egenskaper eller ingå i byggnadsdelar på ett sådant sätt att de

- är svåra att antända,
- inte medverkar till snabb brandspridning,
- inte snabbt utvecklar stora mängder värme eller brandgaser,
- inte deformeras vid ringa brandpåverkan så att fara kan uppstå,
- inte faller ned eller på annat sätt förändras så att risken för personskador ökar,
- inte smälter och droppar utanför brandhårdens omedelbara närhet.

Kravnivån på material beror på den mängd värme och brandgaser som kan tillåtas utvecklas i tunneln.

#### Rekommendation:

*En tunnels trafikutrymmen, utrymningsvägar, angreppsvägar samt räddningsrum kan utformas enligt följande krav:*

- En takyta bör ha ett ytskikt av lägst klass B-s1,d0, fäst på ett material av A<sub>2</sub>-s1,d0 eller på en beklädnad i klass K<sub>2</sub>10/B-s1,d0.

- En väggyta bör ha ett ytskikt av lägst klass C-s2,d0.

Övriga utrymmen kan utformas enligt följande krav:

En takyta bör ha ett ytskikt av lägst klass C-s2,d0, fäst på ett material av A<sub>2</sub>-s1,d0 eller på en beklädnad i klass K<sub>2</sub>10/B-s1,d0.

En väggyta bör ha ett ytskikt av lägst klass D-s2,d0

Fast inredning bör utföras i lägst samma klass eller med motsvarande skyddsegenskaper som det material den fasta inredningen är fäst vid.

Rörisolering bör utformas enligt nedanstående tabell:

Tabell B.2 Rekommendation för ytskiktsklass på rörisolering

Ytskiktsklass på angränsande tak- eller väggyta	Krav på ytskiktsklass för rörisolering	
	Vid mer än 20 % av angränsande vägg- eller takyta	Vid mindre än 20 % av angränsande vägg- eller takyta
A2-s1,d0	A2L-s1,d0	BL-s1,d0
B-s1,d0	BL -s1,d0	BL-s1,d0
C-s2,d0	CL -s2,d0	CL-s3,d0
D-s2,d0	DL -s2,d0	DL-s3,d0

Golvbeläggning i utrymningsväg ska ha måttlig benägenhet att sprida brand och utveckla brandgaser.

#### Rekommendation

Golvbeläggningen i en utrymningsväg bör utformas i lägst klass C<sub>fl</sub>-s1

### **B.5.4.1 Brandceller**

Varje tunnelrör och utrymningsvägar utgör separata brandceller. Övriga utrymmen som ska utformas som egna brandceller är serviceutrymmen och räddningsrum.

#### *Rekommendation*

*Räddningsrum får utformas som en del av utrymningsvägen.*

*Brandcellsskiljande byggnadsdelar bör utformas i lägst klass EI 90. Dörrar som används för utrymning bör utformas i lägst klass EI 90-S<sub>a</sub>C. Om tunneln skyddas med en fasta släcksystem är klass E 60-S<sub>a</sub>C tillräcklig. Skyddet kan upprätthållas med flera dörrar som sammantaget uppnår tidskravet under förutsättning att samtliga dörrar utformas med tilläggsklass -S<sub>a</sub>C. Dörrar till övriga utrymmen bör utformas i lägst klass EI 60-S<sub>a</sub>C.*

*Utrymningsvägar som står i förbindelse med varandra bör avskiljas så att endast en av dem kan bli rökfylld eller spärrad på grund av samma brand.*

*Dörr mellan två utrymningsvägar bör utformas i lägst klass E 30-S<sub>m</sub>C.*

Åtgärder vidtas för att begränsa inträngning av brandgaser i motsatta tunnelröret via mynningarna.

#### *Rekommendation:*

*För att begränsa att brandgaser tränger in i icke påverkat tunnelrör kan en lösning utgöras av att impulsfläktar i det tunnelröret reverseras. En annan åtgärd kan vara att placera tunnelrören så att de inte ligger bredvid varandra så att brandgaser inte letar sig in från det ena tunnelröret till det andra via tunnelportalerna.*

### **B.5.4.2 System för brandgaskontroll**

Tunnlar i klass TA och TB ska utformas med ett ventilationssystem som begränsar spridningen av brandgaser inom tunneln. Ventilationssystemet ska även syfta till att underlätta vid utrymning och räddningsinsats.

#### *Rekommendation*

*Ventilationssystemet kan utformas i enlighet med de anvisningar som anges i avsnitt B.6.5.5 och B.7.6.2.*

## B.6 Möjlighet till utrymning vid brand

Vid brand ska det finnas möjligheter för personer som vistas i tunneln att kunna sätta sig i säkerhet. Utgångspunkten är att alla personer ska lämna tunneln om brand uppstår. Detta innebär att personerna måste kunna informera sig om situationen och ges möjlighet att besluta sig för att utrymma samt ges möjligheter att förflytta sig till en säker plats.

Tillgången till tydliga och säkra utrymningsvägar är en del av möjligheten till utrymning vid brand. Information till trafikanterna utgör en viktig del för möjligheterna till en tillräckligt säker utrymning och system som underlättar beslutsfattandet vid en utrymning bedöms därför som väsentliga för utformningen.

### B.6.1 Grundkrav

Tunnlar ska utformas så att det ges möjlighet till tillfredsställande utrymning vid brand. Med tillfredsställande utrymning avses att personer som utrymmer, med tillräcklig säkerhet, inte utsätts för nedfallande byggnadsdelar, hög temperatur, hög värmestrålning, giftiga brandgaser eller dålig sikt som hindrar utrymning till en säker plats<sup>8</sup>.

*Rekommendation:*

*Utgångspunkten för kraven är att även personer med funktionsnedsättningar beaktas vid analysen av möjligheter till utrymning.*

### B.6.2 Verifiering

Möjligheten till utrymning vid brand får verifieras antingen genom att ett förenklat angreppssätt (1) används eller genom att analytiska metoder (2) används för att verifiera tillräcklig säkerhet. Analytiska metoder bör antingen utgå från att utrymning ska kunna ske utan att definierade acceptabla exponeringskrav överskrids för ett antal representativa scenarier (2a) eller genom att frekvensen för personsador för möjliga olyckor inte överskrider acceptabla nivåer (2b).

### B.6.3 Förflyttning till utrymningsväg

#### B.6.3.1 Nödgångbana

Tunnlar som saknar nödkörfält ska förses med nödgångbana som trafikanterna kan använda sig av vid haverier eller olyckor. Tunnlar kortare än 300 m behöver inte förses med nödgångbana. För en nödgångbana gäller kraven för lutningar för vägar, se VGU.

*Rekommendation:*

*En nödgångbana bör vara minst 1,0 m bred.*

#### B.6.3.2 Gångavstånd till utrymningsväg

Avståndet till en utrymningsväg ska vara anpassat så att personer hinner utrymma innan kritiska förhållanden uppstår. Avståndet mellan två utrymningsvägar/angreppsvägar får inte överskrida 150 m. Närmast tunnelmyningarna och för tunnlar upp till 600 m längd kan dock 200 m accepteras.

### B.6.4 Utformning av utrymningsväg

Utrymningsvägar ska utformas med sådan rymlighet och framkomlighet att de kan betjäna trafikanter de är avsedda för. Utrymningsvägar ska utformas så att rullstolar och bårar rymms och kan passera genom utrymningsvägen.

<sup>8</sup> Avsnittet möjlighet till utrymning vid brand härrör från PBF 3 kap, 8§\_4, lag 2006:418 samt förordning 2006:421 om vägtunnelsäkerhet och BVT 1. Vissa detaljkrav kommer ifrån BBR och tidigare tunnelstandarder såsom Tunnel 04 och 11.

#### **B.6.4.1 Gångytor i utrymningsväg**

Gångytor i utrymningsvägar ska utformas så att risken för att halka och snubbla begränsas. I utrymningsvägar där lutning, väta, spill eller nedisning ökar risken för halka ska ytmaterialens egenskaper anpassas till detta. Övuntade förändringar av ytmaterialens halkegenskaper ska undvikas, särskilt där gångriktningen ändras. Ytorna ska utformas utan övuntade små nivåförändringar, ojämnheter eller låga hinder som är svåra att upptäcka.

*Rekommendation:*

*För torra gångytor bör friktionskoefficienten vara minst 0,30, mätt enligt SS-EN 13893. Ramper och trappor bör ha ledstänger på båda sidor. Ledstänger bör sitta på 0,9 meters höjd. Det bör vara möjligt att hålla i ledstången även förbi infästningen. Avståndet mellan en dörr och trappa eller ramp bör vara minst 0,8 m.*

#### **B.6.4.2 Bredd på utrymningsväg**

Utrymningsvägen ska ha sådan bredd att köbildning i utrymningsvägen inte uppstår.

*Rekommendation:*

*Utrymningsvägar bör ha en fri bredd på minst 1,20 m. Räcken och liknande kan inkräkta med högst 0,10 m per sida i utrymningsvägen. Utrymningsvägar bör ha en fri höjd på minst 2,00 m. Dörröppningar bör ha en fri bredd på minst 0,90 m.*

#### **B.6.4.3 Användandet av trappor och ramper i utrymningsväg**

Stora lutningar och trappor ska i den mån det är möjligt undvikas i utrymningsvägar.

Ramper och trappor i utrymningsvägar ska ha balansstöd i form av ledstänger. Ledstångerna ska vara lätta att gripa om.

*Rekommendation:*

*Trappor bör undvikas. En utrymningsväg bör luta högst 8 %. Vid lutningar större än 3 % bör extra åtgärder vidtas som till exempel vilplan. Vilplan bör anordnas enligt tabell B.3-1, TRVK Tunnel 11. Interpolering kan ske mellan tabellvärden. Ett vilplan ges lämpligen minst 2 m längd och en lutning av högst 2 %.*

#### **B.6.4.4 Dörrar**

Dörrar som ska användas för utrymning ska vara utåtgående i utrymningsriktningen och lätta att identifiera som utgångar. Inåtgående dörrar får endast användas om alternativet är att slagriktningen sker in i trafikrummet. Andra varianter på dörrar får användas om de kan ge en motsvarande säkerhet som slagdörrar.

Dörrar som ska användas för utrymning ska vara lätta att öppna och passera. Dörrar som ska användas för utrymning får inte vara låsta.

Trösklar i dörrar som ska användas för utrymning ska anpassas till personer med funktionsnedsättning.

*Rekommendation:*

*Dörrar bör kunna öppnas utan större tidigare kunskap om hur detta ska ske. Vid behov bör det tydligt framgå hur dörren kan öppnas. Dörrar bör kunna öppnas med ett trycke som trycks nedåt eller genom att dörren trycks utåt. Öppningsbeslag bör placeras med centrum mellan 0,80 till 1,20 m över golv. Den högsta kraften för att öppna en dörr bör anpassas efter vilken typ av öppningsanordning som används.*

- För trycken bör den vertikala kraften understiga 70 N. Detta gäller exempelvis för trycken utformade enligt SS-EN 179. Kraften för att trycka upp dörren bör understiga 150 N.
- För tryckplattor bör öppningskraften understiga 150 N. Detta gäller exempelvis för tryckplattor utformade enligt SS-EN 179.
- För större öppningsanordningar, exempelvis hela dörrblad eller panikutrymningsbeslag, kan en högre öppningskraft accepteras, dock högst 220 N för öppningsfunktionen och högst 150 N för fortsatt öppning av dörren. Detta gäller exempelvis för panikutrymningsbeslag utformade enligt SS-EN 1125.

## **B.6.5 Tekniska installationer**

### **B.6.5.1 Utrymningslarm**

Tunnlar i klass TA och TB ska vara försedda med utrymningslarm som startas med ett system för automatisk branddetektering eller från övervakningscentral.

### **B.6.5.2 Vägledande markeringar**

Vägledande markeringar ska finnas så att utrymningen inte hindras av svårigheter att orientera sig i tunneln. Funktionen ska kunna upprätthållas även om utrymningen förutsätts ske i en miljö där brandgaser förekommer.

Vägledande markering ska ha säkerställd strömförsörjning motsvarande nödbelysning. Vägledande markering ska finnas i anslutning till de dörrar som är avsedda för utrymning.

Skyltar ska utformas enligt vägmärkesförordningen E28 och E29 och ska lätt kunna uppmärksammas.

*Rekommendation:*

*Skyltar med vägledande markeringar, utrymningsskyltar, bör finnas i tunneln med högst 25 m mellanrum och placerade högst 1,5 m över vägbanan samt över dörr till utrymningsväg. Skyltar bör finnas på båda sidorna av tunneln och skylten bör vara genomlyst.*

*Skyltens höjd (gröna fältets höjd) kan beräknas med följande formel:*

$$\text{Höjd [m]} = \text{Betraktningsavstånd [m]} / 200$$

*Det förutsätts då att skyltens bredd är större än höjden. Minsta skylthöjd bör vara 0,10 m. Minsta skylthöjd för skylt över dörr till utrymningsväg bör vara 0,20 m.*

*Luminansen för en skylt bör vara minst 80 cd/m<sup>2</sup> på den sämst lysande delen av de vita ytorna, motsvarar ungefär minst 11 cd/m<sup>2</sup> på den sämst lysande delen av den gröna ytan. Kontrasten mellan omgivningens och skyltens genomsnittliga luminans kan ligga kring 1:20.*

### **B.6.5.3 Allmänbelysning och reservbelysning**

Tunnlar och utrymningsvägar ska förses med allmänbelysning som fungerar med tillfredsställande säkerhet. En säker plats ska förses med allmänbelysning. Belysningen ska utformas med sådan styrka och jämnhet att trafikanter kan röra sig säkert. Utgång till utrymningsväg ska förses med förstärkt belysning.

*Rekommendation:*

*Tunnlar bör förses med reservbelysning enligt VGU.*

*Belysningsstyrkan för allmänbelysning i samband med en utrymning bör i genomsnitt inte understiga 200 lux i driftutrymnen och inte under 40 lux i utrymningsvägar. Den fasta belysningen bör inte vara bländande.*

*Belysning vid utrymningsvägen bör utformas enligt TRVK Tunnel 11 G3.2.5 och G3.2.6.*

### **B.6.5.4 Nödbelysning**

Nödbelysning ska finnas så att trafikanterna i en nödsituation kan utrymma tunneln till fots. Utrymningsvägar ska förses med nödbelysning. Nödbelysning ska fungera i minst 60 minuter vid strömavbrott.

*Rekommendation:*

*Armaturer för nödbelysningen bör placeras på högst 1,5 m höjd. Armaturer bör finnas med 25 m intervall.*

*Nödbelysning kan utformas enligt rekommendationen för belysning av utrymningsvägar i SS-EN 1838 och EN 16276. Belysningsstyrkan bör inte vara lägre än 2 lux längs med utrymningsvägens centrumlinje. För att minska risken för fall bör belysningsstyrkan i trappor vara minst 5 lux i gånglinjen. Nödbelysning bör nå 50 % av krävd belysningsstyrka inom 5 sekunder och den belysningsnivå som krävs inom 60 sekunder. Elkablar till nödbelysning bör förläggas avskilda i brandteknisk klass EI 30 eller ha motsvarande brandtålighet. Nödbelysningen i utrymningsvägarna bör inte slockna på grund av brand i tunneln. Nödbelysning förutsätts fungera även om branden inträffas i driftutrymme.*

### **B.6.5.5 Ventilationstekniskt brandskydd**

För en tunnel med ett ventilationssystem ska styrningen vara anpassad till riskbilden för utrymning och räddningstjänst efter det att branden identifierats. Ventilation i tunnlar ska kunna styras så att önskad funktion kan uppnås. Ett system för automatisk branddetektering ska installeras om driften av ventilation för brandgaskontroll skiljer sig från den automatiska.

*Rekommendation:*

*Tunnlar i klass TA och TB bör förses med skiljevägg mellan trafikriktningarna. Ventilationssystem kan väljas efter följande kriterier.*

- *Tunnlar i klass TC kan utföras utan ventilationstekniska installationer om inte andra skäl kräver det.*
- *Tunnlar i klass TA och TB bör ha ventilationstekniska installationer som tillgodser säkra förhållanden uppströms en eventuell brand.*
- *Tunnlar som förses med ventilationssystem och som har dubbelriktad trafik bör ha system med hel eller halv tvärventilation som tillgodser säkra förhållanden uppströms och nedströms en eventuell brand.*
- *Tunnlar i klass TA som förses med ventilationssystem och där sannolikheten för köbildning inte är försumbar bör ha hel eller halv tvärventilation.*
- *Tunnlar som förses med ventilationssystem och där fasta släcksystem finns installerade kan utrustas med enbart längsgående ventilation.*

### **B.6.6 Kommunikation till trafikanter vid en nödsituation**

Faror ska kunna kommuniceras genom ett lämpligt system med information om möjlighet och tillvägagångssätt för lämpligt agerande. Anordningar för att ge trafikant direktiv om utrymning ska finnas i tunnelklass TA och TB. Anordning ska utformas så att minst två typer av signaler i form av ljud och ljus kan ges till trafikant.

*Rekommendation:*

*Utformningen av informationen till trafikanterna bör utgå från trafikanternas behov av information på aktuell plats. I huvudsak finns fem grupper av trafikanter som bör beaktas.*

1. *Trafikanter som kör på väg före tunneln eller i tunneln. Trafikanterna behöver övertygas att stanna fordonet och om möjligt undvika att köra in i tunneln. Åtgärder som kan användas är fysiskt hinder, till exempel en bom, information i bilradio via radioinbrytning, variabla informationsskyltar, varningsljus och trafikljus.*
2. *Trafikanter som har stannat sina fordon, men som sitter kvar i dessa. Trafikanterna behöver informeras om att brand uppstått i tunneln och övertygas om att de bör lämna sina fordon. Åtgärder som kan användas är variabla informationsskyltar, tändning av förstärkt belysning vid utgångar, information i bilradio via radioinbrytning och utrymningslarm.*
3. *Trafikanter som utrymmer till fots. Trafikanterna behöver information om var utrymningsvägar finns och hur dessa bör användas. Åtgärder som kan användas är utrymningslarm (talat meddelande), vägledande markeringar och ljussättning av dörr. I utrymningsvägen bör information om hjälptelefon, larmsignaler mm finnas. Dörr till säker plats som utgörs av parallellt tunnelrör bör förses med lämplig varning om att det kan förekomma trafik bakom dörren.*
4. *Om ett annat tunnelrör används för utrymning behöver information gå ut så att det tunnelröret stängs och trafiken leds om.*
5. *Trafikanter framför olycksplatsen behöver information så det går att snabbavveckla i och utanför tunneln för att släppa fram fordon bakom.*

*Vid användande av röstmeddelande bör hänsyn tas till hörbarhet vid samtidig användning av till exempel brandgasventilation.*

### **B.6.6.1 Hjälptelefon**

Utrymningsvägar från tunnlar ska förses med hjälptelefon. Telefon ska även finnas i anslutning till tunnlar mynningar. Det ska finnas telefoner på höger sida av vägen.

## B.7 Möjlighet till räddningsinsatser

### B.7.1 Grundkrav

Tunneln ska utformas så att räddningsinsatser är möjliga att genomföra med tillfredsställande säkerhet. En räddningsplan ska upprättas i samråd med den lokala räddningstjänsten. En räddningsplan ska även finnas vid byggnationen av tunneln<sup>9</sup>.

*Rekommendation:*

*Räddningsinsatser bör omfatta insatser för att rädda liv, egendom och miljö.*

*Räddningsinsatser kan utföras av räddningstjänst, verksamhetens egen personal eller andra.*

*Behoven för räddningstjänst kan identifieras genom scenariospel med berörda parter.*

*Minst ett brandscenario bör ingå.*

### B.7.2 Verifiering

*Rekommendation:*

*Verifiering av möjligheter till räddningsinsatser kan verifieras med bland annat scenariospel eller fysiska övningar.*

### B.7.3 Lokalisering av brandplats

Lokalisering av brandplatsen ska underlättas.

*Rekommendation:*

*Tunnlar i klass TA och TB bör förses med system som möjliggör en lokalisering av brandplatsen. För att lokalisera brandplatsen kan numrering av utrymningsvägar, TV-övervakning (CCTV), ett detektionssystem eller nyttjandeindikator för handbrandsläckare, utrymningsdörrar och hjälptelefon användas.*

### B.7.4 Åtkomlighet för räddningsinsatser

#### B.7.4.1 Räddningsväg

Om gatunätet eller motsvarande inte ger åtkomlighet ska särskild räddningsväg anordnas som ger god framkomlighet.

#### B.7.4.2 Tillgänglighet utanför tunnel

För tunnlar med fler än ett tunnelrör ska det vid varje mynning finnas en tvärförbindelse mellan körbanorna som räddningsfordon kan använda. Uppställningsplats ska finnas för räddningstjänstens fordon.

### B.7.5 Angreppsväg

Avstånd mellan angreppsvägar i tunnlar ska bestämmas efter samråd med den lokala räddningstjänsten, varvid det särskilt ska beaktas att angreppsväg även ska kunna fungera som reträttväg för räddningspersonal. Avståndet får inte överstiga 250 m.

*Rekommendation:*

*Angreppsväg kan utgöras av utrymningsväg. Avståndet mellan angreppsvägar i tunnel är beroende av räddningstjänstens kapacitet men bör inte överstiga 150 m. Närmast tunnelmynningarna och för tunnlar upp till 600 m längd bör inte avståndet överstiga 200 m.*

<sup>9</sup> Detta avsnitt härrör från PBF 3 Kap, 8§\_5, BVT 1, samt tidigare tunnel standarder.

## **B.7.6 Installationer för släck- och räddningsinsatser**

### **B.7.6.1 Släckutrustning**

Utrustning för bekämpning av brand ska finnas i tunnlar. Två handbrandsläckare ska minst finnas vid tunnelns mynningar och vid nöduppställningsplatser samt i anslutning till utrymningsvägar. I anslutning till angreppsväg ska anslutning för brandvattenförsörjning finnas.

*Rekommendation:*

*Handbrandsläckare bör vara placerade på vardera sida om körbana. Om tunnelröret har ett körfält räcker det med placering på höger sida. Anslutning till brandvattenförsörjning kan utformas som brandpostnät eller tomma fasta rör genom brandcellsgränser.*

*Anslutning till brandpostnät bör ske såvida inte tunneln utrustas med ett automatiskt släcksystem. Uttag för brandvattenförsörjningen bör utformas enligt SS 3112. Om anslutning sker till brandpostnät bör uttag minst på 1200 liter/minut vara möjlig.*

### **B.7.6.2 Brandgasventilation**

Om ett ventilationssystem är installerat ska det dimensioneras för att kunna underlätta en räddningsinsats.

*Rekommendation:*

*För att undvika återströmning av brandgaser uppströms branden (backlayering) kan lägsta lufthastigheten vara 3 m/s.*

### **B.7.7 Räddningsstationer eller nödsåp**

Räddningsstationer ska placeras vid tunnelmynningarna och med visst avstånd inne i tunneln. Räddningsstationer eller nödsåp ska installeras på båda sidor av tunnelröret när antalet körfält är två eller flera.

*Rekommendationer:*

*Nödsåp bör installeras i närheten av en utrymningsväg dock högst varje 150 m och 200 m från tunnelmynning.*

### **B.7.8 Planering och övning för insats**

Räddningstjänsten ska ges möjlighet att genomföra insatsövningar i tunnlar tillsammans med tunnelns driftorganisation och medverka i relevanta övningar enligt avsnitt B.4.6. Räddningstjänsten ska i samarbete med tunneloperatören utveckla insatsplaner samt öva dessa och utvärdera för att förbättra, se även avsnitt B.4.7.

### **B.7.9 Kommunikationsmöjligheter för räddningstjänst**

Räddningsstyrkor ska ha möjlighet att kommunicera via radio i tunnlar.

## B.8 Bärförmåga vid brand

### B.8.1 Grundkrav

Tunneln ska utformas så att dess bärförmåga vid brand kan antas bestå under hela brandförloppet inklusive avsvalningsfasen<sup>10</sup>.

### B.8.2 Verifiering

Bärförmåga vid brand ska verifieras genom provning eller utredning. Dimensionering ska antingen utgå från att kollaps inte inträffar för ett antal representativa scenarier eller genom att sannolikheten för kollaps av enskilda byggnadsdelar inte överskrider acceptabla nivåer. Vid verifiering med scenarioanalys ska samtliga angivna scenarier klaras utan att kollaps inträffar, se avsnitt B.10. Analytiska metoder ska utgå från att brandförloppet och gastemperaturutvecklingen i tunneln utvecklas under ett fullständigt brandförlopp baserat på de förhållanden som kan förväntas uppstå. Den analytiska metoden ska utgå från de värden som anges i *Tabell B.5*.

### B.8.3 Bärande huvudsysteem

Det bärande huvudsysteem ska dimensioneras för brandpåverkan.

Belastningen för vilken det bärande huvudsysteem bör utformas bör motsvara den dimensionerande lasten, beräknad i enlighet med kraven i Eurokod 1, se (EKS-8, 2011), med beaktande av alla permanenta och tillfälliga laster som härrör från utformningen, konstruktion och tunnelns placering.

Effekterna av termisk deformationspåverkan på tunnelns tvärsnitt bör tas i beaktande vid bedömningen.

Effekten av temperaturökningen på materialet inklusive slakarmering och spännarmering i det bärande systemet bör beaktas vid bedömningen.

För konstruktioner av betong eller sprutbetong i ett trafikutrymme ska risken för spjälkning beaktas.

#### *Rekommendation:*

*Det bärande huvudsysteem är i regel tak och väggar.*

*Tunneln bör inte bli avstängd på grund av reparation/nybyggnation under längre tid än vad som är acceptabelt, se avsnitt B.4.5.2 och B.4.4.1.1.*

*Bärande huvudsysteem i trafikutrymme bör dimensioneras för nedanstående brandlaster (Tabell B.3). En linjär avsvalningshastighet om 600 °C per timme tar vid efter specificerad tid i tabellen. Observera att vissa delar av Eurokod (EKS-8, 2011) ej är tillämpliga eftersom upphettningshastigheten ofta är över 50 K/minut.*

*Tabell B.3 Förslag på tid-temperaturkurvor för en förenklad dimensionering.*

<b>Tunnelklass</b>	<b>Ej raskänslig</b>	<b>Raskänsliga tunnlar</b>
TA	120 minuter RWS kurva	180 minuter RWS kurva
TB	90 minuter HC kurva	180 minuter RWS kurva
TC	60 minuter HC kurva	180 minuter RWS kurva

<sup>10</sup> Grundkravet hänvisar till PBF 3 Kap, 8§\_1. Detta är ett allmänt krav som ger både ett generellt personskydd men också ett räddningstjänstskydd + ett restvärdeskydd, det vill säga restbärförmåga efter en brand.

### **B.8.4 Övrigt bärverk och inredning**

Bärverk som inte tillhör huvudsystemet men som andra viktiga funktioner är beroende av ska dimensioneras för R 60 minuters påverkan med standardbrandkurvan enligt ISO 834. Sådana funktioner kan vara tunnelars trafikutrymmen, utrymningsvägar samt räddningsrum.

*Rekommendation:*

*Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpningen av europeiska konstruktionsstandarder, eurokoder (EKS-8, 2011) kan följas i tillämpliga delar.*

## **B.9 Skydd mot spridning av brand till närliggande byggnadsverk**

### **B.9.1 Grundkrav**

Spridning av brand till närliggande byggnadsverk ska begränsas<sup>11</sup>. Kravet gäller alla tunnlar (TA, TB och TC).

Exempel på närliggande byggnader kan vara fastigheter ovanför, bredvid eller nära tunnelns mynningar eller fastigheter nära ventilationsschakt.

*Rekommendation:*

*Detta kan uppnås genom en avskiljande konstruktion eller genom att ha tillräckligt avstånd till närliggande byggnadsverk så att infallande strålningsnivå inte överstiger 15 kW/m<sup>2</sup> under en period av 30 minuter från brandens uppkomst.*

### **B.9.2 Verifiering**

Analytisk dimensionering får tillämpas.

### **B.9.3 Förhindra andra risker**

Brandgasutsläpp ska inte skapa sekundära risker.

*Rekommendation:*

*Brandgasutsläpp bör inte ligga nära byggnadsverks luftintag*

---

<sup>11</sup> Grundkravet hänvisar till PBF 3 Kap, 8§\_3.

## **B.10 Rekommendation för analytisk dimensionering genom scenarioanalys**

Rekommendationer i denna vägledning kan användas som underlag för att kunna utföra och verifiera brandsäkerheten enligt avsnitt B.2.5. En analytisk dimensionering omfattar de krav som inte uppfylls enligt förenklad dimensionering, eller där analytisk dimensionering är ett krav. Vid verifieringen bör särskild hänsyn tas till tunnelns brandskydd ur ett helhetsperspektiv.

### **B.10.1 Val av scenarier**

Val av scenarier sker mot bakgrund av vad som är syftet med verifieringen. Scenarier för scenarioanalys kan väljas genom att välja ett eller flera ”värsta troligt scenario” (**scenariogrupp 1**) när alla tekniska system kan antas fungera. För att ta med fallet att tekniska system inte fungerar som avsett men ändå få ett visst grundskydd bör scenarier även väljas och analyseras när ett säkerhetssystem är ur funktion (**scenariogrupp 2**). I scenariogrupp 2 ingår även fel som när de inträffar genererar följdfel. Sådana följdfel bör därför också ingå i analysen.

Brandens placering samt icke fungerande tekniska system är variabla parametrar. Scenariogrupp 1 och 2 ger en mängd scenarier, ur dessa väljs dimensionerande, utmanande scenarier med avseende på det krav dimensioneringen syftar emot. Vissa av de tekniska systemen som finns installerade i tunneln samt tunnelns geometri kan påverka brandutveckling, den högst utvecklade brandeffekten, gastemperaturerna och rökspridningen i tunneln.

## B.10.2 Möjlighet till utrymning (se kapitel B.6)

### Inledning

Funktionskrav för möjligheter till utrymning anges i kapitel B.6.

Möjlighet till utrymning vid brand bör utgå från en jämförelse mellan tiden för utrymning och tiden till dess att kritisk påverkan uppstår. Tiden för utrymning bör inkludera tider för varseblivning, förberedelse samt förflyttning. Tiden för förberedelse bör inkludera tid för tolkning av situationen samt tid för förberedelse att utrymma tunneln.

Kritiska förhållanden definieras som ett tillstånd när utrymning inte längre är möjlig och kritiska nivåer anpassas till vad som utgör en tolerabel exponering i det enskilda fallet. Vid val av förutsättningarna för analyserna bör personernas förväntade beteenden i den aktuella situationen ingå. Riskidentifieringen kan därmed användas för att identifiera olika s.k. utrymningsscenarier. Riskidentifieringen bör inkludera fall då det finns en sannolikhet att personer befinner sig nedströms branden eller i andra situationer där en rökfylld situation kan tänkas uppstå.

Riskidentifieringen förutsätts inkludera att bränder kan uppstå på olika ställen och i olika trafiksituationer som kan tänkas uppstå, dock inte nödvändigtvis samtidigt, och att olika ventilationsförhållanden kan förekomma. De trafiksituationer som bör analyseras bör beakta trafiksituationen utanför tunneln och en framtida förändring i trafiksituationen. Vidare bör förutsättningar för utrymningen beakta t.ex. att del av personerna utgörs av personer med nedsatt orienterings- eller förflyttningsförmåga eller barn. Om utrymning sker genom brandgaser bör effekten av brandgaserna, till exempel nedsatt sikt, förhöjd temperatur och irriterande effekter på andningsvägar, på personers förväntade beteenden och gånghastighet beaktas. Utrymningsaspekterna från fordon till vägbanan bör ingå i analysen.

Inverkan på utrymningsförloppet från förutsättningar i brandförloppet bör ingå i analysen. Som exempel bör utrymningsförloppet påverkas av utebliven funktion hos tekniska system i erfordrat scenariogrupp 2 och att brandens placering eller spridningen av brandgaser kan föranleda att personernas fördelning till olika utgångar kan variera.

Vid analys av utrymningsmöjligheter från vägtunnlar bör den tillgängliga tiden för utrymning vara längre än utrymningstiden för samtliga personer i de aktuella scenarierna. Situationer då detta inte kan uppnås bör särskilt identifieras och åtgärder vidtas om detta kan ske med rimliga medel. Det kan förutsättas att personer utrymmer på egen hand utan hjälp från andra är de som redan befinner sig i tunneln.

### Utrymningsmodell

#### *Antal personer*

Verifieringen av möjligheterna till utrymning vid brand bör grundas på det maximala antalet personer som kan förväntas befinna sig i tunneln.

Vid bedömning av utrymningstiden bör hänsyn tas till att en del av personerna kan ha nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga eller utgörs av barn. I denna hänsyn förutsätts att tiderna i utrymningsmodellen beaktar de relevanta funktionsnedsättningarna.

#### *Varseblivningstid*

Personer kan förväntas bli varse en brand då ett utrymningslarm initieras eller att information ges på annat sätt. I de fall tunneln saknar ett utrymningslarm kan varseblivningstiden bedömas utifrån när branden blir synlig eller när brandgaser blir synliga för aktuell person.

### *Förberedelsetid*

Förberedelsetiden bör beakta att personer kan behöva hjälp med att inleda sin utrymning. Sådana situationer kan vara aktuella för personer i bussar eller fordon för färdtjänst. Förberedelsetiden kan förväntas vara olika för personer i tunneln och vara längre för personer längre bort från branden där underlaget för eget beslutsfattande är sämre. Social påverkan mellan personer bör beaktas vid valet av förberedelsetid. Förberedelsetiden kan förutsättas bero på sättet som personer i tunneln informeras om branden till exempel genom närvaro av utrymningslarm, meddelanden eller annat. Om tunneln saknar utrymningslarm kan varseblivningstiden och förberedelsetiden kombineras till en sammanlagd fördröjningstid för utrymning.

Personer som inledningsvis ser orsaken till att trafiken stannat kan förväntas ha kortare fördröjningstid än de som inte ser orsaken. Om tunneln är försedd med ett tydligt informationssystem som informerar om vad som har hänt och vad trafikanterna förväntas göra kan förberedelsetiden antas vara 2,5 minuter (Norén & Winér, 2003). Värdet innebär att de allra flesta (>90%) trafikanter troligen påbörjat förflyttningen. Vägledning kan för närvarande inte ges för situationer utan system som är avsedda att initiera utrymning.

### *Förflyttningstid*

Förflyttningstiden bör utgå från de på platsen aktuella förhållandena till exempel vad avser förflyttning i dålig sikt eller om fysiska hinder (fordon eller andra personer) förekommer. Gånghastigheten för obehindrad förflyttning kan väljas till 1,5 m/s. Personer med nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga eller barn kan förutsättas förflytta sig med 0,7 m/s. Lutning i tunneln behöver inte beaktas för bestämning av gånghastighet. Personflöde genom dörrar kan antas vara 0,75 p/ms (BBRAD, 2011).

### *Brandscenarier*

Brandscenarierna utgör grunden för exponering för utrymningsanalyser. Baserat på resultatet av riskidentifieringen kan brandscenarierna placeras på olika ställen i tunneln för att belysa olika situationer som kan uppstå. Minst två scenariogrupper bör ingå i analysen:

#### *Scenariogrupp 1*

Scenariogrupp 1 kännetecknas av ett allvarligt brandförlopp med snabb utveckling och hög brandeffekt, ett troligt värsta fall. Installerade tekniska skyddssystem kan antas fungera som avsett och effekten av dessa kan tillgodoräknas. Om ett ventilationssystem installeras bör det även användas för brandgasventilation.

Brandförloppet bör modelleras utifrån följande förutsättningar och specifikationer:

Brandförlopp (tillväxthastighet, maximal effektutveckling och produktion av förbränningsprodukter) väljs enligt *Tabell B.4*.

Fasta släcksystem kan påverka brandförloppet enligt avsnittet om *Påverkan av fasta släcksystem*.

#### *Scenariogrupp 2*

Scenariogrupp 2 kännetecknas av ett brandförlopp som kan ses som en mindre påfrestning på byggnadens brandskydd men som utvecklas samtidigt som enskilda tekniska system inte fungerar som avsett. De tekniska system som var och ett för sig bör göras otillgängliga i brandscenariogrupp 2 är följande:

- Automatiskt brand- och utrymningslarm.
- Fast släcksystem.
- Brandgasventilation.
- Földjfel bör beaktas om felet innebär att flera system kan slås ut av en händelse, till exempel om strömförsörjning eller styrsignaler uteblir

*Brandförlopp*

Brandförloppet bör modelleras utifrån följande förutsättningar och specifikationer: Brandförlopp (tillväxthastighet, högsta brandeffektutveckling och produktion av förbränningsprodukter) väljs enligt *Tabell B.4*.

Fasta släcksystem kan påverka brandförloppet enligt avsnittet om *Påverkan av fasta släcksystem* undantaget då släcksystemet görs otillgängligt.

Brandförloppets avgivna värmeeffekt kan antas följa sambandet

$$\text{HRR} = \alpha t^2$$

För verifiering av möjlighet till utrymning, kapitel B.6, kan brandförloppsegenskaper väljas från nedanstående *Tabell B.4*.

*Tabell B.4 Val av brandscenarier för utrymning.*

Scenariogrupp	Beskrivning	Brandtillväxt	Specificerade parametrar
1	En lastbilsbrand TA: 100 MW TB: 75 MW TC: 50 MW	TA och TB: $\alpha = 0,19$ kW/s <sup>2</sup> För tunnlar med longitudinellt luftflöde lägre än 1,5 m/s: $\alpha =$ 0,047 kW/s <sup>2</sup> TC: $\alpha = 0,047$ kW/s <sup>2</sup>	$Y_{\text{CO}_2}=2.5$ g/g, $Y_{\text{CO}}=0.1$ g/g, $Y_{\text{SoT}}=0.1$ g/g, $Y_{\text{HCN}}=0.01$ g/g $H_{\text{ec}}=25$ MJ/kg
2	En personbilsbrand TA: 10 MW TB: 7,5 MW TC: 5 MW	Alla tunnelklasser: $\alpha =$ 0,047 kW/s <sup>2</sup>	

*Påverkan av fasta släcksystem*

Effekten av ett konventionellt släcksystem (deluge) med vatten som släckmedel gäller följande: för samtliga bränder kan det antas att brandeffektutvecklingen kan vara konstant efter aktivering av systemet.

För andra typer av fasta släcksystem bör en särskild bedömning genomföras.

*Godtagbar exponering*

Kriterier för bestämning av tillgänglig tid för utrymning kan baseras på nedanstående värden.

- Värmestrålning: < 2,5 kW/m<sup>2</sup>.
- Temperatur: < 80 °C.
- Toxiska gaser:
  - O<sub>2</sub> > 15 vol%,
  - CO<sub>2</sub> < 5 vol%, och
  - CO < 2000 ppm.

Som mät punkt kan en position 2,0 m över tunnelns vägyta väljas. Värdena för den toxiska påverkan förutsätter att en person exponeras för maximalt ovanstående nivåer under högst en minut och att utrymningen i övrigt sker i en miljö som inte påverkats av brandgaser. Lägre nivåer för exponeringen kan inte antas gälla under linjärt ökad tid.

Tillgänglig tid baseras på när minst ett av kriterierna (värmestrålning, temperatur eller toxiska gaser) överskrids.

Som alternativ till ovanstående kriterier kan även den tolerabla exponeringen uttryckas som en tidsberoende exponering där brandgasernas koncentration och temperatur som funktion av tiden beräknas. En form av normaliserad kumulativ dos kan då ersätta kriterierna för temperatur och toxiska gaser enligt ovan. Beräkning av så kallad fraktionsdoser för medvetslöshet (Fractional Effective Dose, FED) gör lämpligen i enlighet med Purser (2008) eller ISO 13571 (2012). Fraktionsdosen för giftiga gaser bör minst beakta inverkan från CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> och HCN.

- Toxiska gaser:  $FED < 0.3 * FED$  för medvetslöshet

Identifierade utrymningsscenarier och brandscenarier bör, tillsammans med relevanta analysförutsättningar, dokumenteras.

## B.10.3 Dimensionering av bärande huvudsystem (se kapitel B.8)

Detta avsnitt ger rekommendationer för dimensionering av huvudsystemet. Se avsnitt B.8.1 och B.8.3 för hur funktionskraven kan tas fram.

För analytisk dimensionering av bärförmåga kan scenarier väljas från nedanstående tabell (Tabell B.5).

Tabell B.5 Brandscenarier för analytisk dimensionering av huvudsystemets bärförmåga.

Scenariogrupp	Ej raskänslig tunnel	Raskänslig tunnel
1	100 MW och 500 GJ lastbilsbrand, $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$	100 MW och 1000 GJ lastbilsbrand, $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$
2	10 MW och 20 GJ personbilsbrand, $\alpha = 0,047 \text{ kW/s}^2$	100 MW och 500 GJ lastbilsbrand, $\alpha = 0,19 \text{ kW/s}^2$

Raskänslig tunnel definieras i avsnitt 0. Avsvalningsfasen avtar linjärt med 600 grader per timme.

Dimensionerande förutsättningar för bärförmågan bör specificeras utifrån avsnitt B.8.1 and B.8.3. Eurokod 1 bör följas i den mån den är applicerbar.

Skydd mot spjälkning kan verifieras genom provning eller utredning. Utredning kan basera på ”Rapport 16 – Betong och brand – Rekommendationer för att förhindra spjälkning i anläggningskonstruktioner”, Svenska Betongföreningen med komplettering av SP rapport 2010:70 ”Verifiering av brandmotstånd för betong och sprutbetong i tunnlar”. Notera att dessa rapporter ej gäller för temperaturstigningar på över 50 K/minut.

Från brandscenarier kan taktemperatur (gastemperaturen) för en given tunnelgeometri och längsventilation beräknas med hjälp av formler framtagna av Li och Ingason (2012).

Givet brandens effekt, brandutveckling, och den totala energin kan en effektkurva,  $Q(t)$ , skapas. Först beräknas dimensionslös ventilation,  $V'$ :

$$V' = V / \left( \frac{gQ}{b_{f_0} \rho_0 c_p T_0} \right)^{1/3}$$

Där  $V$  är längsventilationshastigheten,  $g$  gravitationskonstanten,  $Q$  den totala brandeffektutvecklingen,  $b_{f_0}$  brandkällans radie,  $\rho_0$  luftens densitet vid normalt tryck och gastemperatur,  $c_p$  specifikt värme för luft, och  $T_0$  omgivningens gastemperatur. Brandkällans radie kan approximeras med radien från en cirkel med samma area som brandkällan.

Tunnelns högsta taktemperaturökning,  $\Delta T_{max}$  kan då beräknas enligt:

$$\Delta T_{max} = \begin{cases} DTR1, & DTR1 < 1350 \\ 1350, & DTR1 \geq 1350 \end{cases}, \quad V' \leq 0.19$$

$$\Delta T_{max} = \begin{cases} DTR2, & DTR2 < 1350 \\ 1350, & DTR2 \geq 1350 \end{cases}, \quad V' > 0.19$$

där

$$DTR1 = 17.5 \frac{Q^{2/3}}{H_{ef}^{5/3}}$$

och

$$DTR2 = \frac{Q}{V H_{ef}^{5/3} b_{f_0}^{1/3}}$$

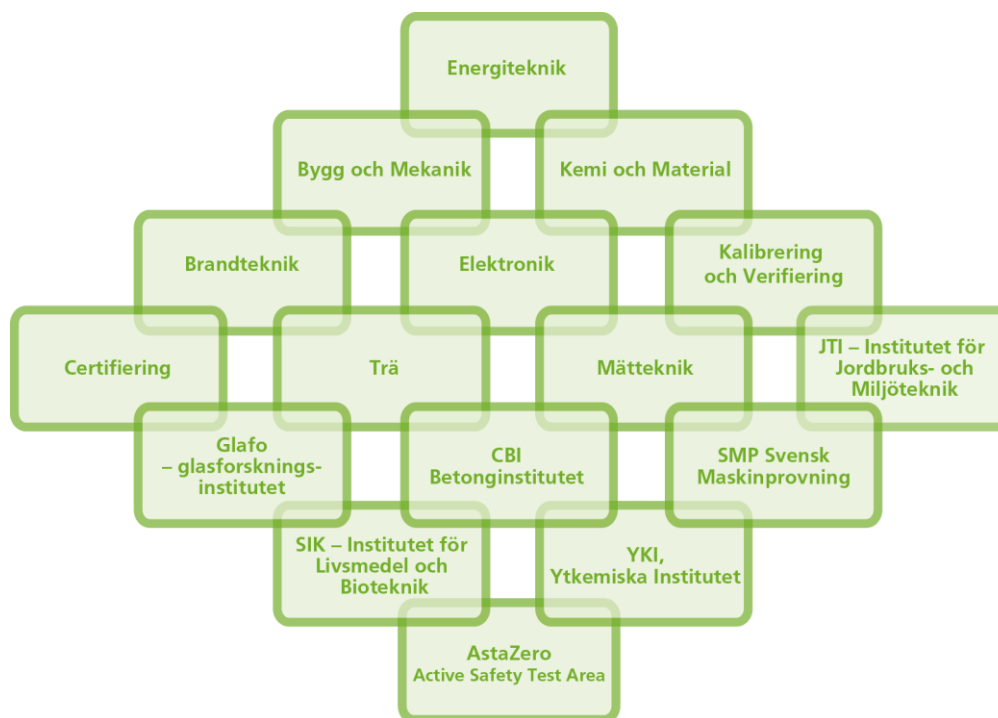
Alltså fås en brandlast i form av tid-gastemperaturkurva utifrån scenariobeskrivningen i *Tabell B.5*. Denna används för att verifiera huvudsystemets bärförmåga, antingen genom simulering eller också provning.

## B.11 Referenser

- ADR-S 2011. Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps föreskrifter om transport av farligt gods på väg och i terräng. Karlstad: MSB.
- ATB Vinter 2003. Vägverket Publ 2002:148. Borlänge.
- BBR19 2011. Boverkets byggregler (t.o.m. BFS 2011:26). Karlskrona: Boverket.
- BBRAD 2011. Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd. Boverket.
- BVT1 2007:11. Boverkets föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar. Karlskrona: Boverket.
- EKS-8 2011. Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpningen av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder). Karlskrona: Boverket.
- ISO 2012. Life threatening components of fire -- Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires. Geneva: the International Organization for Standardization.
- LI, Y. Z. & INGASON, H. 2012. The maximum ceiling gas temperature in a large tunnel fire. *Fire Safety Journal*, 48, 38-48.
- LSO 2003:778. Lag om skydd mot olyckor (t.o.m. SFS 2010:1908 ). Stockholm: Regeringskansliets rättsdatabaser.
- NORÉN, A. & WINÉR, J. 2003. Modelling crowd evacuation from road and train tunnels - Data and design for faster evacuations. Rapport 5127: Lunds Universitet.
- PBF 2011:338. Plan- och byggförordning (t.o.m. SFS 2011:819). Socialdepartementet, Regeringskansliet.
- PBL 2010:900. Plan- och bygglag (t.o.m. SFS 2012:444). Socialdepartementet, Regeringskansliet
- PURSER, D. A. Toxicity assessment of combustion products, Chapter 2-6, *In: DINENNO, P. J., DRYSDALE, D., BEYLER, C. L., WALTON, W. D., CUSTER, R. L. P., HALL, J. R. & WATTS, J. M. (eds.) The SFPE Handbook of fire protection engineering*. Fourth ed. Quincy, MA, USA: National Fire Protection Association.
- SFS 1992:1403. Lag om totalförsvaret och höjd beredskap (t.o.m. SFS 1999:946). Socialdepartementet, Regeringskansliet.
- SFS 2006:418. Lag om säkerhet i vägtunnlar (t.o.m. SFS 2010:1573). Socialdepartementet, Regeringskansliet.
- SFS 2006:421. Förordning om säkerhet i vägtunnlar (t.o.m. SFS 2010:1608). Stockholm: Sveriges Regering.
- SFS 2006:942. Förordning om krisberedskap och höjd beredskap (t.o.m. SFS 2010:1477). Socialdepartementet, Regeringskansliet.
- SRVFS 2003:10. Statens räddningsverks föreskrifter om skriftlig redogörelse för brandskyddet. Statens räddningsverk.
- SRVFS 2004:3. Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbete. Statens räddningsverk.

### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 10000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: [info@sp.se](mailto:info@sp.se), Internet: [www.sp.se](http://www.sp.se)

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Mer information om SP:s publikationer: [www.sp.se/publ](http://www.sp.se/publ)

Brandteknik

SP Arbetsrapport 2012:48

ISBN 978-91-87017-66-7

ISSN 0284-5172