



LUND UNIVERSITY

Säkerhetsbedömning av järnvägstunnlar

Utveckling av bedömningsmetod för beräkning av säkerhetsindex

Frantzich, Håkan; Fridolf, Karl

2025

Document Version:

Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Frantzich, H., & Fridolf, K. (2025). *Säkerhetsbedömning av järnvägstunnlar: Utveckling av bedömningsmetod för beräkning av säkerhetsindex*. Trafikverket.

<https://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/pages/PublikationVisa.aspx?PublikationId=8165>

Total number of authors:

2

Creative Commons License:

CC BY

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

RAPPORT

Säkerhetsbedömning av järnvägstunnlar

Utveckling av bedömningsmetod för beräkning av säkerhetsindex



Trafikverket

Postadress: Box 366, 201 23 Malmö

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

Konfidentialitetsnivå: 1 Ej känslig

Dokumenttitel: Säkerhetsbedömning av järnvägstunnlar: Utveckling av
bedömningsmetod för beräkning av säkerhetsindex

Författare: Håkan Frantzich, Lunds universitet och Karl Fridolf, Trafikverket

Dokumentdatum: 2025-04-24

Ärendenummer: TRV 2022/84872

Kontaktperson: Karl Fridolf, IVtt1

Innehåll

Förord	7
---------------------	----------

Sammanfattning	8
-----------------------------	----------

1 Inledning	9
--------------------------	----------

1.1 Bakgrund	9
1.2 Syfte	11
1.3 Mål	11
1.4 Metod	11
1.5 Termer och begrepp	12
1.6 Avgränsningar	12

2 Säkerhet i järnvägstunnlar.....	15
--	-----------

2.1 Aktuella regelverk	15
2.1.1 Introduktion av interna krav på järnvägstunnlars utformning och utrustning med avseende på säkerhet (BVH 541.3)	15
2.1.2 Utveckling av interna utformningskrav och introduktion av ambitionsnivå och värderingsmetodik (BVH 585.30 v. 1.0)	16
2.1.3 Etablering av interna, övergripande krav för byggande av järnvägstunnlar (BVS 585.40)	19
2.1.4 Lansering av europeiska minimikrav och anpassning samt fortsatt utveckling av interna krav (TSD, BVH 585.30 v. 2.0 och BVK 2007.001)	20
2.1.5 Fortsatt utveckling av både europeiska och interna krav (TRVK/TRVR Tunnel 11, TDOK 2016:0231/0232, TRVINFRA-00233 och ny TSD)	24

3 Säkerhetsarbete i andra länder	27
---	-----------

3.1 Urval och genomförande	27
3.2 Sammanfattande synpunkter från intervjuerna	27
3.2.1 Bane NOR	28
3.2.2 Banedanmark	29
3.2.3 ProRail i Nederländerna.....	29
3.2.4 Generella kommentarer och reflektioner	30

4 Metod för säkerhetsbedömning	31
---	-----------

4.1 Allmänt	31
4.2 Grundläggande struktur för indexmetod.....	32

4.3 Komponenter i hierarkin.....	33
4.3.1 Övergripande mål	35
4.3.2 Delmål	35
4.3.3 Strategier	36
4.3.4 Attribut	36
4.3.5 Bedömning av järnvägstunnelns säkerhetsnivå	38
5 Utveckling av metodens attribut	39
5.1 Val av attribut	39
5.2 Svårigheter med beskrivning av parametrar	40
5.3 Beskrivning av ingående attribut.....	41
5.3.1 Attribut 1: Tågtrafik och drift.....	42
5.3.2 Attribut 2: Tunnelns konstruktion.....	46
5.3.3 Attribut 3: Spår- och trafikegenskaper.....	50
5.3.4 Attribut 4: Tunnelns passiva brandskydd	53
5.3.5 Attribut 5: Tunnelns aktiva skydd mot och vid brand, utsläpp och explosion.....	58
5.3.6 Attribut 6: Vägar för utrymning	63
5.3.7 Attribut 7: Installationer för utrymning.....	68
5.3.8 Attribut 8: Räddningstjänst.....	72
5.3.9 Attribut 9: Organisatoriska skyddsåtgärder	76
5.3.10 Attribut 10: Externa faror.....	82
6 Betydelsen av ingående komponenter	87
6.1 Expertbedömningsmetoder.....	87
6.1.1 Expertbedömning med fokusgrupper	87
6.1.2 Expertbedömning med Delphiundersökning.....	88
6.2 Bestämning av attributvikter	89
6.2.1 Fokusgruppernas bedömningar	89
6.2.2 Delphigruppens bedömningar	90
6.2.3 Beräkning av vikter för analys av järnvägstunnelns säkerhet	94
6.2.4 Beräkning av vikter för analys av det systematiska brandskyddsarbetet i järnvägstunneln.....	97
6.2.5 Bedömning av parametrars betydelse för beräkning av attributvärden	100
6.2.6 Sammanställning av vikter	101
7 Tillämpning av bedömningsmetoden	103

7.1 Allmänt	103
7.2 Fem järnvägstunnlars säkerhet.....	104
7.2.1 Tunnel A	104
7.2.2 Tunnel B	105
7.2.3 Tunnel C	106
7.2.4 Tunnel D	107
7.2.5 Tunnel E	108
7.2.6 Sammanställning av genomförda säkerhetsbedömningar	109
8 Diskussion	111
8.1 Metodval och struktur	111
8.2 Validitet	112
8.3 Nivå för godtagbar säkerhet	114
9 Slutsats	117
10 Referenser	119
Bilagor.....	123
Bilaga 1: Sammanfattning av krav i det första samt nu gällande regelverket om tunnelsäkerhet	125
Bilaga 2. Intervjufrågor till internationella tunnelförvaltare.	133
Bilaga 3. Skador som ska bedömas för parametern 'Risk för nedfallande föremål i eller utanför tunneln' i attribut 2.	135
Bilaga 4. Sammanställning av fokusgruppernas bedömning	139
Bilaga 5. Delphideltagarnas sammanställda bedömningar	141
Bilaga 6 Parametervikter.....	145

Förord

Arbetet med att utveckla en bedömningsmetod för säkerhet i järnvägstunnlar har genomförts under 2023 – 2025 av i huvudsak rapportens två författare. Som stöd i utvecklingen har en rad personer bidragit med kunskaper inom områden som berör säkerhet i järnvägstunnlar. Det är framför allt projektets referensgrupp och sakexperter inom olika områden vid Trafikverket som medverkat. Samtliga dessa personer förtjänar en stor uppskattning för det engagemang som visats och synpunkter som getts under projektets gång.

Det ska också nämnas att flera personer i landet bidragit med expertbedömningar som varit nödvändig för att kunna fylla metoden med relevanta data avseende betydelsen av egenskaper som är väsentliga för en järnvägstunnels säkerhet. Dessa personer förtjänar ett stort tack då arbetsinsatsen från deras sida inte varit ringa.

Referensgruppen till projektet bestod av

Bo Wahlström, Brandskyddslaget

Cecilia Sandström, Tyréns

Fredrik Skarander, Trafikförvaltningen Region Stockholm

Daniel Farth, Trafikverket

Henric Modig, Trafikverket

Signe Rasmuson Hagström, Trafikverket

Åse Ekander, Trafikverket

Johan Häggström, Trafikverket

Sakexperter inom Trafikverket som bistått med information: Per-Olof Larsson-Kråik, Magnus Linde, Marcus Bredberg, Ewa Lind och Daniel Farth.

Sammanfattning

Trafikverket är enligt Järnvägssäkerhetslag (2022:367), 2 kap., 2 § skyldigt att ha ett säkerhetsstyrningssystem. Säkerhetsstyrningssystemet ska utformas så att de risker som verksamheten kan ge upphov till kan hanteras det vill säga att identifiera, analysera och utvärdera risker som är relevanta för, i detta fall järnvägstunnlar. För att tillgodose kraven i ett praktiskt sammanhang behövs någon form av strukturerad metod för att bedöma risker i järnvägstunnlar och vidare att underhålla dessa så att risken för personskador inte överstiger vad som kan anses vara tolerabelt.

Föreliggande rapport beskriver utvecklingen av en riskanalysmetod som bygger på multikriterianalys. En sådan kan beskrivas som en semikvantitativ riskanalysmetod som bedömer egenskaper som är väsentliga för en järnvägstunnels säkerhet och presenterar risken i form av ett riskindex eller ett säkerhetsindex. Ett sådant index kan användas för att rangordna risker då semikvantitativa riskanalysmetoder inte ger ett explicit mått på risken. Utifrån ett säkerhetsindex (som bedömer järnvägstunnels säkerhetsnivå) kan exempelvis underhållsbehov prioriteras.

Metoden bedömer järnvägstunnels förmåga att hantera personsäkerhet vid tunnelspecifika olycksscenarier. Målet bryts ner i delmål och slutligen i 10 attribut som är egenskaperna som bedömts vara väsentliga för en järnvägstunnels säkerhet. Attributen graderas utifrån hur den enskilda tunneln tillgodoser de säkerhetsrelaterade egenskaperna. Attributen är inbördes inte lika viktiga för att bestämma säkerhetsnivån utan varje attributs gradering viktas med avseende på det enskilda attributets betydelse för säkerheten. Två metoder har använts för att härleda vikterna för attributen, fokusgrupper och Delphiundersökning. Den slutliga versionen av metoden baseras på vikterna utifrån Delphiundersökningen som utnyttjade experters bedömningar av relationerna mellan attribut och det övergripande målet. Relationerna beskrivs grafiskt i form av ett hierarkiskt träd. Expertbedömningarna har skett genom parvisa jämförelser av egenskaperna på en nivå i det hierarkiska trädet i förhållande till egenskaper högre upp i hierarkin, en teknik som benämns Analytical Hierarchy Process (AHP).

Metoden har tillämpats på fem järnvägstunnlar i Sverige och resultaten pekar på möjligheten att gradera tunnlar med avseende på säkerhetsnivå och kan identifiera tunnlar som har svårare att tillgodose en acceptabel säkerhetsnivå. Rapporten kan även ses som en arbetsprocedur för att utveckla liknande metoder för andra tillämpningar inom Trafikverkets ansvarsområde.

1 Inledning

Järnvägstunnlar utformas med en rad tekniska och organisatoriska förutsättningar för att de ska ge en god säkerhet för personer som vistas i tunneln i händelse av en olycka. Tunnlar är utrustade på olika sätt med skiftande grad av tekniska installationer och grad av underhåll. För att kunna bedöma en tunnels säkerhetsmässiga status bör det finnas en strukturerad bedömningsmetodik som generellt kan användas för samtliga tunnlar. Motivet att utveckla en sådan metod är att det finns ett intresse att kunna prioritera drift- och underhållsåtgärder mellan olika tunnlar beroende på deras säkerhetsmässiga status.

1.1 Bakgrund

Trafikverket är i egenskap av förvaltare av järnvägsinfrastruktur och de anläggningar som hör till infrastrukturen skyldig att inneha ett säkerhetsstyrningssystem (Järnvägssäkerhetslag (2022:367), 2 kap., 2 §). Säkerhetsstyrningssystemet ska utformas så att de risker som verksamheten kan ge upphov till kan hanteras, och åtminstone innehålla de delar som preciseras i Järnvägssäkerhetsförordning (2022:418), 2 kap., 5 §. Det ska därtill upprättas i enlighet med kraven i bilaga II till kommissionens delegerade förordning (EU) 2018/762. I praktiken innebär det att Trafikverket måste identifiera, analysera och utvärdera alla risker som är relevanta för typen och omfattningen av den verksamhet som organisationen utför samt utveckla och införa nödvändiga säkerhetsåtgärder. Trafikverket måste också ha ett system för att övervaka sådana säkerhetsåtgärders effektivitet.

Kraven i ovan nämnda nationella och europeiska författningar tangerar innehållet i lag (2003:778) om skydd mot olyckor (LSO). I lagens 2 kap., 2 §, görs det tydligt att ägare till byggnader och andra anläggningar i skälig omfattning både ska 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 och för att hindra eller begränsa skador till följd av dem. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) har i en tillämpningsföreskrift preciserat att en anläggningsägare bör bedriva ett systematiskt och kontinuerligt brandskyddsarbete (SBA) under en byggnads eller anläggnings hela användningstid för att uppfylla dessa krav. Krav på att verksamhetsutövare ska identifiera, analysera och värdera hur (brand)skyddsåtgärder samverkar och bidrar för att minska (brand)riskerna i en anläggning samt att följa, det vill säga att övervaka, hur riskerna förändras under en anläggnings livstid förekommer med andra ord även inom andra myndigheters regelverk.

Utöver ovan nämnt ansvar för att vidta åtgärder för att hantera och övervaka risker är Trafikverket alltså även ansvarig för att bedöma fysiska egenskaper, genomföra analyser och att planera efterföljande reinvesterings- och underhållsåtgärder; med andra ord för att bedriva ett tillståndsbaserat underhåll (SS-EN 13306:2017). Inom teknikområdesgrupp tunnelsäkerhet saknas dock idag metoder för att bedöma och värdera tillstånd såväl på en övergripande som på en mer detaljerad nivå (Fridolf, 2021). Det sker ingen strukturerad eller kontinuerlig övervakning av tunnelsäkerhetsrelaterade anläggningsdelar, och det sker heller ingen bedömning av tillstånd och/eller nedbrytning av dessa. På en övergripande nivå saknas det med andra ord en helhetsbild av nuvarande tillstånd, och analyser av behov liksom bedömning av effekter och konsekvenser av olika underhålls- och reinvesteringsåtgärder samt eventuella ändrings- och moderniseringsarbeten är således behäftade med stora osäkerheter.

För att kunna kartlägga en enskild tunnels förutsättningar att nå de önskade säkerhetsmålen behöver varje tunnel analyseras med avseende på säkerhet. Det finns olika metoder för att göra denna säkerhetsbedömning, från väldigt enkla checklistor till mer analytiskt inriktade metoder som utgår från ett riskanalytiskt tankesätt. Alla metoder har fördelar och nackdelar och avsikten med det föreliggande arbetet är att undersöka möjligheten att utveckla en metodik som ger en relativ indikation på en järnvägstunnels säkerhetsnivå men som samtidigt är relativt enkel att använda utan att djupare expertkunskaper behöver vara nödvändiga.

En metod som ska värdera säkerhet i tunnlar kan fokusera på personer som måste utrymma en järnvägstunnel och deras förutsättningar att kunna sätta sig i säkerhet vid en olycka. Det kan omfatta passagerare på tåg men kan också inkludera andra personer som vistas i tunneln till exempel personal som bedriver underhållsarbeten. Dock regleras dessa senare personers vistelse i tunneln av andra regelverk.

Tunnelns utformning ska alltså vara sådan att det ska gå att utrymma för en rad olika olyckstyper. Beroende på bland annat tunnelns längd är tunneln, i olika nivåer, utrustad med installationer som underlättar en sådan utrymning. Längre tunnlar ska oftast vara försedda med fler säkerhetsfrämjande åtgärder men utformningen av dessa kan skilja inom de ramar som gällande föreskrifter anger. Vidare är tunnelnarnas installationer utformade utifrån de regler som gällde när tunneln byggdes, med en viss uppgradering. Men det är många aspekter som påverkar den faktiska säkerhetsnivån där faktisk utformning, tunnelns ålder, trafikens

förutsättningar samt grad av underhåll och renoveringar spelar en stor roll. Faktorer som dessa bör ingå i en metod som syftar till att värdera en järnvägstunnels säkerhet vilket är en nödvändighet för att tillgodose kraven i Järnvägssäkerhetslagen. Att utveckla en sådan metod som kan bedöma en järnvägstunnels säkerhet är således nödvändigt.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utveckla och undersöka möjligheten använda en semikvantitativ indexmetod för att värdera säkerheten i Trafikverkets järnvägstunnlar. Med säkerhet avses förmågan att kunna hantera personsäkerhet vid tunnelspecifika olycksscenarier.

1.3 Mål

Målen med projektet är att föreslå ett arbetssätt eller verktyg som kan användas för att:

1. härleda säkerheten/risken i respektive järnvägstunnel (dels i relation till övriga järnvägstunnlar som Trafikverket äger och förvaltar, dels i relation till såväl tidigare som idag gällande regelverk för tunnelbyggande),
2. bestämma en anläggningsspecifik brandskyddsnivå för respektive järnvägstunnel som Trafikverket äger och förvaltar, och
3. redovisa betydelsen för olika aspekter av säkerheten i en järnvägstunnel.

1.4 Metod

Avsikten med projektet är i huvudsak att utveckla en metodik för att bedöma säkerhet i järnvägstunnlar. Vidare kommer olika tekniker för att kvantifiera delar av en sådan metod att undersökas. De tekniker som avses är på vilket sätt som expertbedömningar ska ingå i beskrivningen av betydelsen av egenskapers bidrag till en tunnels säkerhet.

Arbetet har haft följande upplägg:

1. Inventering av metoder för att bedöma säkerhetsnivå för järnvägstunnlar i Europa samt en allmän litteraturgenomgång.
2. Beskrivning av metod för säkerhetsvärdering samt identifiering av väsentliga komponenter för en sådan värdering.

3. Beskrivning av gradering av ingående komponenter utifrån möjliga utföranden.
4. Bedömning av betydelsen mellan ingående komponenter i metoden.
5. Försöksbedömningar för ett antal järnvägstunnlar.

Inom varje del har olika metoder använts för att samla in den data som behövs för att beskriva innehållet för respektive del. Det kan handla om att intervjua sakterter inom Trafikverket och att få återkoppling på förslag som utvecklats under projektets gång. De komponenter som vid användningen av den färdiga metoden utgör basen för en bedömning har dessutom kontinuerligt reviderats allteftersom ny kunskap kommit fram.

Avslutningsvis genomfördes ett antal provbedömningar med metoden som utvecklats för att undersöka användbarheten i bedömningsunderlagen. I samband med bedömningarna gjordes en kvalitativ bedömning av tunnelns generella säkerhet med avsikt att jämföra mot de med metoden beräknade nivåerna för tunnelns säkerhet.

Under hela projektet har en referensgrupp funnits för att ge kontinuerlig återkoppling och bistå med sakkunskap.

1.5 Termer och begrepp

Termer som används i rapporten utgår i huvudsak från definitioner i TRVINFRA-00233. Dock finns några undantag där vissa begrepp förenklats för läsaren:

Gångbana: Kallas i TRVINFRA-00233 för nödgångbana och avser ytan i trafikutrymmet som utrymmande personer går på för att nå en utrymningsväg.

Säker plats: Definieras i TRVINFRA-00233 som en mer temporär plats där utrymmande personer vistas men begreppet omfattar i denna rapport även en så kallad slutgiltig säker plats. Det som bedömts vara väsentligt är att det finns en plats dit personer kan förflytta sig och som innebär att de är utom direkt fara.

1.6 Avgränsningar

Projektet är avgränsat till att omfatta Trafikverkets befintliga järnvägstunnlar, det vill säga de som har överlämnats till verksamhetsområde Underhåll (VO UH). Det beror i huvudsak på att projektets förväntade resultat inte utan större eftertanke kan tillämpas för

att projektera, utforma och verifiera skyddet mot olyckor i nya, moderniserade eller ombyggda järnvägstunnlar. En projektering eller verifiering av säkerhet kräver en helt annan detaljeringsnivå vilken inte kan erhållas som ett resultat av den föreslagna säkerhetsbedömningsmetoden.

Arbetet har också avgränsats till att endast omfatta de av Trafikverkets järnvägstunnlar som mer renodlat fungerar som passage genom berg eller liknande. Tunnlar med undermarksstationer eller tunnelbaneliknande anläggningar omfattas inte av arbetet. Motivet är att skyddet mot olyckor i anläggningar med undermarksstationer i stor utsträckning kan förväntas avvika från övriga anläggningar, till exempel med avseende på vilka tekniska, organisatoriska och administrativa åtgärder som anordnats såväl i tunnelns trafikutrymme som sidoutrymmen (inkl. anslutande undermarksstationer).

Vidare beaktas endast de faktorer som är knutna till den fysiska tunneln och till vissa aktörer från samhället som är direkt involverade. Det innebär att Trafikverkets egna ageranden och förutsättningar att hantera olyckor inkluderas liksom förutsättningarna för aktuell kommuns räddningstjänst att förebygga och hantera en olycka. Däremot ingår inte de olika tågoperatörernas bidrag till tunnelns säkerhet vid en olycka även om tågpersonalens ageranden sannolikt bidrar till vilken säkerhet som kan förväntas. Därför ligger fokus på att bedöma med stationära förhållanden och främst den fysiska tunnelns egenskaper för att hantera olyckor.

Det finns en avgränsning i vilken typ av konsekvenser som ska kunna hanteras vid en säkerhetsbedömning med den föreslagna metoden. Grundtanken är att de generella olyckstyper som beskrivs i den tekniska specifikationen för driftskompatibilitet (TSD) avseende "säkerhet i järnvägstunnlar" omfattas och hur dessa påverkar verksamheten i tunneln. Konsekvenser som påverkar det omgivande samhället eller konsekvenser för tågtrafiken i övrigt inkluderas inte. Exempel på sådana olyckor kan vara skador till följd av ras och skred som drabbar tredje man eller utsläpp av farligt gods nära ett samhälle som kan få konsekvenser för dem som bor nära tunneln.

Scenarier kopplade till terrorhandlingar eller andra olyckor som har ett uppsåt att skada, ingår inte i de som omfattas.

Förutom att utveckla en metod för bedömning av säkerhet för järnvägstunnlar ska rapporten även ses som en vägledning till hur liknande metoder kan utvecklas för andra tillämpningar inom Trafikverkets domän.

Metoden för säkerhetsvärdering omfattar i huvudsak skador på personer och inte skador på anläggningen.

2 Säkerhet i järnvägstunnlar

2.1 Aktuella regelverk

Dimensionering av säkerhet vid byggande av nya eller ändring (modernisering, ombyggnad eller utvidgning) av befintliga järnvägstunnlar regleras idag i såväl europeiska som svenska författningar. I egenskap av infrastrukturförvaltare av järnväg kompletterar därutöver Trafikverket gällande regelverk med egna krav, råd och rekommendationer om exempelvis hur risker för passagerare och tågpersonal kan, bör eller ska hanteras vid projektering. Utvecklingen av regelverket har i Sverige pågått kontinuerligt sedan 1990-talet, och nedan ges en kortfattad beskrivning av denna utveckling. Beskrivningen är inte heltäckande och inkluderar exempelvis inte grundläggande bestämmelser om tekniska egenskapskrav i plan- och bygglagen och plan- och byggförordningen (PBL och PBF), införlivande av EU-direktiv om järnvägssäkerhet eller driftskompatibilitet i svensk järnvägslagstiftning, etc., utan är avgränsad till centrala delar specifikt relaterat till tunnelsäkerhet. En sammanfattning av krav enligt normal- respektive tilläggsstandard i BVH 541.3 redovisas i bilaga 1 tabell 1. I samma bilaga redovisas krav på säkerhetsåtgärder för delsystemen infrastruktur och energi samt driftsbestämmelser i TSD:n avseende ”säkerhet i järnvägstunnlar” (1303/2014) i tabell 2 i bilaga 1.

2.1.1 Introduktion av interna krav på järnvägstunnlars utformning och utrustning med avseende på säkerhet (BVH 541.3)

Det första regelverket om järnvägstunnlars utformning och utrustning med avseende på säkerhet trädde ikraft 1993 och gavs ut av Banverket. Det publicerades då som en handbok, och till bakgrund låg en förväntad ökning av antalet järnvägstunnlar i Sverige och förändringar i bygglagstiftningen som resulterade i att järnvägstunnlar blev föremål för bygglovsprövning. Syftet med handboken var *[..] att för flertalet tunnlar lösa de tekniska säkerhetsfrågorna på ett standardiserat och samtidigt säkerhetsmässigt betryggande sätt [..]*.

Enligt handboken skulle tunnlar delas in i en av tre klasser enligt tabell 1, där valet av tunnelklass blev vägledande för den tekniska standarden avseende utformning och utrustning. Som mått för klassificeringen användes i första hand tunnelns längd, vilket motiverades med att bland annat konsekvenserna av en svår olycka kan förväntas bli allvarigare i en lång tunnel jämfört med en kort. Men även andra så kallades riskfaktorer

skulle vägas in vid valet av tunnelklass, till exempel trafikintensitet, antal spår (i samma trafikutrymme), typ av godstrafik, etcetera. Banverket motiverade behovet av en sammanvägd bedömning på följande sätt:

En tunnel kortare än 500 m kan bedömas höra till klass B om den exempelvis har mycket hög trafikintensitet med en kombination av farligt gods och persontrafik. Omvänt kan en tunnel något längre än 500 m ges klass A om trafikintensiteten är låg eller om andelen persontrafik är liten. På liknande sätt kan en tunnel kortare än 2000 m ändå bedömas vara en C-tunnel om flera samverkande riskfaktorer talar för detta.

Tabell 1. Tunnelklass och resulterande teknisk standard relaterat till tunnellängd enligt BVH 541.3.

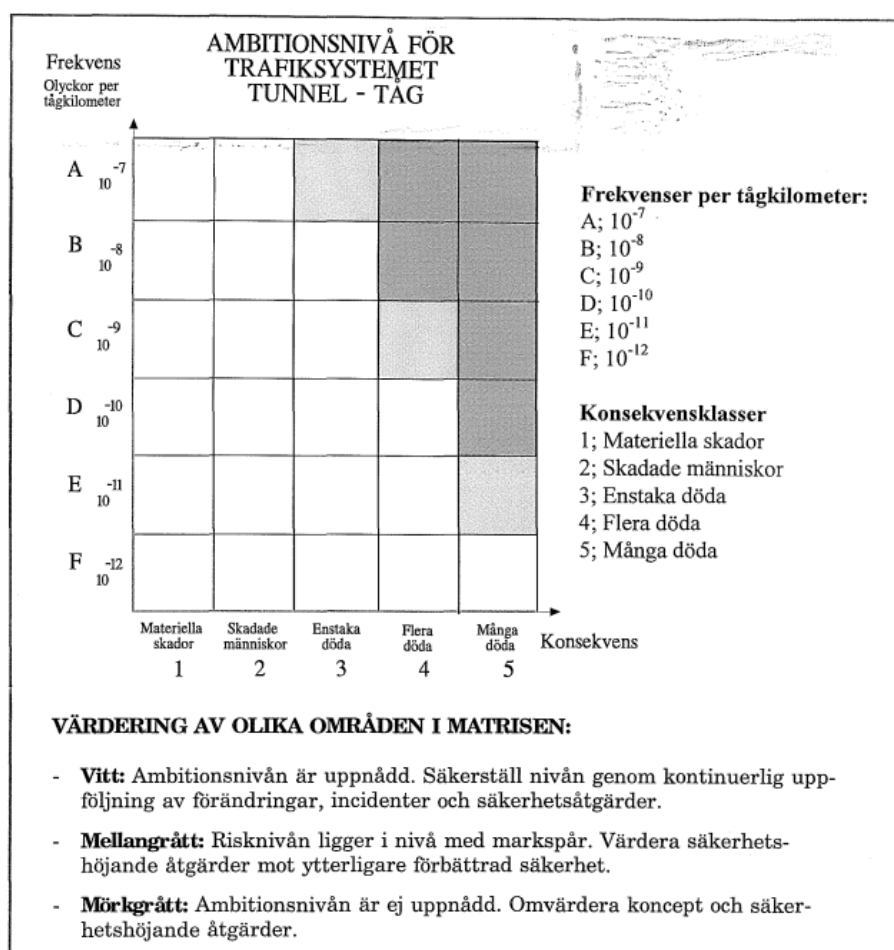
Tunnelklass	Längd [m]	Teknisk standard
A	<500	-
B	500–2000	N och T
C	>2000 m	Enligt särskild utredning

En järnvägstunnels tekniska standard skulle enligt handboken variera som funktion av tunnelklassen. Här skiljde Banverket på normal- (N) och tilläggstandard (T). För tunnlar i klass A ansågs i regel den tekniska standard som följde av Banverkets övriga föreskrifter tillräcklig för att hantera tunnelspecifika risker, men för tunnlar i klass B skulle normalstandard tillämpas generellt och tilläggstandard skulle övervägas från fall till fall. För tunnlar i klass C skulle en särskild utredning göras i syfte att fastställa erforderlig teknisk standard. Den särskilda utredningen skulle genomföras med ett riskbaserat synsätt där både sannolikhet och konsekvens för allvarliga olyckor skulle analyseras och värderas. Införandet av olika åtgärders effektivitet och kostnad skulle åskådliggöras inför val av riskreducerande åtgärder. Kraven på åtgärder för normal- och tilläggstandard sammanfattas i bilaga 1, tabell 1.

2.1.2 Utveckling av interna utformningskrav och introduktion av ambitionsnivå och värderingsmetodik (BVH 585.30 v. 1.0)

Drygt fyra år efter tillkomsten av BVH 541.3 ersattes den av den första utgåvan av BVH 585.30 som i allt väsentligt byggde på den förstnämnda

vad gäller krav på utformning och utrustning med avseende på säkerhet. Med BVH 585.30 introducerades även en kvantitativ ambitionsnivå för att möjliggöra dimensionering med avseende på säkerhet samt en metod för verifiering av att ambitionsnivån uppnåtts i projekteringen. Ambitionsnivån kom att lyda: *Järnvägstrafik per kilometer i tunnlar skall vara lika säker som järnvägstrafik per kilometer på markspår, exklusive plankorsningar*. Den kom även att uttryckas i form av en grafisk formulering enligt Figur 1 som sedan dess utvecklats och transformerats till ett så kallat f/N-diagram. Ambitionsnivån som sådan utgick från resonemang och analyser av bland annat definitionen av risk (både sannolikhet för, och konsekvens av, olyckor), vid tidpunkten gällande trafikpolitiska mål, transport- och järnvägssäkerhet (i synnerhet statistik rörande inträffade olyckor i järnvägssystemet under åren 1985-1994) och riskaversion. För mer information, se den första utgåvan av BVH 585.30 samt Trafikverkets rapport 2024:037 – *Värdering av kostnader och nytta av säkerhetshöjande åtgärder i järnvägstunnlar*.



Figur 1. Riskmatris för trafiksystemet tunnel – tåg med inlagd ambitionsnivå enligt den första utgåvan av BVH 585.30.

I och med introduktionen av BVH 585.30 lanserades begreppet *säkerhetsvärdering*. Det blev nu tydligt att värderingar av säkerheten för passagerare och tågpersonal skulle göras för alla järnvägstunnlar som var 500 m eller längre (samt kortare tunnlar om aktuell risknivå kunde förväntas bli förhöjd). Metodiken för säkerhetsvärderingen utgick från sex steg och kan sammanfattas i Figur 2:

1. Beskrivning av objektsspecifikt trafiksystem.
2. Kartläggning av olyckssituationer i tunnel.
3. Utrustning av tunnel med säkerhetshöjande åtgärder enligt normalstandard.
4. Värdering av kartlagda olyckssituationer.
5. Kartläggning av hantering av olyckssituationer.
6. Jämförelse av frekvenser och konsekvenser med ambitionsnivå.

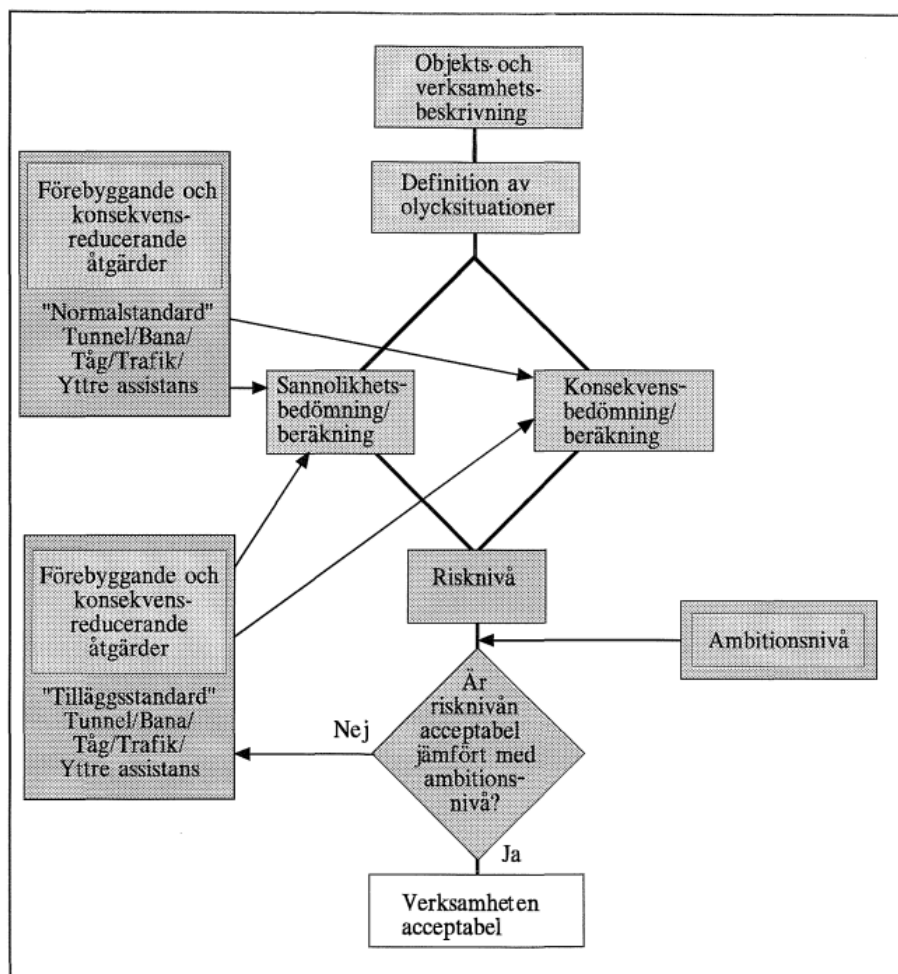
Säkerhetshöjande åtgärder enligt Banverkets normalstandard skulle alltid tillämpas och tilläggsstandard först när utformning enligt normalstandard inte var tillräcklig för att tillgodose den formulerade ambitionsnivån. Av handboken framgick:

Om vi når målsättningen duger normalstandarden, men om så inte är fallet skall vi värdera på vilket sätt tilläggsstandarden kan utnyttjas för att få ett bättre resultat.

Tilläggsstandarden (T) består av ett antal alternativa åtgärder som kan tillämpas för att skapa nya barriärer i säkerhetsvärderingen [..]. När tilläggsstandarden används skall detta självfallet göras för de olyckssituationer som står för den högsta risknivån.

Till skillnad från BVH 541.3 redovisades nu de olika säkerhetshöjande åtgärderna för normal- respektive tilläggsstandard som funktion av trafiksystemet (tunnel, bana, tåg, trafik och yttre assistans). På det stora hela kan de säkerhetshöjande åtgärderna sägas ligga i linje med vad som ursprungligen introducerats i BVH 541.3 även om vissa skillnader går att identifiera, till exempel:

- Nödbelysning utgick från normalstandard och redovisades istället som säkerhetshöjande åtgärder under tilläggsstandard.
- Avstånd mellan utrymningsvägar enligt tilläggsstandard formulerades som ett intervall: 600-1000 m (snarare än som största avstånd motsvarande 1000 m).



Figur 2. Grafisk illustration av processen för säkerhetsvärdering enligt BVH 585.30.

2.1.3 Etablering av interna, övergripande krav för byggande av järnvägstunnlar (BVS 585.40)

År 2002 publicerade Banverket för första gången ett gemensamt regelverk med krav som gällde för byggande av järnvägstunnlar, BV Tunnel BVS 585.40. I allt väsentligt byggde strukturen på Vägverkets motsvarighet Tunnel 99 som publicerats några år tidigare. Utgångspunkt togs i Lag (1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk, m.m. och kravens tillämplighetsområde motsvarar i princip de som idag är gällande i motsvarande regelverk (TRVINFRA-00233):

- Järnvägstunnlar av betong eller stål vars längd överstiger 100 m
- Järnvägstunnlar i berg oavsett längd

Som en grundläggande förutsättning angavs att säkerhet vid användning skulle värderas med hjälp av riskanalys och redovisas i form av ett *säkerhetskoncept*. Därtill att omfattningen av brandskyddsåtgärder samt

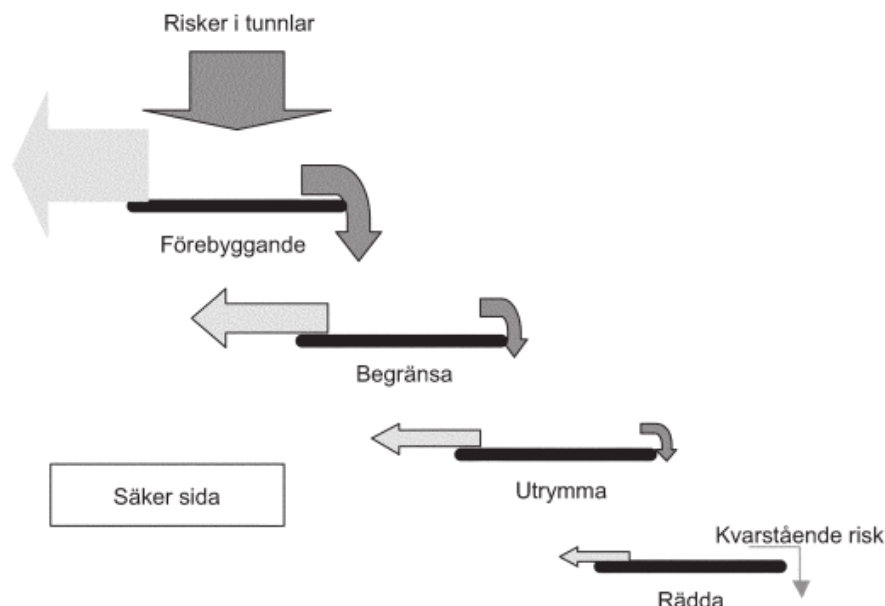
krav med avseende på utformning skulle baseras dels på ovan nämnd riskanalys men också baserat på dimensionerande förutsättningar avseende brandmotstånd i bärande huvudsystem och övergripande krav på driftsäkerhet. En vanligt förekommande formulering i olika delar av regelverket var: *Erforderliga åtgärder med avseende på [...] skall utredas genom värdering av säkerhet vid användning [...]*. Själva värderingen med avseende på säkerhet vid användning, d.v.s. säkerhetsvärderingen, skulle utföras och redovisas enligt BVH 585.30.

Rent principiellt innebar alltså ikraftträdandet av BVS 585.40 inga större skillnader vad gäller dimensionering av säkerhet i järnvägstunnlar, men däremot introducerades nu på allvar även termen *säkerhetskoncept* som en del av eller i säkerhetsvärderingen: *En beskrivning av de tekniska och administrativa åtgärder som erfordras för att avsedd verksamhet skall kunna bedrivas med godtagbar säkerhet. Säkerhetskonceptet är baserat på resultat från säkerhetsvärderingen [...]*. I och med ikraftträdandet av BVS 585.40 ställdes nu också krav på dimensionerande lastvärden avseende brand och på upprättande av en beredskapsplan och brandskyddsdokumentation. BVS 585.40 publicerades i en andra version år 2005, men medförde på det stora hela inga större förändringar i förhållande till den första utgåvan vad gäller ämnesområde tunnelsäkerhet.

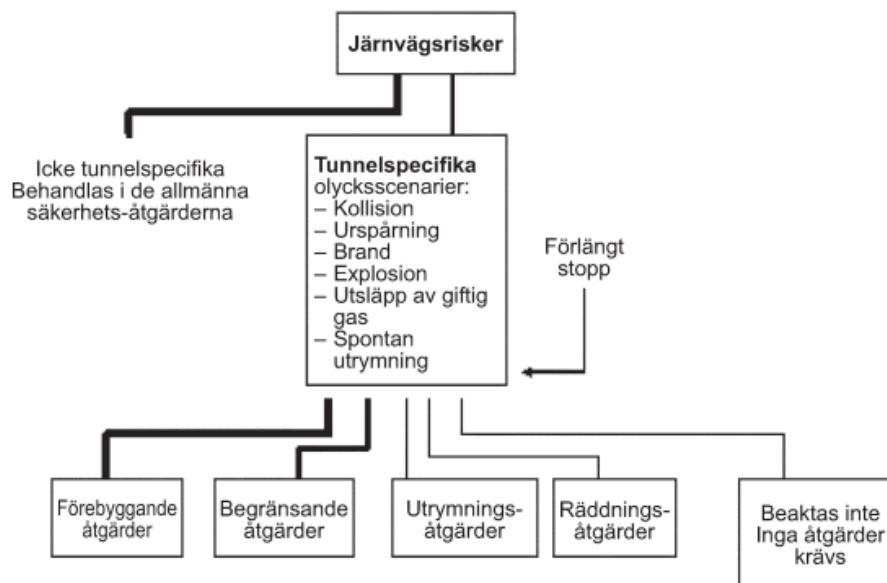
2.1.4 Lansering av europeiska minimikrav och anpassning samt fortsatt utveckling av interna krav (TSD, BVH 585.30 v. 2.0 och BVK 2007.001)

I början av 00-talet etablerades en arbetsgrupp med representanter från fjorton olika infrastrukturförvaltare av järnväg. Syftet var, bland annat mot bakgrund av ett antal inträffade allvarliga tunnelolyckor, att identifiera och etablera ett antal rekommendationer avseende säkerhet i järnvägstunnlar (UIC-Codex 779-9 Safety in Railway Tunnels, Draft4 24 September 2002, 1st ed, September 2002). Dessa rekommendationer, baserade på enklare och kvalitativa kostnads-/nyttoanalyser, kom så småningom att omsättas till och uttryckas som minimikrav i en första teknisk specifikation för driftskompatibilitet (TSD) avseende "Säkerhet i järnvägstunnlar" i det transeuropeiska järnvägssystemet för konventionella tåg och höghastighetståg (2008/163/EG). Införlivande i svensk lag skedde genom Järnvägslag (2004:519), tillhörande Järnvägsförordning (2004:526) samt JvSFS 2008:4 som senare kom att ersättas av TSFS 2011:107.

Precis som Banverkets handböcker och standarder inom samma ämnesområde täckte TSD:n de specifika risker som gäller säkerheten för passagerare och tågpersonal i tunnlar. Syftet med regelverket formulerades enligt följande: *[..] att fastställa ett enhetligt åtgärds paket för delsystemen Infrastruktur, Energi, Trafikstyrning och signalering, Rullande materiel samt Drift och trafikledning, och att skapa en optimal säkerhetsnivå i tunnlar på det mest kostnadseffektiva sättet [..].* Kravställda åtgärder baserades på att säkerhet i järnvägstunnlar byggs upp av skyddsbarriärer bestående av fyra på varandra följande åtgärds kategorier: förebyggande, begränsning, utrymning och räddning, se Figur 3. Utgångspunkt togs i att *[..] de rena "järnvägsriskerna" omfattas av lämpliga åtgärder som i allmänhet följer av de säkerhetsnormer som gäller för järnvägsbranschen [..], vilket låg i linje med de förutsättningar som Banverket utgått från i sina tidiga handböcker och standarder. Detta illustreras i Figur 4.*



Figur 3. Risker i tunnlar kan enligt den första utgåvan av TSD avseende "säkerhet i järnvägstunnlar" hanteras med säkerhetsåtgärder som är förebyggande eller begränsande och som ger möjlighet till utrymning samt räddningsinsatser.



Figur 4. Hantering av tunnelspecifika olycksscenarier enligt TSD avseende "säkerhet i järnvägstunnlar".

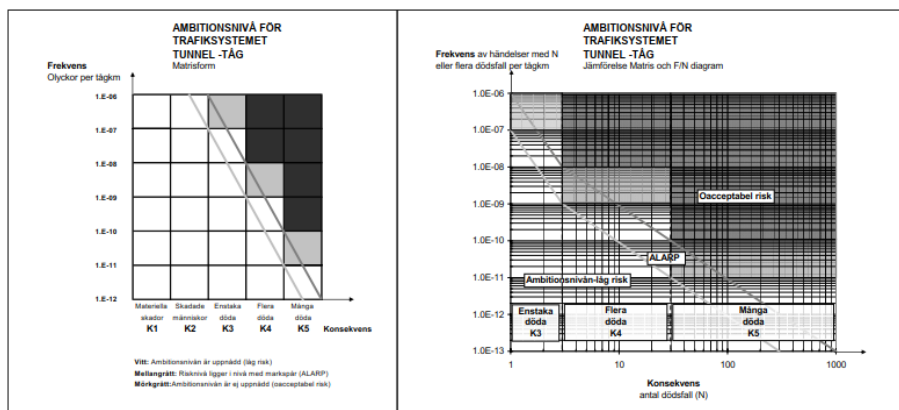
Föreskrivna åtgärder baserades på tre typer av olyckor:

1. "Heta" olyckor: Brand, explosion följt av brand, utsläpp av giftig rök eller gas
2. "Kalla" olyckor: Kollision, urspårning
3. Längre uppehåll

Introduktionen av TSD:er i europeisk lagstiftning "tvingade" Banverket att anpassa sina krav, råd och rekommendationer såväl i största allmänhet som inom ämnesområde tunnelsäkerhet. I början av 2007 publicerades därför en ny utgåva av BVH 585.30 (v. 2.0) som även tog tillvara på de erfarenheter, nya metoder och rutiner som vunnits och etablerats sedan den första utgåvan trädde ikraft. Som komplement till BVS 585.40 gavs även ett nytt kravdokument ut: BVK 2007.001 – Banverkets krav på järnvägstunnlar med avseende på personsäkerhet (kom under 2009 att ersättas av BVS 1585.45 utan några principiella förändringar rörande krav). Det senare konkretiserade Banverkets krav på järnvägstunnlar med hänsyn till personsäkerhet och med avseende på:

- Hur tunnlar skulle utformas.
- Vilken risk för olyckor, som kunde accepteras, med konsekvenserna uttryckta i antal omkomna.
- Hur risknivån skulle verifieras genom säkerhetsanalyser.

Det var vid denna tidpunkt som Banverkets ambitionsnivå rörande tunnelsäkerhet (*järnvägstrafik per kilometer i tunnlar skall vara lika säker som järnvägstrafik per kilometer på markspår, exklusive plankorsningar*) ändrades från att presenteras som en riskmatris till ett f/N-diagram, se Figur 5. Mer information om förändringen av ambitionsnivå redovisas förutom i BVH 585.30 även i Trafikverkets rapport 2024:037 – *Värdering av kostnader och nytta av säkerhetshöjande åtgärder i järnvägstunnlar*.



Figur 5. Jämförelse mellan Banverkets ambitionsnivå uttryckt i riskmatrisform (t.v.) och f/N-diagram (t.h.) såsom redovisad i andra utgåvan av BVH 585.30.

Ikraftträdandet av den andra utgåvan av BVH 585.30 innebar också en viss förändring av kraven på när verifiering av personsäkerheten (säkerhetsvärderingar) skulle utföras. Från och med nu gällde följande:

1. För järnvägstunnlar med längd <300 meter krävdes ingen verifiering av personsäkerheten om krav på tunnelutformning enligt minimistandard (som nu relaterade till TSD) efterföljdes.
2. För längder mellan 300 och 1000 m beslutade Banverket om verifiering av personsäkerheten med säkerhetsanalyser ska utföras i varje enskilt fall.
3. För järnvägstunnlar med längd >1000 meter krävdes att verifiering av personsäkerheten gjordes med säkerhetsanalyser.

Termen *säkerhetsanalys* etablerades nu och definierades i BVH 585.30 som: *Sammanfattande benämning på riskanalys och stödande analyser*.

2.1.5 Fortsatt utveckling av både europeiska och interna krav (TRVK/TRVR Tunnel 11, TDOK 2016:0231/0232, TRVINFRA-00233 och ny TSD)

I slutet av 2011 publicerades för första gången ett väg- och järnvägssystemgemensamt regelverk för tunnelbyggande: TRVK Tunnel 11 och kompletterande TRVR Tunnel 11. Vad gäller krav på säkerhet i järnvägstunnlar skedde dock inga stora förändringar, men det blev nu tydligare att minimikraven i TSD avseende ”säkerhet i järnvägstunnlar” ersatt den minimistandard avseende utformning och utrustning som ursprungligen etablerades av Banverket. Minimikraven i TSD skulle tillgodoses, likaså kompletterande krav på brandskydd rörande exempelvis brandlaster för bärande huvudsystem och krav på driftsäkerhet. Ytterligare åtgärder skulle vara baserade på en säkerhetsanalys enligt BVH 585.30 (med oförändrade krav på när med avseende på tunnellängd).

Senare kom den första utgåvan av TSD:n avseende ”säkerhet i järnvägstunnlar” att ersättas av en ny (1303/2014) som då dessutom erhöll status förordning. I och med denna formella förändring från direktiv till förordning upphävde Transportstyrelsen TSFS 2011:107 genom TSFS 2014:132. En EU-förordning som har trätt i kraft gäller nämligen direkt och likadant i alla medlemsländer som en del av den nationella lagstiftningen. Mellan den första och andra utgåvan av TSD:n skedde en hel del förändringar både gällande tekniska och funktionella krav avseende säkerhet. Bakgrund och motiv redovisas i viss utsträckning i något som i det närmaste kan liknas vid en konsekvensutredning (IU-SRT TSI-FinRep) och återges inte närmare här. På motsvarande sätt som för BVH 541.3 återges minimikraven sammanfattat i tabell 2 i bilaga 1.

År 2016 trädde nya krav för tunnelbyggande i kraft: TDOK 2016:0231 (krav) och TDOK 2016:0232 (kompletterande råd). De ersatte inte bara TRVK/TRVR Tunnel 11 utan också BVH 585.30 och BVS 1585.30. I och med ikraftträdandet av TRVINFRA-00233 återinfördes dock BVH 585.30 som styrande för genomförande av verifieringar av säkerheten i järnvägstunnlar. Detta skedde 2021.

Idag gäller att svenska järnvägstunnlar ska utföras och utformas enligt samhällets minimikrav såsom stipulerade i TSD avseende ”säkerhet i järnvägstunnlar” samt Trafikverkets kompletterande eller förtydligande krav. Detta kan sägas motsvara den minimistandard som introducerades av Banverket på 90-talet. Säkerheten för passagerare och tågpersonal ska därutöver verifieras genom säkerhetsanalys enligt BVH 585.30 under följande förutsättningar:

1. För järnvägstunnlar med undermarksstationer.

2. När två eller flera på varandra följande tunnlar enligt TSD ska anses som en enda tunnel (när avståndet mellan tunnlarna i det fria är kortare än den största persontågslängd som linjen är avsedd för + 100 m och området i det fria och spårsträckningen mellan tunnlarna inte ger möjlighet för passagerare att ta sig bort från tåget).
3. För järnvägstunnlar mellan 300 och 1000 m om det inte kan motiveras varför det inte behövs.
4. För järnvägstunnlar >1000 m.

Värt att poängtera är att kompletterande säkerhetsåtgärder till följd av säkerhetsanalys idag behöver motiveras med en särskild risksituation, utarbetas i samråd med infrastrukturförvaltaren och berörda räddningsmyndigheter samt bedömas med avseende på kostnadseffektivitet.

3 Säkerhetsarbete i andra länder

Säkerhetsbedömningar av järnvägstunnlar används i flera andra länder för att kontinuerligt kunna följa en tunnels säkerhetsnivå i förhållande till uppsatta kriterier. För att få en uppfattning om arbetssätt och metoder genomfördes inledningsvis intervjuer med några tunnelförvaltare inom järnvägssektorn i några europeiska länder. Intervjutekniken är en etablerad datainsamlingsmetod (Hallin & Helin, 2018; Holme & Solvang, 1997). Målsättningen var att undersöka om det förekommer bedömningsmetoder liknande den som utvecklas inom projektet i andra länder.

3.1 Urval och genomförande

Kontakter togs med ordföranden i ITA COSUF för att få kontaktuppgifter till europeiska tunnelförvaltare inom väg- och järnvägssektorn. ITA COSUF är en internationell intresseförening för bland annat tunnelförvaltare, myndigheter, konsulter inom infrastruktur relaterade till undermarksanläggningar. Utöver kontakt med ITA COSUF utnyttjades personliga kontakter. En lista med 12 representanter som var verksamma inom järnvägssektorn kunde slutligen identifieras och efter kontakt med de identifierade personerna kunde intervjuer genomföras med representanter från BaneDanmark, BaneNor i Norge och ProRail i Nederländerna. Samtliga har ett nationellt ansvar för järnvägsinfrastrukturen i de respektive länderna.

Samtliga representanter intervjuades individuellt via Teams/Zoom och de fick frågeställningarna tillskickade innan intervjun. Frågorna som ställdes under intervjuerna redovisas i bilaga 2. Samtalet varade cirka en timma och anteckningar från intervjun skickades efteråt till de intervjuade. De fick en möjlighet att korrigera och komplettera anteckningarna. BaneNor deltog i intervjun med tre representanter medan BaneDanmark och ProRail deltog med vardera en person i sina intervjuer.

Frågorna som ställdes fokuserade på hur de arbetar med bedömning av säkerhetsnivåer i järnvägstunnlar för bedömning av underhållsbehov och vilken metodik de använder för detta.

3.2 Sammanfattande synpunkter från intervjuerna

Samtliga intervjuade personer har en teknisk ingenjörsbakgrund och har arbetat inom området under många år. Deltagarna från Norge hade

varierande arbetserfarenhet från järnvägssidan men sammanlagt har även de en betydande erfarenhet.

3.2.1 Bane NOR

I Norge har man arbetat aktivt med säkerhetsfrågorna i sina järnvägstunnlar och landet följer, som ett resultat av EES-avtalet, det europeiska regelverket bland annat TSD Säkerhet i järnvägstunnlar. Man inledde cirka 1985 ett arbete med att systematiskt utveckla ett regelverk för tunnlar som var riskbaserat och inkluderar utbildningsmaterial samt manualer. Detta genomfördes innan TSD Säkerhet i järnvägstunnlar var framtagen. Det genomfördes flera riskanalyser (med generiska data) med bland annat kostnad-nytta-analyser som grund för olika åtgärder. Riskanalyserna inkluderade även riskerna med tåg i tunnelarna (tex brand i tåg, inte bara brand i tunneln). Regelverket infördes ca 1992 och var tänkt för tunnlar längre än 3 km. Vid tiden fanns ca 10 tunnlar som var över 3 km. Många tunnlar byggdes under tiden 1910–1940.

Införandet av TSD ledde till att även fjälltunnlar fick omfattande säkerhetsinstallationer även om trafikmängden är låg vilket ansågs vara oskäligt. Detta justerades så tunnelarna istället får en rimlig säkerhetsnivå i förhållande till kostnader.

Vid arbete med nya tunnlar, försöker man få in att analyserna omfattar erfarenhet om underhåll och driftsfrågor. Teknik som installeras sker ofta i samverkan med den lokala räddningstjänsten.

Underhållsdelen sker via inspektionssystem som utvecklats baserat på RCM (risk centered maintenance) som innebär att det finns information om vad som ska kontrolleras och hur ofta olika tekniska funktioner ska kontrolleras.

Man bygger nu upp ett mer övergripande system, riskportalen, som ska samla information från flera system. För befintliga tunnlar har man byggt en generisk riskbaserad bedömningsmetod som utgår från en Bow-Tie-modell (felträds- och händelseträdsmetodik). Bow-Tie-modellen ska senare kunna utgöra en grund för barriärstyrning som ska övervakas. Om komponenter i tunneln fallerar eller om underhåll inte genomförs ska det leda till en varning i ett riskhanteringssystem som används för övervakning av tunnelrisker (Synergi från DNV).

Bane NOR arbetar även med ett administrativt säkerhetsforum som är ett månadsåterkommande möte, baserat på en strukturerad process för att analysera, behandla och dokumenterade säkerhetsrelaterade frågor.

3.2.2 Banedanmark

Grunden för säkerhetsarbetet är att följa föreskrifter och anvisningar som anges i TSD, Eurokoder och andra regelverk. Säkerhetsarbetet byggs upp av fyra pelare; rätt förutsättningar vid projektering, rätt räknat, rätt tillsyn enligt projekteringen samt *eftersyn* (kontroll) efter färdigt bygge. För större byggnadsverk som tunnlar finns en s.k. *eftersynsmanual* med instruktioner för hur kontrollen ska genomföras. Det finns två typer av *eftersyn*, årlig *rutineeftersyn* som innebär en kontroll så att inga skador uppstått samt en mer omfattande *generaleftersyn* som utförs vart 6:e år. Den senare innebär att det görs mer detaljerade kontroller av enskilda element eller komponenter där dessa graderas med ett betyg så de kan rangordnas. Om komponenter får ett dåligt betyg eller måste repareras sker en rapportering och en eftersyn görs inom 3 år för att se så säkerheten upprätthålls.

Storebæltbron har eget kontrollsystem och egen underhållsavdelning. Storebæltbron är ett eget företag skilt från Banedanmark men man måste följa Banedanmarks regler. Samma gäller för Øresundsbron som också har egna manualer för säkerhetsarbetet. Eftersynsmanualen är lika för vägtunnlar och järnvägstunnlar och manualens betyg skalas beroende på trafikarbetet och om det är en tunnel som bedöms vara viktig för samhället.

Ettårskontrollen utförs av person som inte måste vara ingenjör men resultatet rapporteras till regioningenjören. Sex-årskontrollen utförs av ingenjör med speciell utbildning för att kunna utföra kontroller.

Banedanmark har ett managementsystem för att samla relevant information om respektive anläggning, Danbro. Innehåller viktiga översiktsdata, byggnadsmaterial mm. Generellt finns bilddata från kontroller senan 1970-talet och utveckling sker kontinuerligt.

Man arbetar för närvarande med ett underhållsprojekt för tunnlar.

3.2.3 ProRail i Nederländerna

Nederländerna har ca 20 tunnlar varav 15 kategoriseras som längre. De övriga tunnlarna är kortare och saknar tekniska installationer. De flesta tunnlarna är 1–3 km, längsta 5 km (Schiphol och Delft). Kortast är 250 m. Alltid mellan 150–300 m mellan utgångar för utrymning.

Underhåll görs kontinuerligt och styrs av bestämmelser som till exempel föreskriver att uppdateringar av installationer ska ske vart 20:e år och byte efter 40 år. Varje tunnel kan övervakas för att se status för de tekniska systemen och om de fungerar antas tunneln vara säker att använda. Man

har börjat att införa ett gemensamt system för att kunna se alla tunnlar i samma system. I dagsläget är bara en tunnel inlagd i det nya systemet. För att förenkla bedömningen av tunnelns status kommer denna att beskrivas på en karta med hjälp av "trafikljus".

Man anser att det generellt är en mycket låg risk i järnvägstunnlar. Om något tekniskt system inte fungerar som avsett beställs reparation men tunneln stängs sällan. Det är generellt sett en låg risk för att ett brinnande tåg inte kan köra ut ur tunneln. Man har tidigare använt ett riskbaserat beslutsverktyg för att gradera tunnelns status med avseende på funktionalitet eller säkerhetsnivå i tunneln. Dokumentation från detta system, i kombination med en bedömning, används för att avgöra om en tunnel ska stängas och hur snabbt en reparation måste utföras om risken är för hög. Exempel på ett fall när tunneln stängs är om två intilliggande utrymningsdörrar är blockerade samtidigt som belysningen inte fungerar. Detta bedöms som ett scenario som inte inträffar.

Inverkan på tunnelns säkerhet med avseende på tågoperatörens förmåga och insats ingår inte i säkerhetsanalysen, bara tekniska system beaktas. Anledningen är att man anser att det är svårt att bedöma tågpersonalens tillförlitlighet och förmåga.

3.2.4 Generella kommentarer och reflektioner

Generellt sett arbetar länderna med uppföljning av tunnlaras säkerhet. Det sker främst genom kontroller och övervakning av anläggningarnas status och leder till underhållsåtgärder och i allvarigare fall till att tunneln kan stängas.

I Norge har man genomfört kvantitativa riskanalyser för tunnlar och har därför en grundnivå för säkerheten i dessa. Sådana analyser saknas i övriga ingående länder. Inget land verkar ha någon metod för övervakning eller bedömning av en tunnels säkerhetsnivå och som också inkluderar den aktuella statusen för olika installationer. Att installationer inte fungerar kan övervakas men inte den pågående degraderingen som skulle kunna användas för planering av underhållsåtgärder.

Det finns således, utifrån intervjuerna, inget tillgängligt verktyg som på ett enkelt skulle kunna användas för att övergripande indikera en tunnels status avseende säkerhet.

4 Metod för säkerhetsbedömning

För att kunna bedöma säkerheten för personer i en järnvägstunnel ska säkerhetsnivån helst kunna baseras på en objektiv mätning egenskaper som är betydelsefulla för säkerheten. Säkerhetsnivån för en järnvägstunnel kan hotas av de aktuella farorna vilka i sin tur hanteras genom olika åtgärder och installationer. Att undersöka de hotande farorna och samtidigt beakta hur vanliga dessa är innebär i praktiken att analysera riskerna för verksamheten. Det kan därför vara relevant att utgå från ett risktänkande och tillämpa metoder som används för att genomföra riskanalyser. Kapitlet beskriver kort bakgrunden för att välja en lämplig metod för att beskriva och bedöma säkerhet utifrån alternativa angreppssätt kopplade till riskbedömning och hur den valda strukturen kan utvecklas till ett användbart verktyg för att bedöma säkerhet i järnvägstunnlar.

4.1 Allmänt

För att genomföra en riskanalys finns en mängd olika metoder att utgå från. Det som oftast kännetecknar skillnader mellan dessa är hur osäkerheter hanteras, om både en olyckas frekvens och konsekvens inkluderas och hur detaljerad analysen behöver vara. I det aktuella fallet är avsikten att utveckla en metod som kan vara enkel att använda samtidigt som en analys av en tunnel inte ska vara alltför tidskrävande. Metoden som utvecklas ska beakta olika egenskaper som påverkar säkerheten i en tunnel såsom bland annat tunnelns fysiska utformning, tekniska installationer, organisatoriska förutsättningar att hantera olyckan, drift och underhållsåtgärder samt extern medverkan från en kommunal räddningstjänst.

Alla dessa egenskaper har med säkerhet i järnvägstunneln att göra men kan i olika grad kvantifieras avseende bidraget till en risk- eller säkerhetsnivå. I de fall det är möjligt att kvantifiera egenskapers bidrag till säkerheten bör det göras. Om det är oklart hur en påverkan för tunnelns säkerhet sker, utöver att det rimligen finns samband, får en kvalitativ bedömning göras och då kan påverkan på säkerheten ske genom en bedömning av saks experter. Valet av strategi för att utveckla en metod för att värdera säkerheten måste således beakta dessa förutsättningar.

Utvecklingen av metoden bör utnyttja befintliga vetenskapliga metoder för att väga samman aspekter som annars är väldigt olika. Grunden för en sådan sammanvägning kan ske genom en metodik som kallas Multiple Attribute Decision Making (MADM) som kan användas för att underlätta

för beslutsfattare att välja "rätt" bland flera alternativ där ingående delar kan vara olika och även motstridiga (Yoon & Hwang, 1995). MADM är ett paraplybegrepp som omfattar flera sätt att väga samman aspekter av olika karaktär. Valet av grund för bedömningsmetoden för säkerhet bygger på en så kallad riskindexmetodik. Tekniken har tidigare använts för att utveckla riskbedömningsverktyg inom bland annat säkerhetsområdet (Watts och Kaplan, 1998; Frantzich, 2000; Frantzich, 2018; Frantzich, McNamee, Kimblad och Meacham, 2024).

Riskindexmetoden bygger på att risk- eller säkerhetsnivån kan bestämmas i form av ett så kallat riskindex. Riskindexet inkluderar alla bedömda egenskaper som järnvägstunneln uppvisar och kombinerar dessa på ett strukturerat sätt. Varje egenskap kan graderas med avseende på hur egenskapen är utförd i den aktuella tunneln. Men alla egenskaper är inte lika viktiga för en tunnels säkerhet och därför måste egenskapens gradering också kombineras med en vikt som anger egenskapens betydelse. I grunden bygger tekniken på att väga samman aspekter av olika karaktär med ett enkelt viktning förfarande där mer betydelsefulla egenskaper får en tyngre vikt i bestämningen av riskindexet (Simple Additive Weighting – SAW; Yoon & Hwang, 1995). Beräkningen av järnvägstunnelns index för säkerhet beskrivs i avsnitt 4.3.5.

Även om en MADM-metod väljs som grund finns ett flertal frågeställningar som är osäkra såsom hur expertbedömningar ska genomföras och hur valet av säkerhetsrelaterade komponenter som ska inkluderas bör ske. I utvecklingen av metoden kommer därför några olika tekniker för datainsamling att tillämpas och värderas gentemot varandra för att slutligen välja en uppsättning data.

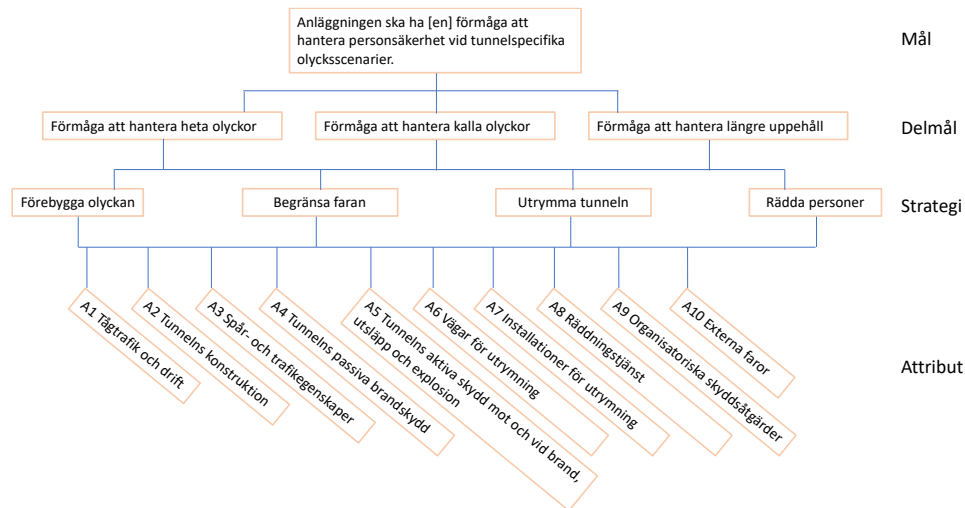
4.2 Grundläggande struktur för indexmetod

Sett från ett teoretiskt perspektiv finns det inget som hindrar att komponenter eller egenskaper som bestämmer en säkerhetsnivå för en tunnel bedöms direkt i förhållande till ett definierat mål. Men det kan vara enklare att strukturera relationerna mellan ingående komponenter för bedömning av säkerhetsnivån via ett antal steg i en hierarkisk struktur som beskrivs av hur de olika komponenterna förhåller sig till varandra och påverkar det som slutligen ska bedömas, det vill säga säkerheten i en järnvägstunnel.

Strukturen för kan därför beskrivas i form en hierarki där attributen finns längst ner i hierarkin och målet med en analys, i detta fall att bestämma säkerhetsnivån i tunneln, är överst i hierarkin. Däremellan finns strategier

som anger olika sätt som målet kan nås via. För att ytterligare differentiera hierarkin kan även målet delas upp i delmål.

Figur 6 illustrerar den hierarkisk uppbyggnaden som slutligen valdes för den innevarande bedömningsmetoden. Valet av struktur och motiven för de ingående komponenterna utvecklas i detalj nedan.



Figur 6. Hierarkisk uppbyggnad för säkerhet i järnvägstunnlar.

4.3 Komponenter i hierarkin

Det första steget är att bestämma vilka komponenter som ska ingå i den hierarkiska modellen. Med komponenter avses alla egenskaper som ingår i den hierarkiska modellen oavsett på vilken nivå de finns, det är ett samlingsbegrepp. Vilka komponenter som sedan ska finnas på respektive nivå bestäms utifrån vad syftet är med den slutliga modellen.

I det aktuella fallet är avsikten att kunna genomföra en säkerhetsvärdering med avseende på olyckor som kan inträffa i en järnvägstunnel. Det betyder att delmål, strategier och attribut bestäms utifrån det målet. Det kan konstateras att de komponenter som ingår i den hierarkiska strukturen kan benämnas på olika sätt i litteraturen och det råder ingen konsensus i hur begreppen används. I detta arbete används begrepp som kan härledas till (Watts, 2008), tabell 2.

Tabell 2. Terminologi för den hierarkiska strukturen.

Nivå	Begrepp enligt Watts, 2008	Begrepp i detta arbete	Beskrivning
1	Policy	Övergripande mål	Generell inriktning för en organisation för hantering av exempelvis brand.
2	Objective	Delmål	Specifika säkerhetsmål som ska uppfyllas.
3	Strategy	Strategi	Oberoende alternativ som helt eller delvis bidrar till uppfyllandet av delmålen.
4	Attribute	Attribut	Komponenter som direkt eller indirekt kan mätas eller uppskattas.
5	Survey item	Parameter	Mätbara egenskaper för att beskriva ett attribut.

Valen av de tre översta nivåerna inledde arbetet med att definiera den hierarkiska strukturen. Beskrivningarna har sedan förankrats i projektets referensgrupp och har därefter i princip varit orörda. Beskrivningen av attributen och dessas ingående parametrar har utvecklats under hela projektets gång och slutligen fastställts i ett senare skede. Det är oftast egenskaper på dessa nedre nivåer som är föremål för diskussioner då de utgör de mätbara egenskaperna som ingår för att beskriva säkerhetsnivån i metoden.

Det som också kan diskuteras är hur många delmål, strategier och attribut som ska användas. För att beskriva säkerhetsnivån med metoden är det fördelaktigt om så många väsentliga egenskaper som möjligt ingår. Då kommer resultatet av en säkerhetsbedömning att ge ett resultat som inkluderar flera egenskaper. Det finns inget som hindrar att fler strategier än de valda fyra ingår eller att antalet attribut är fler än 10. Dock rekommenderar Saaty (1990) att antalet inte bör överstiga nio för att expertbedömningar av komponenternas inbördes styrka eller betydelse ska vara tillförlitliga med en av de metoder som senare tillämpas, den så kallade Analytical Hierarchy Process.

4.3.1 Övergripande mål

Det är logiskt att inleda med att definieras det övergripande målet. Målet kan formuleras på en mängd olika sätt och avsikten har varit att formuleringen ska omfatta det som metoden ska täcka in samtidigt som det ska kunna formuleras med en enda mening. Då verktyget är tänkt att bedöma personsäkerhet i ett lite vidare perspektiv inkluderas aspekter som inte begränsas av det som regleras i TSD Säkerhet i järnvägstunnlar. Avsikten är att kunna mäta en säkerhetsnivå för tunnelspecifika olycksrisker för personer i de aktuella tunnlar och flera alternativa målformuleringar diskuterades innan det slutliga valet gjordes. I det aktuella fallet har följande övergripande mål valts:

- Anläggningen ska ha [en] förmåga att hantera personsäkerhet vid tunnelspecifika olycksscenarier.

4.3.2 Delmål

Det finns vidare ett intresse av att kunna beskriva det övergripande målet utifrån mer detaljerade aspekter. Det kan göras för att beskriva hur säkerheten fördelar sig med avseende på de risker som hotar säkerheten. TSD för Säkerhet i järnvägstunnlar inriktas mot att föreskriva åtgärder som kan förebygga eller begränsa svårigheter vid utrymning eller räddningsinsatser efter en tunnelspecifik järnvägsolycka. Det finns alltså ett antal tunnelspecifika olyckor som kan uppstå och som bedömts vara viktiga. Dessa kan grupperas i tre olika riskscenarier och dessa kan fungera som kategorisering av olyckor som det kan vara önskvärt att undvika för järnvägstunnlar. I den aktuella metoden för säkerhetsbedömning väljs följande delmål:

- Förmåga att hantera heta olyckor
- Förmåga att hantera kalla olyckor
- Förmåga att hantera längre uppehåll

Till heta olyckor räknas exempelvis brand, explosion följt av brand samt utsläpp av giftig rök eller gas. Till kalla olyckor hör kollision och urspårning utan efterföljande brand. Ett längre uppehåll räknas en stilleståndstid för ett tåg längre än 10 minuter utan att det finns vare sig heta eller kalla olyckor. Den identifierade risken i detta fall anses istället utgöras av en spontan utrymning från tåget till tunneln.

De tre delmålen avser att täcka in risker för i huvudsak de personer som vistas i tunneln exempelvis tågpersonal, passagerare och drift och

underhållspersonal. Valet av dessa målgrupper innebär att omfattningen täcker in mer än vad TSD för Säkerhet i järnvägstunnlar reglerar.

4.3.3 Strategier

Det finns olika sätt att uppnå en god säkerhet och sannolikt består begreppet säkerhet i järnvägstunnlar av en kombination av olika skyddsåtgärder eller barriärer. I TSD för Säkerhet i järnvägstunnlar illustreras den övergripande strategin för hantering av olyckor, se figur 3.

Olyckor kan således hanteras genom ett antal strategier och det finns vidare en prioritetsordning för dessa. Det mest önskvärda är att förebygga att olyckor inträffar och att en aktiv räddning är den sista länken i säkerhetskedjan. Utgångspunkten för utvecklingen av bedömningsmetoden för säkerhet i järnvägstunnlar är att använda dessa strategier, dvs att:

- Förebygga olyckan
- Begränsa faran
- Utrymma tunneln
- Rädda personer

4.3.4 Attribut

De bedömningsbara egenskaperna för en järnvägstunnels säkerhet finns i de lägre nivåerna i hierarkin. Attributen är egenskaperna som användaren av verktyget bedömer baserat på en fastställd skala, exempelvis 0 – 5 eller 0 – 10. Det finns ingen vedertagen gradering eftersom riskindexmetoder generellt definierar en relativ skala som utgår från att egenskaper graderas i relation till varandra. Det finns normalt inte en relativ skillnad inbyggd i graderingen som säger att en gradering "4" är dubbelt så bra som något som graderas som "2". Däremot är det säkert att någon som graderas som "4" alltid utgör en bättre utformning än något som har en lägre gradering. Detta förutsätter att bättre alltid attribueras med ett högre värde, något som är rimligt om ett högt värde ska associeras med en högre säkerhet.

För att möjliggöra en gradering av ett attribut sker oftast en uppdelning av attributet i ett mindre antal parametrar. Varje parameter utgör då den mätbara egenskapen som tillsammans med attributets övriga parametrars graderingar resulterar i ett attributvärde. Attributens graderingar sker alltså genom att parametrarna bedöms i samband med en säkerhetsbedömning.

I utvecklingen av ett verktyg är det fyra steg som ska genomföras för attributen. De fyra stegen är att

- bestämma vilka attribut som ska ingå i bedömningen av säkerheten,
- bestämma vilka mätbara egenskaper (parametrar) som ska inkluderas i respektive attribut,
- bestämma vilka alternativ som respektive parameter ska kunna anta, hur graderingen av dessa ska ske och hur dessa ska vägas samman samt
- bestämma hur betydelsefullt ett attribut är för den sammanvägda säkerhetsbedömningen.

För den tänkta användaren av metoden kommer det alltså att finnas ett antal alternativ för respektive parameter och i säkerhetsbedömningen väljs det som bäst stämmer in för den aktuella tunnelns utformning. Det innebär att det finns ett behov av att kunna täcka in de möjliga egenskaperna som en parameter ska kunna anta för att den senare säkerhetsbedömningen ska kunna genomföras med god tillförlitlighet.

Liksom för övriga komponenter i den hierarkiska strukturen baseras mycket av informationen för attributen på expertbedömningar samt genom analys av relevanta regelverk, utformandebeskrivningar mm. Utvecklingsarbetet har därför genomförts som en iterativ process där förslag till attribut, parametrar och deras graderingar genomgått en förändring när ny information tillkommit. Det innebär att flera sakter experter inom Trafikverket samt projektets referensgrupp i olika skeden bidragit med kunskap och kommenterat framtagna förslag. I kapitel 5 redovisas attributen med sina parametrar inklusive en beskrivning av överväganden som skett där detta är tillämpligt.

Det sista steget i utveckling av metoden utgår från antagandet att alla attributen inte är lika betydelsefulla för säkerheten vid tunnelspecifika olycksscenarier. För att ta hänsyn till dessa skillnader i betydelse måste utvecklingen av säkerhetsbedömningsmetoden även inkludera att ta fram dessa vikter. Detta sker parallellt med fastställandet av komponenterna i den hierarkiska strukturen men en förutsättning är att den delen i praktiken är avslutad. Bedömningen av betydelsen av olika komponenter sker därför som ett efterföljande moment och redovisas i kapitel 6.

Sammantaget kommer varje attribut att kännetecknas av en beskrivning och tillhörande struktur för att kunna gradera en specifik tunnels egenskaper samt en information om hur betydelsefullt attributet är för att

tillgodose förmågan att hantera personsäkerhet vid tunnelspecifika olycksscenarier, det vill säga det övergripande målet. Informationen om betydelsen av attributen är en egenskap hos metoden och är oberoende av vilken tunnel som utvärderas.

4.3.5 Bedömning av järnvägstunnelns säkerhetsnivå

Den semikvantitativa metoden som presenteras bygger på en riskindexmetodik. Ett riskindex kan enkelt beskrivas som ett betyg och bestäms genom en sammanvägning av attributens graderingar och betydelsen av dessa attribut, Yoon och Hwang (1995) och Watts (2016).

Samtliga graderingar som sker är utifrån samma skala, i detta fall sker graderingar mellan 0 och 5. Eftersom skalan är vald så att ett högt värde är positivt för säkerheten kan det vara rimligt att istället tala om ett säkerhetsindex. Valet av skalan för graderingarna leder till att säkerhetsindexet kommer att få ett värde mellan 0 och 5. Vikterna som ska bestämmas kommer att få ett värde mellan 0 och 1 och de summerar till 1,0.

Säkerhetsindexet beräknas som

$$SI = \sum_{i=1}^n v_i \cdot g_i \quad (1)$$

där SI anger säkerhetsindex, v_i är vikten för attributet i och g_i är graderingen för attributet i .

Det finns även en möjlighet att bestämma så kallade delindex som exempelvis beskriver ett säkerhetsindex för enbart ett eller flera delmål. Sådana delindex kommer också att redovisas.

5 Utveckling av metodens attribut

Beskrivningen av de egenskaper som är väsentliga för en tunnels säkerhet och hur dessa egenskaper kan beskrivas är en av de viktigaste delarna i utvecklingen av metoden. Framtagandet av vilka attribut som ska ingå har bedrivits som en återkopplande process med förslag som kommenterats och granskats och som resulterat i en uppdaterad beskrivning.

5.1 Val av attribut

De attribut och parametrar som ska ingå i bedömningen av säkerheten för personer i en järnvägstunnel ska väljas så att de utgör de mest betydelsefulla egenskaperna för en tunnels säkerhet. De ska också kunna beskrivas med egenskaper som är möjliga att gradera med avseende på tunnelns förutsättningar. Graderingen ska beakta såväl utformningar som gäller vid nybyggnad som de som tidigare varit gällande när äldre tunnlar uppfördes.

Därför har utgångspunkten varit att olika äldre och nuvarande gällande regelverk såsom TSD för Säkerhet i järnvägstunnlar, andra TSD-dokument och övriga äldre regelverk som redovisas i kapitel 2 varit vägledande. Då målet med en utvärdering varit mer omfattande än vad som regleras i dessa styrande dokument har andra aspekter också vägts in. Som exempel kan nämnas bidragen från den kommunala räddningstjänsten och organisatoriska aspekter knutna till Trafikverkets roll.

Attributen ska helst bidra till flera strategier men vissa är tydligt kopplade till en eller två strategier. Många underhållsaspekter är främst bidragande till strategin att förebygga en olycka och kan motiveras av det skälet.

Det kommer att finnas många egenskaper och förtjänster som på olika sätt bidrar till att öka säkerheten. Ett attribut kan därför vara en sammanvägd beskrivning av flera sådana egenskaper. Alla attribut är därför uppdelade i tre eller fyra parametrar som sammantaget beskriver ett attribut. Ett exempel kan vara att attributet Installationer för utrymning innehåller de tre parametrarna Allmänbelysning, Utrymningsbelysning och Vägledande markeringar. Attributet innehåller tre olika egenskaper som kan vara bidragande till att personer som utrymmer i tunneln kan hitta en väg till en säker plats.

Varje parameter beskriver olika nivåer av tänkbara utföranden, från sådana som utgör en riktigt bra utformning till en utformning som är svagt representerad eller saknas helt. Även dessa alternativ måste finnas beskrivna och på ett entydigt sätt och representerar i viss mån även den

utveckling som skett i regelverken genom åren. Vid tillämpningen av metoden för att bedöma en tunnels säkerhet är det parametrarna som graderas utifrån dessa alternativ.

För att säkerställa att attribut, parametrar och beskrivningar av parametrarnas alternativ blir så korrekta och tydliga har ett antal interna sakterter inom Trafikverket intervjuats. Detta har skett som ett komplement till val från litteraturen och från projektets referensgrupp för att få en fördjupad bild av relevansen för vissa egenskaper. De specialister som intervjuats representerar följande områden:

- Spår och räls
- Tunnelradio och kommunikation
- Trafikcentralens funktion och betydelse vid olyckor
- Ras och skred samt översvämning
- Tunnelns fysiska utformning och beständighet

Samtliga parametrar bedöms på en skala 0 – 5 där 5 utgör det alternativ som bäst tillgodoser egenskapens bidrag till tunnelns säkerhet. Värdet noll används endast när en parameters egenskap inte finns i tunneln. I övrigt är nivåindelningen för respektive parameters alternativ subjektivt vald, oftast enbart utifrån en rangordning. Dessa nivåindelningar är även reviderade med avseende på referensgruppens synpunkter.

Sammanvägningen av ett attributs parametervärden sker genom en viktning av betydelsen för respektive parameters bidrag till attributets värde. Beräkningen sker genom en enkel linjär sammanvägning där parametrarnas vikter har bestämts i en separat process i samband med att hierarkins viktningsprocess genomfördes, se kapitel 6. Alternativt kan ett attributs värde härledas med hjälp av beslutsmatriser som bland annat använts av (Frantzich, 2018) men den linjära sammanvägningen valdes i detta fall för att lättare kunna basera sammanvägningen med hjälp av de externa experterna som deltog i viktningsprocessen. Beräkningen av varje attributs värde redovisas i slutet av beskrivningen för respektive attribut.

5.2 Svårigheter med beskrivning av parametrar

Under utvecklingen uppstår principiella svårigheter som måste hanteras på ett konsekvent sätt. Ett exempel är hur tillförlitligheten för strömförsörjning av olika tekniska installationer ska hanteras när dessa i varierande grad är beroende av den gemensamma strömförsörjningen och även av en alternativ strömförsörjning. Det kan vara aktuellt för

installationer som exempelvis utrymningsinstallationer, kommunikationssystem (mobiltelefonnätet inkl GSM-R samt Rakel för räddningstjänsten) och eventuella brandgasfläktar som kan behöva ha en alternativ strömförsörjning för att fungera tillfredställande. Enklare installationer som belysning kan förses med nödströmförsörjning med batterier men brandgasfläktar behöver sannolikt en mer kraftfull alternativ strömmatning. I detta fall finns det två vägar att gå:

- att se alternativ strömmatning eller batterier som en separat egenskap (parameter) eller
- att beskriva befintliga parametrar med alternativ som innehåller olika grad av alternativ strömmatning.

Fördelen med den första punkten är att gradering av all alternativ strömförsörjning sker på ett ställe och bedöms enbart en gång. Nackdelen är att tunnlar med olika grad av alternativ strömförsörjning inte enkelt kan bedömas. Fördelen med den andra punkten är att varje funktion som kan ha en alternativ strömförsörjning kan bedömas individuellt med avseende på detta. Nackdelen är att alternativ strömförsörjning kan få ett större genomslag i en bedömning om det är en och samma funktion som förser flera system med alternativ strömförsörjning. Just i fallet med alternativ strömförsörjning har alternativ två valts i metoden. I förekommande fall beskrivs överväganden i anslutning till respektive attributbeskrivning.

5.3 Beskrivning av ingående attribut

Det är önskvärt att samtliga väsentliga egenskaper är inkluderade bland de attribut och parametrar som slutligen definierar bedömningsmetoden. De egenskaper som identifierats och som på olika sätt förhindrar eller begränsat konsekvensen av olyckor är bland annat knutna till

- tunnelns fysiska utformning;
- utformningen direkt utanför tunneln;
- spårutformning och trafiken;
- tekniska installationer i tunneln samt
- interna och externa aktiva och organisatoriska insatser.

I grunden är det olika strategier som kan knytas till de strategier som är tänkta att verka mot olyckor och deras konsekvenser, se figur 3. Flera av de attribut och parametrar som senare identifieras kommer att ha en koppling till flera av ovanstående punkter.

De parametrar som ingår i attributen är oftast entydigt associerade till ett visst attribut. Detta gäller dock inte alltid och det finns fall där det kan diskuteras till vilket attribut en viss parameter ska knytas. Det går att argumentera för olika placeringar men avsikten är att dels knyta en parameter till det mest väsentliga attributet, dels att antalet parametrar ska vara förhållandevis lika. Det finns inget belägg för att detta är ett rationellt val annat än att inverkan av en parameters gradering sannolikt blir jämnare för attributvärdet om antalet parametrar är lika då inverkan på attributvärdet baseras på kvalitativa bedömningar i vikttningsprocessen där dessa relationer bestäms.

5.3.1 Attribut 1: Tågtrafik och drift

Attributet är tänkt att hantera egenskaper som relaterar till trafiken som sker genom tunneln det vill säga tågarbete, spårkvalitet, typ av trafik mm. Attributets primära fokus är att beskriva troligheten att det kommer att ske en olycka. Därför är egenskaper som tåghastighet, spårkvalitet och typen av trafik viktiga egenskaper. Även operatörernas möjligheter att kommunicera med trafikledningen ingår då denna kan påverka möjligheten att hantera en inträffad olycka.

Typen av tåg som passerar tunneln är av betydelse för säkerheten det vill säga fördelningen av främst godståg respektive persontåg, övriga tågtyper är oftast i minoritet. Ursparningsfrekvensen för godståg är generellt sett högre än för persontåg vilket motiverar att uppdelningen sker (Hallandsås 2003, Varbergstunnel, 2019; Olycksrisk, 2017)

Det kan inledningsvis förmodas att en högre hastighet också resulterar i en högre ursparningsfrekvens. Det är dock svårt att belägga att hastigheten har en inverkan på ursparningsfrekvensen då den största tillåtna hastigheten (STH) för en sträcka bestäms utifrån typen av spår och underhåll. Det innebär att högre STH sätts för bandelar där förutsättningarna för högre hastigheter är goda. Statistik visar därför att frekvensen för ursparning minskar med ökad STH vilket kan vara en effekt av att kvaliteten på spåren som tillåter högre hastighet är bättre. Mot den bakgrunden kommer bedömningen vara gynnsam för tunnlar som tillåter en hög STH som därför blir ett sätt att indirekt bedöma spårens kvalitet utan att spårkvalitet behöver bedömas i det enskilda fallet. Spårens kvalitet kan annars antas påverka frekvensen för ursparning. Bedömningen baseras på spårens besiktningsklass (TDOK 2019:0174) och för den högsta tillåtna hastigheten antas spår som har lägre trafikbelastning, räknat som bruttoton per spår och år, ha ett mindre slitage och får därför ett högre bedömningsvärde.

Konsekvensen för en olycka ökar dock sannolikt med ökande hastighet. Detta är sannolikt mer påtagligt för persontåg där det kan förväntas ske en ökning i antal skadade personer om en olycka sker i hög hastighet. Dock kan konsekvensen grovt sett bedömas vara lägre för godståg då det finns ett mindre antal personer som exponeras, men variationen i förväntad konsekvens kan vara stor då denna påverkas av typen av gods. Sammantaget görs därför bedömningen att en större andel godståg minskar säkerheten på grund av osäkerheten i transporterat gods och att frekvensen av urspårningar är högre för godståg. Kategoriseringen av tågtypen utgår från hur statistik för trafikarbetet redovisas även om en annan kategorisering förekommer i exempelvis TSD Säkerhet i järnvägstunnlar. För att undvika att något enstaka tåg med last av farligt gods får en stor påverkan på graderingen av egenskapen tillåts en liten andel godståg med farligt gods utan att det påverkar bedömningen.

Antalet tåg per dygn eller per timma i högtrafik kan också förväntas påverka frekvensen för olyckor. Fler tåg som använder tunneln per dygn ökar frekvensen för en olycka i en given tunnel. På samma sätt kommer tunnelns längd att påverka frekvensen för att en olycka sker inne i tunneln och inte utanför. Intervallen för antalet tåg per dygn och fördelningen mellan tågtyper baseras på statistisk information från ett urval av tågsträckor.

För tunnlar med fler än ett spår finns det också en möjlighet att två tåg möts i tunneln, något som kanske inte påverkar frekvensen för olyckor men möjligen konsekvensen om en olycka sker. Dock är det inte möjligt att beskriva sannolikheten för att två tåg möts i tunneln vilket gör att denna aspekt inte beaktas. Två tåg som kör i samma riktning kan också förekomma samtidigt i en tunnel, vilket även kan vara aktuellt för enkelspårstunnlar. De skulle kunna påverka varandra sett utifrån konsekvensen vid olyckan. Men även detta fall är svårt att belägga den förändrade konsekvensen även om fallet sannolikt kan beskrivas bättre jämfört med fallen med mötande tåg i tunneln. Av detta skäl är inte heller detta fall beaktat i attributet. Bedömningsgrunden för dessa mindre sannolika fall är att konsekvensen av ett enstaka tåg som spårar ur och möjligen börjar brinna i sig är tillräckligt allvarligt.

Kommunikation mellan tågpersonal och trafikcentral är en faktor som påverkar möjligheten att agera om en olycka inträffar. Järnvägsnätet använder ett eget kommunikationssystem (MobiSIR eller GSM-R) som täcker hela järnvägsnätet. Tunnlar längre än 500 meter ska enligt dagens regelverk ha redundant GSM-R-täckning det vill säga de använder dubbla basstationer. Vanligen sker kommunikationen via en eller två så kallade läckande kablar men också system med antenner finns vilket speglar

tidigare praxis för utföranden. Kortare tunnlar kan också få sin GSM-R-täckning via externt placerade master.

I samband med en olycka är möjligheten till kommunikation väsentlig. I första hand har personalen ett behov av att kunna kommunicera med trafikcentralen (TC) för att få stöd och informera om situationen. Även passagerare kommer sannolikt att vilja kommunicera med omvärlden men externa operatörers användning av Trafikverkets infrastruktur bedöms inte då denna teknik främst baseras på behoven från privata operatörer och funktionen ligger utanför Trafikverkets kontroll.

I anläggningen kan det finnas fasta nödtelefoner i trafiktunneln och i eventuella sidoutrymmen för att komma i kontakt med Trafikcentralen. Dessa nödtelefoner har sin grund i en tidigare teknik som gör det möjligt för tågpersonalen att kommunicera med trafikcentralen. I och med utbyggnaden av GSM-R, pågår ett arbete med att fasa ut dessa fasta telefoner och skrota systemet. Det är otvetydigt så att redundansen med att ha såväl fasta nödtelefoner som radiobaserad kommunikation är större vilket innebär att vissa tunnlar rekommenderas att ha fasta nödtelefoner även i framtiden (Lundin och Fridolf, 2023). Men eftersom systemet med fasta nödtelefoner är på väg att avvecklas kommer ett säkerhetshöjande bidrag från dessa enbart i mindre utsträckning att inkluderas vid bedömningen av säkerheten.

Ersättningen av GSM-R med modernare 5G-system (FRMCS) är inte inkluderat i nuläget. Tills vidare betraktas GSM-R och FRMCS som likvärdiga vid bedömningen av säkerhet i tunnlar.

Sammantaget innebär detta att möjligheten för tågpersonal att kommunicera med Trafikcentralen enbart baseras på utformningen av den fasta infrastrukturen.

Bedömningen av attributet baseras på nedanstående parametrar.

Högsta tillåtna hastighet

Beskrivning	Gradering Hast
Hastighet > 140 km/h och trafikbelastning under 8 Mbrt/spår&år (Besiktningsklass B4)	5
Hastighet > 140 km/h och trafikbelastning över 8 Mbrt/spår&år (Besiktningsklass B5)	4
Hastighet > 80 km/h och ≤140 km/h	3
Hastighet > 40 km/h och ≤ 80 km/h	2
Hastighet ≤ 40 km/h	1

Antal tåg per dygn i genomsnitt över ett år (senaste året med komplett data, avrundat till heltal)

Beskrivning	Gradering Trafik
25 eller färre	5
26 – 50	4
51 – 100	3
101 – 200	2
Fler än 200	1

De tåg som ingår i beräkningen av trafikarbetet är summan av antalen resandetåg (RST), godståg (GT) och tjänstetåg (TJT).

Fördelning mellan olika tågslag

Beskrivning	Gradering Förd
Enbart persontåg	5
Mindre än 10% godståg	4
Mindre än 15% godståg	3
Mindre än 20% godståg	2
Mer än eller lika med 20% godståg	1

Om andelen godståg med last av farligt gods förekommer i större omfattning än 0,5% ska graderingen minskas med 2 enheter, dock är lägsta parametervärde 0.

System för kommunikation för tågpersonal (GSM-R)

Beskrivning	Gradering GSM
GSM-R-täckning via redundant system med enkel eller dubbel läckande kabel med täckning av eventuella sidoutrymmen med nödlägesfunktion.	5
GSM-R-täckning i trafiktunnel och eventuella sidoutrymmen med nödlägesfunktion via läckande kabel eller motsvarande.	4
GSM-R-täckning i trafiktunnel via läckande kabel. Sidoutrymmen med nödlägesfunktion täcks via antenner (ej läckande kabel).	3
GSM-R-täckning utan läckande kabel (enbart antenner eller inläckande signal från externa basstationer) eller delvis med läckande kabel. Trafikutrymme eller sidoutrymme med nödlägesfunktion är försett med fasta telefoner till TC.	2
GSM-R-täckning utan läckande kabel (enbart antenner eller inläckande signal från externa basstationer) eller delvis med läckande kabel.	1

Med sidoutrymme med nödlägesfunktion avses sidoutrymme som används för utrymning. Schakt som endast används för räddningsinsats inkluderas inte i begreppet sidoutrymme med nödlägesfunktion för bedömning av täckning av GSM-R.

Attributvärde: $A_1 = 0,1 \cdot Hast + 0,6 \cdot Trafik + 0,2 \cdot Förd + 0,1 \cdot GSM$

5.3.2 Attribut 2: Tunnelns konstruktion

Aspekter som hanteras av attributet är främst sådana som har sin grund i den fysiska utformningen av tunneln. Bedömningen kan omfatta åtgärder som inriktas mot såväl konsekvensen av en olycka som frekvensen för olyckor.

Tunnelns produktionsmetod och brandteknisk klassificering kan påverka risken för exempelvis nedfallande delar från konstruktionen, vilka kan leda till en olycka. Men det är svårt att bedöma risken enbart utifrån hur tunneln är konstruerad och enbart utifrån en enstaka bedömning. Det krävs vidare en kompetens för att avgöra om delar kan falla ner såvida detta inte redan skett. Även om risken påverkas av tunnelns produktionsmetod är just metoden i sig en dålig indikator avseende benägenhet för exempelvis nedfallande bergdelar eller isblock.

Risken för nedfallande föremål eller annat som kan påverka konstruktionens riskbidrag sker istället utifrån de regelbundna inspektioner som görs för att bedöma tunnelns tillstånd (TRVINFRA-00215). Det innebär att underlag som redan finns tillgängligt kan användas då det sker en omfattande dokumentation av en tunnels strukturella integritet. I bedömningen baseras risken för nedfallande föremål såsom utfallande berg, is och olika former av inklädnad (dräneringsmattor, dukar mm) baserat på genomförd tillståndsbedömning som presenteras i Trafikverkets IT-system BATMAN. BATMAN är en databas som innehåller bland annat inspektionsresultat och vidtagna åtgärder. Tillståndsbedömningen inkluderar risker för framtiden men akuta fel noteras. Akuta fel rapporteras annars främst av tågföraren och rapporteras i databas för driftnmärkningar, exempelvis dagens Ofelia. Från Ofelia noteras inträffade skador som utfall av berg eller is eller nedfallen eller lös inklädnad (dränering). Akuta fel som noteras hanteras genom de organisatoriska aspekter som bedöms i attribut 9 under drift och underhåll.

Graderingen här baseras således enbart på rapporterade skador eller möjliga kommande skador noterade vid inspektioner för tillståndsbedömningen. I den tillståndsbedömning som sker finns en stor mängd möjliga skador som registreras. Flera av skadorna är dock inte knutna till risken att föremål faller ned och dessa övriga skador ska därför inte ingå i bedömningen av risken.

Tillståndsbedömningen som görs graderas i allvarlighetsgrad mellan tillståndsklass TKo (Bristfällig funktion bortom 10 år) till tillståndsklass TK3 (Bristfällig funktion vid inspektionstillfället). Det antal skador som ska ingå i bedömningen av risken för nedfallande föremål begränsas till de

konstruktionsdelar och de skadetyper som redovisas i bilaga 3 och som bedömts tillhöra TK2 (bristfällig funktion inom 3 år) eller TK3.

Även antalet inträffade skador som rapporterats i IT-systemen Ofelia/Bessy bör inkluderas såvida de inte redan finns registrerade i BATMAN.

Tunneln karakteriseras även av dess längd och tvärsnittets storlek. En längre tunnel kommer att ha en högre sannolikhet för en olycka i jämförelse med en kortare med i övrigt lika förutsättningar. Därför är tunnellängden inkluderad för att hantera den ökade frekvensen för att olyckan sker i tunneln och inte utanför.

Graderingen av olika tunnellängder är valda utifrån de vanligen förekommande längder som i TSD Säkerhet i järnvägstunnlar och i TRVINFRA-00233 resulterar i förändringar i tunnelns utförande. De steg som anges i TRVINFRA-00233 är i huvudsak >100 m, >300 m, >500 m och >1 km även om det förekommer högre brytvärden (5 km, 10 km och 20 km). För tunnlar kortare än 500 meter är kravnivån relativt låg vilket sannolikt kan motiveras med en låg risk och att tunneln passeras på kort tid. Vid 500 meter och vid 1 km sker det kravökningar, främst utifrån TSD Säkerhet i järnvägstunnlar. Nivåökningar sker även för tunnlar med en längd över 1 km. Majoritet tunnlar i Sverige är under 1 km, de flesta av dessa under 500 m. Av de över 1 km är ca 50% över 2 km, det är således inte ovanligt med tunnlar som är flera kilometer. Detta kan motivera varför intervallen för höga bedömningsvärden är mindre för kortare tunnlar. Sveriges idag längsta tunnel är Hallandsåstunneln som är 8,7 km och detta kan vara någon form av övre gräns för att bedöma tunnellängden.

Tvärsnittets storlek beror främst på hur många spår som finns i tunneln och behandlas under ett annat attribut (i A3).

I beskrivningen av tunnelns konstruktion och dess påverkan på säkerheten ingår även egenskaper som beror på utformningen utanför tunneln. Här är det främst möjligheten att nå mynningen som ska bedömas. Svårigheter kan uppstå om det finns bergskärningar under en längre sträcka utanför en mynning eller om tunneln ansluter till en annan tunnel utan att det finns möjligheter för utrymmande personer att ta sig från området eller för räddningstjänsten att nå mynningen. Det finns dock situationer där tillgången till mynningen inte påverkar varken utrymningen eller räddningstjänstens insats exempelvis om dessa istället sker via ett sidoutrymme med nödlägesfunktion såsom en servicetunnel.

Liknande problematik finns för spår som löper i ett tråg utanför mynningen eller för en tunnel som ansluter till en bro (Häggström, 2015). Utformningen av mynningen kan även påverka risken för nedfallande föremål på spåret.

Is som fryser till följd av inläckande vatten kan orsaka andra problem än nedfallande isblock. Inläckande vatten kan bidra till risken att is fryser på ytor som används för utrymning eller som kan tänkas påverka elektriska installationer upp till några meter från marknivå (ej elinstallationen för tågens framdrift). Annars bedöms inte vattenläckaget i sig utgöra ett större problem för tunnelns säkerhet. Omfattande läckage hanteras emellertid bland annat genom montering av så kallade dräneringsmattor som fästs mot berget och som oftast är täckta med ett skyddande betongskikt eller med en brandskyddande duk. Problemet är här att dessa mattor är brännbara men denna aspekt hanteras i ett följande attribut (i A4). Risken för isbildning på gångytor och elinstallationer bedöms således separat.

Bedömningen av attributet baseras på nedanstående parametrar.

Risk för nedfallande föremål i eller utanför tunneln.

Beskrivning	Gradering TK
Inga aktuella skador finns dokumenterade i BATMAN.	5
Antalet skador i BATMAN understiger en per km tunnel	4
Antalet skador i BATMAN understiger två per km tunnel	2
Antalet skador i BATMAN är två eller fler per km tunnel	1

Med skada avses händelser i BATMAN som kategoriseras som TK2 eller TK3 för konstruktionsdelar enligt bilaga 3. Även rapporterade händelser i Ofelia/Bessy bör beaktas vid bestämningen av antalet.

Tunnellängd

Beskrivning	Gradering L
$\leq 0,5$ km	5
$> 0,5$ km men ≤ 1 km	4
> 1 km men ≤ 5 km	3
> 5 km men ≤ 10 km	2
> 10 km och längre	1

Tillgänglighet till mynning

Beskrivning	Gradering Mynning
Tråg, bro eller skärning som försvårar tillträde för räddningsinsats eller utrymning finns inte.	5
Tråg, bro eller skärning som försvårar tillträde för räddningsinsats och utrymning finns vid minst en mynning. Utrymning och räddningsinsats är dock inte beroende av tillgänglighet till mynningen.	4
Tråg, bro eller skärning som försvårar tillträde för räddningsinsats och utrymning finns vid minst en mynning.	2
Tråg, bro eller skärning som försvårar tillträde för räddningsinsats och utrymning finns vid båda mynningarna. Utrymning och räddningsinsats är dock inte beroende av tillgänglighet till mynningen.	2
Tråg, bro eller skärning som försvårar tillträde för räddningsinsats och utrymning finns vid båda mynningarna.	1

Isbildning utanför spårområdet i trafiktunneln

Beskrivning	Gradering Is
Isbildning förekommer inte i tunneln.	5
Isbildning förekommer på tunnelns väggar men påverkar inte mark avsedd för utrymning eller elektriska installationer.	5
Isbildning förekommer på tunnelns väggar men påverkar inte mark avsedd för utrymning men dock elektriska installationer.	3
Isbildning förekommer i tunneln och påverkar mark avsedd för utrymning.	1

Isbildning bedöms utifrån kunskap om förekomst i den aktuella tunneln.

Vattenläckage utmed tunnelns väggar och tak kan annars indikera möjlighet för olika omfattning av isbildning men läckage i tunneln medför inte per automatik att isbildning förekommer.

Attributvärde: $A_2 = 0,1 \cdot TK + 0,6 \cdot L + 0,2 \cdot Mynning + 0,1 \cdot Is$

5.3.3 Attribut 3: Spår- och trafikegenskaper

Attributet är tänkt att inkludera egenskaper som berör spår- och trafikmiljön och är främst fokuserat på att beakta frekvensen för olyckor.

Tunnlar kan vara byggda för att innehålla ett eller flera parallella spår. Flera spår i samma tunnel ökar sannolikheten för att en olycka inträffar (urspårning) och leder potentiellt till större konsekvens. Möjligheten finns att konsekvensen av en urspårning kan öka om bredden på tunnel är större, vagnar kan förflyttas mer i sidled men det finns få belegg för detta. Den ökade frekvensen beaktas dock genom det sammantaget antal tåg som per dygn passerar tunneln, en egenskap som beaktas i attribut 1. Men fler spår i en tunnel innebär också ett större tunneltvärsnitt vilket är gynnsamt för konsekvensen av en brand eller ett utsläpp. Bedömningen av antalet spår i tunneln är alltså tänkt att hantera konsekvenser vid brand och utsläpp vilket innebär att flera spår är gynnsamt då det leder till ett större tunneltvärsnitt.

Spårens kvalitet och förekomsten av skyddsräler kan påverka frekvens för olyckor. Kvalitetsaspekten beaktades i det första attributet genom valet av STH och besiktningsklassen. Skyddsräler finns främst i tunnlar med fler än ett spår, men förekommer även i enkelspårstunnlar. Skyddsräler i spåren (eller motsvarande skydd) kan påverka konsekvensen för en olycka, då tanken är att en urspårning ska bli lindrigare med detta skydd. Skyddsräler ska enligt gällande föreskrifter (TRVINFRA-00233) finnas i tunnlar med flera spår och om tunneln längd är över 100 m men inget hindrar att de kan läggas i enkelspårstunnlar vilket sannolikt kan ha en positiv effekt och kan vara ett resultat av en tilläggsåtgärd. Vidare kan det förmodas att kurvradie och andra spårtekniska egenskaper kan påverka sannolikheten för urspårning men det är oklart om det finns underlag att bedöma denna inverkan och egenskaperna har därför inte inkluderats.

Växlar i och direkt utanför tunneln är mindre gynnsamt enligt Häggström (2015). Sannolikheten för en urspårning ökar vid trafik över växlar men storleken är svår att bedöma enligt Fredén (1994). Det kan därför vara rimligt att anta att det finns en viss ökning av möjligheten till urspårning och som en första approximation kan bedömningen begränsas till att konstatera om det finns eller inte finns växlar i eller utanför tunneln. För att bedöma vad som räknas som utanför tunneln kan ett avstånd innan tunneln bestämmas som för stoppsträcka vid risk för varmgång i hjul. Då baseras avståndet på STH och avståndet beräknas som $V^2/80$ [i meter med hastighet V i km/h]. Antagandet bygger på att urspårningen sker längs med räls med konstant retardation 3 m/s^2 (UIC 777-2R, 2002). Graderingen av parametern baseras på en kvalitativ bedömning då det saknas tillförlitlig statistik för växlars bidrag till urspårning.

Bedömningen av om det finns en ökad svårighet med växlarna med avseende på en växels läge inne i tunneln i förhållande till plats för utrymningsvägar kan diskuteras. Argumentet för att beakta detta skulle vara att utrymningen kan försvåras om personer som behöver korsa ett spår i närheten av en utrymningsväg samtidigt måste passera en växel. Sannolikt kan det vara svårare att korsa spåret om passagen sker över en växel men det finns inga underlag som styrker detta och graderingen beaktar därför inte växlarnas bidrag till utrymningsproblematiken.

Signalsystem finns för att reglera trafiken. Förutom att undvika att flera tåg befinner sig nära varandra har signalsystemet en möjlighet att, vid en olycka, i varierande grad positionera tåget. Det sker ett byte av system från dagens Automatic Train Control (ATC) till ett för Europa gemensamt system, ERTMS (European Rail Traffic Management System). ERTMS finns i flera nivåer (nivå 1, nivå 2 och nivå 3) där skillnaden i möjlighet att positionera tåget mer noga ökar med ökande systemnivå. Precisionen för ATC och ERTMS nivå 1, utan andra sensorer, innebär att ett tåg kan konstateras befinna sig inom en så kallad blocksträcka (storleksordningen kilometer). Precisionen för system med nivå 2 och nivå 3 är avsevärt bättre då ett tågs position kan fastställas flera gånger per minut. Bytet av signalsystem pågår och få sträckor har det nya ERTMS-systemet (Införandeplan för ERTMS, 2015). De sträckor med ERTMS har system enligt nivå 2 och för närvarande inga sträckor som har den högsta nivån likställs dessa vid en bedömning av parametern.

Bedömningen av attributet baseras på nedanstående parametrar.

Enkelspår eller flera spår

Beskrivning	Gradering AntSpår (endast rangordning)
Flera spår i samma tunnelutrymme.	5
Ett enda spår i tunneln.	1

Ursparningsskydd

Beskrivning	Gradering SkyRäl
Skyddsräl eller motsvarande finns i tunneln och avbrott i dessa finns ej.	5
Skyddsräl eller motsvarande finns i tunneln och avbrott i dessa finns vid ex baliser.	3
Skyddsräl eller motsvarande finns inte i tunneln.	0

Spårväxlar i tunnelns närhet

Beskrivning	Gradering Vx
Spårväxel finns inte i eller utanför tunnelns mynningar inom X meter från mynningarna.	5
Spårväxel finns utanför någon av tunnelns mynningar inom X meter från mynningarna men inte i tunneln.	2
Spårväxel finns i tunneln.	1

Avståndet X beräknas med avseende på STH (km/h); $X = \text{STH}^2/80$ i meter.

Signal- och trafikstyrningssystem

Beskrivning	Gradering Sign
ERTMS typ 2 eller högre	5
ERTMS typ 1	3
ATC med fjärrblockering	3
Inget	0

Attributvärde: $A_3 = 0,2 \cdot \text{AntSpår} + 0,1 \cdot \text{SkyRäl} + 0,4 \cdot Vx + 0,3 \cdot \text{Sign}$

5.3.4 Attribut 4: Tunnelns passiva brandskydd

Attributet behandlar främst tunnelns inneboende passiva egenskaper att begränsa brandspridning och antändning. Det betyder i praktiken att bedöma brandegenskaperna för ytskiktmaterial och kablar samt förekomsten av brandcellsgränser och nivån på dessa skyddsfunktioner. I huvudsak handlar det om de brandtekniska egenskaperna för tunnelns ytskikt och övrig inredning och inklädnader som kan vara brännbar. Det kan antas att tunnlar generellt har ett obrännbart ytskikt såvida det inte finns isoleringsmattor, tunnare dräneringsmembran eller dräneringsmattor som inte är skyddade från en direkt brandexponering.

Förekomsten av så kallade dräneringsmattor är sannolikt det största bidraget till brännbart material i en järnvägstunnel undantaget tåget och dess gods som transporteras i tunneln. Dräneringsmattorna kan antingen vara skyddade med sprutad betong så att det brännbara materialet är helt inneslutet eller vara försedda med en tunnare brandskyddande duk som fästs utanpå dräneringsmattan men utan ett skyddande betongskikt. Brandbenägenheten för en dräneringsmatta som skyddas med en brandskyddande duk har utvärderats (Dittmer, 2007; Dittmer, 2008 och Utlåtande, 2009) vilket resulterade i en godtagbar utformning som medger en maximal utbredning av den skyddande dräneringskonstruktionen och hur långt det måste vara mellan flera sådana.

Den brandskyddande duken definieras i de utvärderade försöken i form av ett specifikt fabrikat och som uppges uppfylla klass B1 enligt DIN 4102-1 (beskrivs som svårantändligt). Graderingen av parametern bygger bland annat på denna utvärdering för fallet då en brandskyddande duk används. Graderingen blir mer fördelaktig om den brandskyddande duken uppfyller klass B-s1,do enligt EN 13501 som är den nivå för ytskikt som gäller för nya tunnlar enligt TSD Säkerhet i järnvägstunnlar och utgör ett strängare krav än brandteknisk klass B1 enligt DIN 4102-1. Det kan också konstateras att efter de tidigare försöken genomfördes har brandskyddande dukar tagits fram som uppfyller brandteknisk klass B-s1,do och bättre. Ett skydd av sprutad betong uppfyller ännu högre klass, brandteknisk klass A1. De brandtekniska klasserna enligt DIN 4102 och EN 13501 är inte jämförbara då klassificeringstesterna är helt olika.

För mängden brännbart material i en järnvägstunnel finns också kriterier för material som får finnas i tunneln utan att det påverkar bedömningen av dess brandfarlighet. Tillämpningsstödet till TSD Säkerhet i järnvägstunnlar (ERA, 2014) anger exempelvis att beslag på dörrar, belysningsarmaturer, skyltar och vissa rälskomponenter inte behöver

beaktas. Dessutom görs bedömningen att kablar till belysningsarmaturer, eluttag mm inte behöver beaktas vid graderingen.

Kablars bidrag till brandspridning och uppkomst av brand kan inkluderas i bedömningen av nivån för det passiva brandskyddet. I detta fall avses främst större ansamlingar av kablar på kabelstegar och liknande. Enskilda kablar till armaturer, eluttag och motsvarande kan ingå i de undantag som anges ovan.

I bedömningen av kablars bidrag till en brand beaktas främst förmågan att begränsa brandspridningen. Brandspridningsrisken hanteras genom att antingen välja kablar som uppfyller krav gällande skydd mot antändning eller som skyddas av en sådan konstruktion. Risken att installationen i sig ska orsaka en brand genom slitage eller undermåligt utförande hanteras inte i detta attribut utan ingår i bedömningen av funktionen kring drift och underhåll. Ett problem med att bedöma kablars bidrag till brandspridning är att dels fastställa hur stor del kablarna har i ett brandförlopp och dels att konstatera om kablar som finns installerade har någon brandteknisk klass eller inte. Då osäkerheten kring bidraget inte är försumbar görs endast en enkel bedömning kopplad till antalet oskyddade kablar i tunneln. En differentiering görs även med avseende på eventuell brandteknisk klass för skyddet.

Slutligen ingår även en bedömning av eventuell brandcellsindelning mellan trafikutrymmet och intilliggande utrymmen. De intilliggande utrymmen som beaktas är dit personer förväntas utrymma, så kallade sidoutrymmen med nödlägesfunktion. Det kan vara utrymningsvägar som leder direkt till det fria eller som leder till en parallell servicetunnel. Det skiljs också på om förbindelsen mellan utrymmena sker med en enkel passage eller om den sker via en sluss vilken har dubbla dörrar mellan trafikutrymmet och sidoutrymmet. Förbindelsen mellan trafikutrymmet och ett sidoutrymme med nödlägesfunktion som utgörs av en sluss utgör ett tillräckligt skydd mot spridning av brand och brandgaser. Brandcellsindelning mot teknikutrymmen och liknande ingår inte i bedömningen.

Brandcellsgränserna ska beakta eventuella otätheter.

Bedömningen av attributet baseras på nedanstående parametrar.

Tunnelns ytskikt avseende inklädnader och inredning

Beskrivning	Gradering Ytskikt
Obrännbart material i hela trafikutrymmet	5
Sprutbetong > 60 mm på brännbara inklädnader och inredning, i övrigt ringa mängder brännbart material i trafikutrymmet	5
Sprutbetong < 60 mm eller med okänd tjocklek på brännbara inklädnader och inredning, i övrigt ringa mängder brännbart material i trafikutrymmet	4
Brännbara inklädnader eller inredning i mer än ringa omfattning förekommer men skyddas av brandskyddande duk. Förekommer i partier om maximalt 2 meters bredd och mer än 25 meters inbördes avstånd. ^{a)}	3
Brännbara inklädnader eller inredning i mer än ringa omfattning förekommer men skyddas av brandskyddande duk. Förekommer i partier om maximalt 4 meters bredd och mer än 25 meters inbördes avstånd. ^{a)}	2
Brännbara inklädnader eller inredning, med eller utan brandskyddande duk, i större omfattning förekommer eller skydd av sådant material uppvisar brister.	1

Begreppet inklädnader eller inredning inkluderar dräneringsmattor och andra brännbara och fast installerade föremål som kan förekomma på väggar och tak i trafikutrymmet. Det förutsätts att eventuell sprutbetong är intakt (utan sprickor större än 1 cm eller nedfallen sprutbetong).

Brandskyddande duk som skyddar brännbara inklädnader eller inredning, inklusive eventuella anordningar som håller duken på plats, förutsätts vara stabilt förankrad i underlaget och att den endast rör sig marginellt vid tågpassage. Med brandskyddande duk avses material som uppfyller klass B1 enligt DIN 4102-1 (svårantändlig, godtagbar nivå för låg antändlighet) eller ha motsvarande egenskaper.

a) Graderingen får ökas med ett steg om material används som uppfyller lägst brandteknisk klass B-s1,d0.

Med ringa mängder brännbart material avses ytor med vardera maximalt 1 m² brännbart material (exempelvis trä) med 50 meters inbördes avstånd. Utöver denna mängd brännbart material behöver följande inte beaktas

- beslag på dörrar
- belysningsarmaturer (inklusive skyltar), strömställare eller elkapslingar
- signalsystemsutrustning för tågtrafiken
- polymerbaserade rälskomponenter
- telekommunikationsutrustning, läckande kabel, antenner
- träslipers för spåren
- enstaka fast förlagda kablar till belysning, eluttag eller liknande (ingår ej i avstegen som godtas TSI SRT Tillämpningsstöd; ERA, 2014).

Elkablar i trafikutrymmet

Beskrivning	Gradering Kabel
Elkablar i kabelstråk förekommer men med maximalt två exponerade elkablar på kabelstegar oavsett brandteknisk klass på kablar.	5
Elkablar i kabelstråk förekommer med fler än två kablar som är utförda i minst brandteknisk klass B2 _{ca} -s1a, a1 eller skyddade på motsvarande sätt.	5
Elkablar i kabelstråk förekommer med fler än två kablar som är utförda i brandteknisk klass lägre än B2 _{ca} -s1a, a1 eller skyddade på motsvarande sätt. En riskbedömning är gjord som påvisar att risken är godtagbar.	4
Elkablar i kabelstråk förekommer men med maximalt fem exponerade elkablar på kabelstegar oavsett brandteknisk klass på kablar.	2
Elkablar i kabelstråk förekommer med fler än fem kablar som är utförda med okänd brandteknisk klass eller klass lägre än B2 _{ca} -s1a, a1 eller skyddade på motsvarande sätt.	1

Med elkablar i kabelstråk avses längre sammanhängande förlagda kablar exempelvis på kabelstegar som inte är förlagda under gångbana eller motsvarande. Elkablar som omfattas av ovanstående avser kabelstråk med samtliga elkablar sett över tunnelns tvärsnitt. Kabelinstallationer i anslutning till belysningsarmaturer, tavlor med utrymningsskyltar, eluttag mm inkluderas inte.

Brandteknisk avskiljning mellan trafikutrymme och sidoutrymme med nödlägesfunktion

Beskrivning	Gradering BC
Trafikutrymme och sidoutrymme med nödlägesfunktion är i olika brandceller och förbindelse mellan dem sker via brandtekniskt avskild sluss.	5
Sidoutrymme med nödlägesfunktion saknas.	5
Trafikutrymme och sidoutrymme med nödlägesfunktion är i olika brandceller och förbindelse mellan dem sker genom enkla brandtekniskt avskiljande dörrar (dvs ej slussfunktion).	4
Trafikutrymme och sidoutrymme med nödlägesfunktion är avskilda från varandra med dörrar med okända brandtekniska egenskaper eller den brandtekniska avskiljningen är bristfällig.	1
Trafikutrymme och sidoutrymme med nödlägesfunktion är i öppen förbindelse med varandra.	0

Med brandtekniskt avskilt avses minst sammanlagd brandteknisk klass EI 90 för fasta byggnadsdelar och EI 90-C för dörrar. Om den sammanlagda skyddsnivån är minst EI60/EI60-C ska bedömningsvärdet enligt tabellen minskas med två steg.

För dörrar i en sluss avses den sammanlagda skyddseffekten. Här kan exempelvis två dörrar med klass E60-C i en sluss ge motsvarande skyddsnivå som EI90-C.

Med bristfällig brandteknisk avskiljning avses exempelvis öppningar i brandavskiljande konstruktion, dörrar som inte sluter tätt och dörrstängare som är ur funktion.

Attributvärde: $A_4 = 0,6 \cdot Ytskikt + 0,3 \cdot Kabel + 0,1 \cdot BC$

5.3.5 Attribut 5: Tunnelns aktiva skydd mot och vid brand, utsläpp och explosion

Tunnlar kan vara försedda med olika former av aktiva skyddssystem mot brand, utsläpp och explosioner. De vanligast förekommande systemen har dock en fokusering mot brandskydd. Med aktiva skyddssystem avses sådana som tas i drift i samband med en olycka eller som medverkar till att upptäcka en möjlig brand.

Två typer av brandbegränsande system ingår i bedömningen av attributet; brandgasventilation och automatisk vattensprinkler.

Brandgasventilationens syfte är att, vid ett brandtillbud, styra luftflödet i tunneln så att det underlättar för passagerare att evakuera tunneln eller för räddningstjänsten att genomföra en insats. Det är trots allt fortfarande relativt ovanligt att järnvägstunnlar har installerade fläktar för att styra rökens riktning. Fläktarnas funktion differentieras med avseende på om de kan styras lokalt eller från Trafikcentralen eller från båda platserna. Ett automatiskt släcksystem är sannolikt än mer ovanligt i järnvägstunnlar men de förekommer, främst i långa tunnlar där det kan finnas behov av så kallade utrymnings- och räddningsplatser även inne i tunneln.

Fläktar som ska skydda mot spridning av brand och brandgaser mellan ett trafikutrymme och ett sidoutrymme med nödlägesfunktion ingår inte i bedömningen när förbindelsen utgörs av en sluss. Motivet är att slussen i sig utgör ett tillräckligt skydd vid utrymning och i samband med räddningsinsats. Bidraget till säkerheten från fläktarna är i sammanhanget mindre.

Ett aktivt system kan även omfatta andra typer av installationer som kan underlätta i samband med en olycka. Det kan vara installationer som underlättar för räddningstjänsten att lokalisera platsen för ett stillastående tåg. Denna information är även nödvändig för Trafikcentralen i sitt arbete med att stödja räddningsinsatsen till exempel genom att hantera vissa tekniska system som finns i vissa järnvägstunnlar. Sättet att lokalisera platsen för det stillastående tåget kan variera och olika system är möjliga. I dagsläget är kamerabaserade system ovanliga utan det är antingen enklare system som exempelvis kan bygga på ljusstrålar som bryts vid passage eller att signalsystemet kan registrera platsen för ett stillastående tåg. Men ett uppgraderat signalsystem kan precisionen sannolikt förbättras jämfört med dagens teknik. Några system för att bestämma ett tågs position i en tunnel har även möjlighet att indikera platsen för tåget via en lokalt placerad visningsfunktion. Detta kan vara en åtgärd som den kommunala räddningstjänsten har nytta av.

Traditionellt är inte trafikutrymmet i järnvägstunnlar försedda med detektionssystem för att upptäcka bränder, något som annars kan förekomma i stationsmiljöer eller teknikutrymmen. Tågstopp till följd av brand kan i viss utsträckning detekteras genom signalsystemets lokaliseringsfunktion. Detta behandlas i annat attribut.

Branddetektionssystem förekommer ofta ombord på tåget men detta behandlas inte som en del i bedömningsmetoden då avgränsningen gjorts att enbart betrakta själva infrastrukturen och de delar som Trafikverket har rådighet över.

Detektion av varmgång, hjulfel eller tjuvbromsning kan vara en åtgärd för att identifiera en möjlig brandkälla och göra det möjligt att stanna tåget innan det når en tunnel. Detektorer kan vara placerade på tåget eller utmed spåret, endast det senare systemet är inkluderat. Krav vid val av markbaserad detektorplats redovisas i TDOK 2013:0689, på hur rullande materiel ska utformas för att kunna detekteras i TDOK 2014:0690 och hur larm ska hanteras i TDOK 2020:0074.

För att ett detektionssystem ska vara användbart för att upptäcka en brand måste detektorer vara placerade så långt från tunneln att de kan resultera i ett tågstopp innan tåget hunnit fram till tunneln. Trafikverket har inga egna rekommendationer om hur långt innan en tunnel så kallade markbaserade detektorer ska sitta. I förarbetet till den första utgåvan av TSD avseende "säkerhet i järnvägstunnlar" anges följande: *Appropriate distance between two installations: depending on the network-wide concept adopted for installations (typical range of between 25 and 100 km)*. Placeringen är alltså relativt långt från tunneln men det kan heller inte vara alltför långt från tunneln då sannolikheten att ett fel inleds efter detektorpassagen ökar med ökande avstånd från tunneln. För att ett detektionssystem ska anses vara ett tillförlitligt skydd får det heller inte finnas anslutande spår som inte är försett med en detektor. Bedömningen av nyttan med ett detektionssystem är subjektivt beslutat då det saknas vidare bedömningsunderlag.

Bedömningen av tunnelns aktiva skyddssystem inkluderar även åtgärder som kan vidtas för att skydda den yttre miljön från ett eventuellt utsläpp eller från använt brandvatten som används i samband med en räddningsinsats. De flesta tunnlar är försedda med ett dräneringssystem för att ta hand om vatten som läcker in i tunneln. Dessa dräneringsledningssystem kommer att leda ut vätskeformiga utsläpp och brandvatten och det finns därför skäl att bedöma om dessa system är utformade så de kan begränsa ett utsläpp. Det kan handla om att stänga dräneringssystemet eller att leda om dräneringen till en plats eller kassun där vatten och andra vätskor kan tas omhand. Tunnlar omfattas av krav

att kunna ta omhand brandfarliga vätskor i tunnelns VA-system (TRVINFRA-00233). Krav att även kunna ta hand om använt släckvatten finns dock inte idag men sammanfaller sannolikt med kravet på att ha hand om de brandfarliga vätskorna även om mängder att ta hand om kan vara olika. I äldre svenska krav från Banverket (BVH 541.3, 1993) anges att det ska finnas möjligheter att samla upp bland annat släckvatten i känsliga områden tex vid vattentäcker vilket sannolikt innebär att det kan finnas sådana system i äldre tunnlar.

Bedömningen av attributet baseras på nedanstående parametrar.

Aktiva brandbegränsande system

Beskrivning	Gradering AS
Trafikutrymmet är försett med brandgasventilation som kan aktiveras av drifttekniker från TC samt ett automatiskt släcksystem.	5
Trafikutrymmet är försett med brandgasventilation som kan aktiveras av drifttekniker från TC eller lokalt på platsen.	4
Trafikutrymmet är försett med ett automatiskt släcksystem.	4
Tunneln är inte försedd med något aktivt system för brandbegränsning	0

Med brandgasventilation avses system som ventilerar ut rök tex genom schakt eller med hjälp av brandgasfläktar, fläktsystem som förflyttar rök horisontellt tex via impulsfläktar eller vertikalt genom utsug via schakt.

System för trycksättning av sidoutrymme med nödlägesfunktion (inklusive eventuella slussar) ingår inte i bedömningen.

Kameraövervakning och lokalisering av stillastående tåg
(tågdetekteringssystem)

Beskrivning	Gradering StillTåg
Trafikutrymmet är i sin hela längd försett med kameraövervakning som automatiskt larmar drifttekniker i TC vid stillastående tåg.	5
Trafikutrymmet är i sin hela längd försett med kameraövervakning som kan aktiveras av drifttekniker i TC.	4
Trafikutrymmet är försett med system som kan lokalisera ett stillastående tåg i tunneln och som kan presenteras i TC. Precisionen är bättre än vad som erhålls med ATC.	4
Trafikutrymmet är försett med system som kan lokalisera ett stillastående tåg i tunneln och som kan presenteras i TC.	3
Trafikutrymmet är försett med system som kan lokalisera ett stillastående tåg i tunneln. Information ges enbart i anslutning till tunneln.	1
Trafikutrymmet är inte försett med system som kan lokalisera ett stillastående tåg i tunneln	0

Kameraövervakning förutsätts kunna lokalisera platsen för det stillastående tåget. Om tunneln är försedd med ett ERTMS signalsystem kan det förmodas att precisionen är bättre än för ATC-system.

Detektionssystem

Beskrivning	Gradering Det
Tunneln är försedd med ett system som kan detektera varmgång, hjulfel eller tjuvbromsning. Detektorer finns > 25 km innan tunneln i båda riktningarna ^{a)} .	5
Tunneln är försedd med ett system som kan detektera varmgång, hjulfel eller tjuvbromsning. Detektorer finns i båda riktningarna och < 25 km innan tunneln i minst en av riktningarna.	4
Tunneln är försedd med ett system som kan detektera varmgång, hjulfel eller tjuvbromsning. Detektorer finns > 25 km innan tunneln i någon riktning ^{a)} .	2
Tunneln är försedd med ett system som kan detektera varmgång, hjulfel eller tjuvbromsning. Detektorer finns < 25 km innan tunneln i någon riktning.	1
Tunneln är inte försedd med något system för varmgång, hjulfel eller tjuvbromsning.	0

^{a)}Sträcka som undersöks är från tunnel till plats där anslutande spår utan detektion förekommer.

Hantering av kontaminerat vatten eller utsläpp

Beskrivning	Gradering Tox
Tunneln har ett förberett dräneringssystem för att hindra att förorenat vatten i tunneln eller annat utsläpp når omgivande miljö.	5
Tunneln har ett förberett dräneringssystem för att hindra att förorenat vatten i tunneln eller annat utsläpp når omgivande miljö på en sida av tunneln.	3
Tunneln har inget förberett system för att hindra att förorenat vatten i tunneln eller annat utsläpp att nå omgivande miljö.	0

Systemet är avsett att hindra oönskat utsläpp av vatten från tunneln till den yttre miljön. Kan t.ex. vara separat kassun för uppsamling av vatten, omledning av dränvatten med filter, avstängning av avloppssystem för dränvatten eller liknande. Om tunnelns utformning i kombination med exempelvis avstängning av dräneringssystem vid en av mynningarna innebär att förorenat vatten inte når den yttre miljön från någon plats kan första alternativet användas. Exempel kan vara att tunneln lutar i en riktning.

$$\text{Attributvärde: } A_5 = 0,1 \cdot AS + 0,3 \cdot \text{StillTåg} + 0,5 \cdot Det + 0,1 \cdot Tox$$

5.3.6 Attribut 6: Vägar för utrymning

Säkerhet i infrastrukturer som byggnader och tunnlar fokuserar ofta på möjligheten att utrymma. För en järnvägstunnel innebär det att det ska finnas möjligheter att förflytta sig till fots till en säker plats och att det inte ska vara alltför långt till den säkra platsen. Utöver att tillgodose möjligheten att förflytta sig i tunneln ska det vara möjligt att orientera sig, då handlar det främst om vägledning och att det är tillräckligt upplyst. Dessa aspekter behandlas i attribut 7.

Grundläggande delar som omfattas är utformning av eventuella gångbanor till en utrymningsväg från trafikutrymmet, utformningen av eventuella dörrar som leder från trafikutrymmet samt utformningen av utrymmet efter en eventuell dörr från trafikutrymmet och utformningen av den säkra platsen.

Utformningen av gångbanan handlar främst om att bedöma hur lätt det är att förflytta sig längs spåren. Den vanligaste utformningen är att förflyttningen sker i nivå med spåren även om det finns fall där gångbanan är upphöjd till nivå med tågets utgångar. Denna lösning är ovanlig men underlättar sannolikt utrymningen från tåg till tunnel men innebär också svårigheter att förflytta sig mellan gångbanor på tunnelns båda sidor. Övergångar med trappsteg vid utrymningsvägar kan då underlätta.

Det har antagits att en bredare gångbana är mer gynnsam då den tillåter ett högre personflöde. Enligt TSD Säkerhet i järnvägstunnlar ska den hårdgjorda ytan för nya tunnlar vara minst 0,8 meter bred. Tidigare svenska regler (Tunnel 11 (2011) med hänvisning till TSD) har angett 0,75 m som minsta mått. I TRVINFRA-00233 anges att "Gångbanebredd ska vara bestämd utifrån behov vid utrymning" vilket kan innebära att gångbanan är 1,2 meter bred, ett mått som i tidigare regelverk (bland annat i TDOK 2015:0166 och BVH 585.30 från 2007) angetts som minsta mått för tunnlar längre än 500 meter. Det innebär att graderingen blir mer gynnsam för en kort tunnel som har breda gångbanor för utrymning. För att undvika oklarheter vid en mätning av bredden används värdet 1,15 meter som gränsvärde istället för 1,2 meter. I övrigt bedöms även förekomsten av ledstänger och ojämnheter eller uppstickande föremål i gångbanan.

Dörren som leder från trafikutrymmet bedöms främst med avseende på bredden. TSD Säkerhet i järnvägstunnlar anger en minsta bredd på 1,4 meter och att de ska vara försedda med panikregel. Breda dörrar är oftast svårare att hantera jämfört med något smalare vilket gör att dörrar mellan 1,0 meter och 1,25 meter bedöms vara mer gynnsamma än dörrar med andra bredder. Enligt praxis inom Trafikverket används därför ofta två

smalare dörrar (vardera ca 1,2 meter breda) som ersättning till en dörr med bredden 1,4 meter.

Det bedöms vara väsentligt att dörrarna är lätta att öppna vilket innebär att både traditionella handtag och så kallade panikreglar bedöms som likvärdiga. I enkelheten att passera dörren inkluderas även ojämnheter som trösklar vilka kan utgöra en svårighet för personer med funktionsnedsättningar samt dörrens slagriktning. Trösklar nämns dock inte i regelverken. Slagriktningen beaktas och det är vedertaget att dörrar som har ett dörrblad som enbart öppnar inåt är långsammare att passera även om senare forskning indikerar att så inte måste vara fallet (Forssberg m.fl., 2024). Tills vidare görs dock bedömningen att utåtgående dörrar är gynnsammare.

Efter personer passerat dörrar från trafikutrymmet bedöms främst möjligheten att förflytta sig vidare utifrån behoven för personer med funktionsnedsättningar. Det förutsätts vidare att personerna är i en säkrare miljö och mindre vikt läggs därför vid utformningen i utrymningsvägen och i ett sidoutrymme med nödlägesfunktion.

Det är också av intresse att se var personer som utrymmer slutligen hamnar i väntan på ytterligare transport från tunneln. Många tunnlar är placerade långt från tätbebyggda områden och personer kan behöva vänta på platsen för en vidare transport. Det är därför viktigt att se hur miljön de behöver vistas i ser ut om det finns en risk att väntetiden kan vara lång. Det ska också beaktas att en utrymning kan ske i dåligt väder, nattetid och likande. Möjligheten till ett väderskydd kan därför skapa den tillfredsställande miljön som behövs i väntan på transport. Väderskyddet kan exempelvis utgöras av en servicetunnel eller liknande.

Bedömningen av attributet baseras på nedanstående parametrar.

Avstånd mellan utrymningsvägar (inklusive tunnelns mynningar)

Beskrivning	Gradering Avst
< 250 m	5
250 m – 500 m	3
> 500 m	1

Om avståndet mellan utrymningsvägar varierar baseras graderingen på det längsta avståndet mellan utrymningsvägar.

Utformning av gångbana utmed spåren

Beskrivning	Gradering Gång
Gångbana utmed varje spår i trafikutrymmet, bredd minst 1,15 m i nivå med gångbanan, ledstänger finns som även indikerar när det finns en utgång, gångbanan är slät och utan uppstickande föremål (kanter, brunnslöck eller andra delar av konstruktionen). Om gångbanan är upphöjd och finns på båda sidor spåret är spårövergångar anpassade för att lätt ta sig över till andra sidan i höjd med utgångar från trafikutrymmet.	5
Gångbana utmed varje spår i trafikutrymmet, bredd minst 0,8 m i nivå med gångbanan, ledstänger finns som även indikerar när det finns en utgång, gångbanan är slät och utan uppstickande föremål (kanter, brunnslöck eller andra delar av konstruktionen). Om gångbanan är upphöjd och finns på båda sidor spåret är spårövergångar anpassade för att lätt ta sig över till andra sidan i höjd med utgångar från trafikutrymmet.	4
Gångbana utmed varje spår i trafikutrymmet, bredd minst 1,15 m i nivå med gångbanan, ledstänger finns, gångbanan är slät och utan uppstickande föremål (kanter, brunnslöck eller andra delar av konstruktionen)	4
Gångbana utmed varje spår i trafikutrymmet, bredd minst 0,8 m i nivå med gångbanan, ledstänger finns, gångbanan är slät och utan uppstickande föremål (kanter, brunnslöck eller andra delar av konstruktionen)	3
Gångbana utmed varje spår i trafikutrymmet, bredd minst 0,8 m i nivå med gångbanan men saknar ledstänger eller är ojämn och medför risk att snubbla	2
Gångbana är smalare än 0,8 meter eller har ett underlag av makadam	1

Med uppstickande föremål avses sådana som är högre än 1,5 cm över omkringliggande ytor.

Dörrar för utrymning från trafikutrymmet

Beskrivning	Gradering Dörr
Dörrar som används för utrymning är lätt öppningsbara och har lätt användbara beslag. Dörrar har vardera mellan 1,0 och 1,25 meter fri öppningsbredd.	5
Tunneln är så kort att dörrar för utrymning inte behöver finnas.	5
Dörrar som används för utrymning är lätt öppningsbara och har lätt användbara beslag. Dörrar har vardera mindre än 1,0 meter eller mer än 1,25 meter fri öppningsbredd. Dörren placeras indraget i förhållande till trafikutrymmets väggar.	3
Dörrar som används för utrymning är lätt öppningsbara och har lätt användbara beslag. Dörrar har vardera mindre än 1,0 meter eller mer än 1,25 meter fri öppningsbredd.	3
Dörrar som ska användas för utrymning är svåra att öppna på grund av att de kärvar eller är för tunga att öppna eller att beslagen inte fungerar som avsett.	1

Graderingen baseras på den dörr som leder till lägst gradering.

För dubbeldörrar räknas dörrbredden för enskilda dörrblad.

Med lätt öppningsbara dörrar avses att de kan öppnas med en kraft mindre än 130 N på öppningsbeslaget. Beslag ska kunna användas enkelt och kan exempelvis följa SS-EN 179 eller SS-EN 1125.

Tröskel är maximalt 25 mm hög i förhållande till marknivån utanför dörren. Högre tröskel innebär att graderingen minskas med ett steg, dock ska gradering vara lägst 0.

Dörr som används för utrymning förutsätts vara utåtgående i utrymningsriktningen från trafikutrymmet. Om dörren från trafikutrymmet är inåtgående mot trafikutrymmet minskas graderingen med ett steg. Övriga dörrar som passeras för att nå en säker plats får vara inåtgående utan att det påverkar graderingen.

Utrymningsväg och säker plats

Beskrivning	Gradering UtrVäg
Utrymning sker via sidoutrymme med nödlägesfunktion till säker plats och vägen ut är anpassad för personer med funktionsnedsättning.	4
Utrymning endast sker via mynningarna och tunneln uppfyller inte krav för ytterligare utrymningsvägar.	4
Utrymning sker genom intern passage direkt till säker plats från respektive utrymningsväg och vägen ut är anpassad för personer med funktionsnedsättning.	3
Utrymning sker via sidoutrymme med nödlägesfunktion till säker plats men vägen ut är inte anpassad för personer med funktionsnedsättning.	1
Utrymning sker genom intern passage direkt till säker plats från respektive utrymningsväg men vägen ut är inte anpassad för personer med funktionsnedsättning.	1

Säker plats avser den plats dit personer utrymmer och kan avvakta vidare åtgärder (slutgiltig säker plats enligt TSD). Platsen ses som lika med räddnings- och utrymningsplats när den är utanför tunneln.

Anpassning för personer med funktionsnedsättning förutsätter att nivåskillnader inte behöver ske via trappor och att gångvägar är hårdgjorda samt att det finns ledstänger vid nivåskillnader. Enstaka trappsteg är godtagbart.

Om vistelse på säker plats kan ske i ett väderskyddat utrymme som rymmer det antal personer som utrymmer via den aktuella utrymningsvägen får bedömningen ökas med ett steg. Exempel på väderskydd kan vara en parallell servicetunnel.

$$\text{Attributvärde: } A_6 = 0,4 \cdot \text{Avst} + 0,3 \cdot \text{Gång} + 0,2 \cdot \text{Dörr} + 0,1 \cdot \text{UtrVäg}$$

5.3.7 Attribut 7: Installationer för utrymning

Installationer för utrymning begränsas till de mest vanligt förekommande installationerna, belysning och vägledande skyltar. Det kan finnas andra system som har en vägledande funktion som exempelvis ljudfyror och utrymningslarm men dessa bedöms inte vara vanliga i järnvägstunnlar och har därför inte beaktats.

Belysningen i tunnlar är normalt sett inte tänd men behöver kunna tändas av personer som utrymt. Att hitta sådana tändningsknappar och att förstå att de tänder tunnelbelysningen är en viktig aspekt. Placering av dessa samt instruktionen är därför aspekter som inkluderats. Textens höjd bör vara 1:200 i förhållande till läsavståndet och en rubrik bör inte vara mindre än 3 cm (6 meters avstånd). Ytterligare förklarande texter kan ha mindre texthöjd och förutsätta ett kortare läsavstånd.

Belysning av allmänna ytor i trafikutrymmet och i eventuella sidoutrymmen med nödlägesfunktion är en viktig aspekt. Dessutom förekommer speciell utrymningsbelysning som särskilt belyser gångvägar för utrymning, dörrar för utrymning samt belysning av skyltar för vägledning. Utformningen av den särskilda utrymningsbelysningen kan variera men ska vara lågt placerad och det skiljs på om belysningen av gångvägarna är kontinuerlig eller med punktbelysning.

Allmänbelysningen av gångvägarna kan utgöras av den särskilda utrymningsbelysningens armaturer. Tunnlar som byggs idag ska normalt ha såväl allmänbelysning som lågt sittande utrymningsbelysning. Förekomsten av särskild utrymningsbelysning (evakueringsbelysning) var tidigare del av den så kallade tilläggsstandarden för tunnlar där normalstandarden inte räcker för att uppnå tillräcklig säkerhet och förekommer därför inte i vissa av dagens tunnlar.

Tillförlitligheten för belysningen är också väsentlig och förekomsten av nödbelysning som ger en avbrottsfri belysning ingår i bedömningen.

Förutom att säkerställa en god belysning bedöms även förekomsten av vägledande markeringar eller utrymningsskyltar. Dessa kan vara belysta eller av genomlyst typ. Om de är belysta kan det vara via allmänbelysning eller särskilda armaturer som belyser själva skylten. Genomlysta skyltar har en belysning bakom skylten. Kraven i TRVINFRA-00233 skiljer inte på dessa två typer av skyltar men det är belagt att genomlysta skyltar har en bättre förmåga att upptäckas.

Skyltarna kan förutom att informera om riktningen till en utrymningsväg även ange avståndet till de närmaste utgångarna. Detta kan underlätta för personer som utrymmer att välja utrymningsriktning. För att personerna

inte ska behöva gå långt och sedan vända om ska skyltarna inte vara placerade för långt från varandra.

Normalt är det krav på nödströmförsörjning för belysning av allmänna ytor och för belysning av skyltar för utrymning, släckredskap mm. I BVH 541.3 från 1993 anges att avståndet mellan skyltar ska vara mindre än 100 meter vilket i senare regelverk är reducerat till 50 meter (BVH 585.30, 2007). Skyltar placeras i vissa tunnlar växelvis på tunnelns båda sidor, i ett sådant fall kan skyltarna vara placerade med 100 meters avstånd på vardera sidan vilket innebär att det ändå blir 50 meter mellan skyltarna även om de inte sitter på samma sida.

Bedömningen av attributet baseras på nedanstående parametrar.

Belysning av gångvägar för utrymning i trafiktunnel och sidoutrymme

Beskrivning	Gradering Bel
Trafikutrymme och sidoutrymme med nödlägesfunktion är försett med belysning av gångvägar för utrymning som kan tändas både lokalt och från TC. Lokala tändknappar ska finnas minst i anslutning till utgång från trafikutrymmet och vara försedda med en tydlig skylt som informerar om att knappen tänder tunnelns belysning.	5
Trafikutrymme och sidoutrymme med nödlägesfunktion är försett med belysning av gångvägar för utrymning som kan tändas lokalt. Lokala tändknappar ska finnas minst i anslutning till utgång från trafikutrymmet och vara försedda med en tydlig skylt som informerar om att knappen tänder tunnelns belysning.	4
Trafikutrymme och sidoutrymme med nödlägesfunktion är försett med belysning av gångvägar för utrymning som kan tändas lokalt. Lokala tändknappar ska finnas minst i anslutning till utgång från trafikutrymmet. Skylt som informerar om att knappen tänder tunnelns belysning saknas eller har otydlig/liten text.	3
Trafikutrymme och sidoutrymme med nödlägesfunktion är försett med belysning av gångvägar för utrymning som kan tändas lokalt. Tändknappar finns i begränsad omfattning.	2
Trafikutrymme eller sidoutrymme med nödlägesfunktion saknar belysning.	0

En tydlig skylt är konstant belyst eller försedd med belysning så den kan hittas och innebörden förstås. Text ska vara minst ca 3 cm hög.

Belysningsstyrkan bör vara minst 3 lux på sämsta platsen.

Belysning av gångvägar för utrymning får erhållas genom lågt placerade armaturer för utrymningsbelysning.

Utrymningsbelysning

Beskrivning	Gradering Ubel med nödströmfunktion
Gångvägar för utrymning belyses särskilt. I trafikutrymmet utformas denna som kontinuerlig inbyggd belysning i tunnelns ledstänger. Dörrar för utrymning belyses med vitt ljus. Dörrar för utrymning markeras med grönt ljus.	5 (3)
Gångvägar för utrymning belyses särskilt. Denna utformas med regelbundet återkommande belysningsarmaturer som belyser gångvägar för utrymning. Dörrar för utrymning belyses med vitt ljus. Dörrar för utrymning markeras med grönt ljus.	4 (2)
Gångvägar för utrymning belyses särskilt. Denna utformas som kontinuerlig inbyggd belysning i tunnelns ledstänger men dörr för utrymning saknas.	5 (3)
Gångvägar för utrymning belyses särskilt. Denna utformas med regelbundet återkommande belysningsarmaturer som belyser gångvägar för utrymning men dörr för utrymning saknas.	4 (2)
Gångvägar för utrymning belyses särskilt. Eventuella dörrar för utrymning belyses med vitt ljus eller markeras med grönt ljus.	3 (1)
Gångvägar för utrymning belyses med utrymningsbelysning och/eller allmänbelysning.	2 (0)
Tunneln saknar utrymningsbelysning.	0 (0)

Med utrymningsbelysning av gångvägar avses lågt placerad belysning som riktas mot gångvägar som förväntas användas vid utrymning samt vid eventuella spårövergångar i samband med upphöjda gångbanor. Belysningen kan utgöras av punktbelysning eller kontinuerlig LED-armatur i ledstänger.

Med nödströmfunktion avses strömförsörjning som aktiveras om den ordinarie strömförsörjningen till tunneln uteblir. Om nödströmfunktion av belysningen saknas används värden inom parenteser.

Utrymningsskyltar mm (vägledande markeringar)

Beskrivning ^{a)}	Gradering för genomlyst Skylt	Gradering för belyst Skylt
Vägledande skyltar för utrymning är placerade ovanför dörrar för utrymning. Vägledande skyltar för utrymning är placerade på väggar i trafikutrymmet med maximalt 55 meter mellanrum ^{b)} . Skyltar på väggar har information om avstånd till de två närmaste utgångarna från trafikutrymmet.	5 (3)	4 (2)
Vägledande skyltar för utrymning är placerade ovanför dörrar för utrymning. Vägledande skyltar för utrymning är placerade på väggar i trafikutrymmet med maximalt 55 meter mellanrum ^{b)} . Skyltar på väggar saknar information om avstånd till de två närmaste utgångarna.	3 (1)	2 (0)
Vägledande skyltar för utrymning är placerade ovanför dörrar för utrymning. Skyltar för utrymning på trafikutrymmets väggar saknas.	2 (0)	1 (0)
Vägledande skyltar ovanför dörrar för utrymning saknas.	0 (0)	0 (0)

Det förutsätts att belysning för utrymningsskyltar mm är försedda med nödströmfunktion. Med nödströmfunktion avses strömförsörjning som aktiveras om den ordinarie strömförsörjningen till tunneln uteblir. Om nödströmfunktion av belysningen saknas används värden inom parenteser.

^{a)} Tunnel som är så kort att dörrar för utrymning inte behövs, graderas enbart efter förekomsten av vägledande markeringar för utrymning som finns på väggarna i trafikutrymmet.

^{b)} Om avståndet på en och samma sida är mer än 55 meter, minska bedömningsvärdet med ett steg. Lägsta parametervärdet ska vara 0.

Belysning av utrymningsskyltar ska vara ständigt tänd.

Med belyst avses skylt med armatur som specifikt belyser skylten, inte enbart belyst via allmänbelysning. Med genomlyst skylt avses skylt som belyses bakifrån så att skylten i sig emitterar ljus. Skylt som belyses via skyltens kant betraktas som belyst.

Dörr i indraget utrymme ska vara försedd med vägledande skylt för utrymning som är synlig från gångvägen för utrymning. Sådan skylt betraktas som skylt över dörr för utrymning.

Attributvärde: $A_7 = 0,1 \cdot Bel + 0,4 \cdot Ubel + 0,5 \cdot Skylt$

5.3.8 Attribut 8: Räddningstjänst

I samband med en olycka i en tunnel kommer den kommunala räddningstjänsten att bistå insatsen. En sådan insats sker i samarbete med Trafikverket som har en olycksplatsansvarig person. Räddningstjänstens förmåga att bedriva insatsen beror på en rad faktorer och det är generellt sett svårt att fastställa graden av förmåga eller nytta. Därför fokuseras bedömningen av räddningstjänstens bistånd i form av vilken typ av räddningsstyrka som kommer till platsen, hur förberedd räddningsstyrkan är och vilka förutsättningar det finns på platsen för att bedriva en insats. De förutsättningar som avses omfattar bland annat utformning och förekomst av platsen varifrån räddningsinsatsen bedrivs, möjligheterna till kommunikation för de olika räddningsenheterna samt tillgången till vatten på den aktuella platsen för att kunna genomföra en släckinsats eller liknande. Räddningsinsatsens förutsättningar beskrivs utifrån Trafikverkets perspektiv i en räddningsplan (TDOK 2024:0027) och denna ingår som en bedömning av attribut 9.

Det ska sägas att insatsen sannolikt beror på en rad andra faktorer som egen ledningsberedskap, förmåga att anpassa insatsen till de rådande förutsättningarna samt möjligheter att bygga upp resurser, egna och andras, som behövs för att kunna genomföra en insats, speciellt om den är utdragen i tid och konsekvensen omfattande.

När det gäller att bedöma den initiala insatsen graderas den första parametern med avseende på om den första styrkan är en heltidsstyrka eller en deltidstyrka. Det kan förmodas att en räddningstjänst med en heltidsstyrka har bättre förutsättningar att inleda en insats och att det kan ske kortare tid efter att styrkan alarmerats med i övrigt lika förhållanden.

Den inledande insatsen bedöms också bero på hur lång tid som förflyter från alarmeringen till att styrkan är på plats och hur förberedda de då är. Insatstiden 30 minuter är vald baserat på en undersökning inom projektet där 27 tunnlar insatstid dokumenterades. Variationen är relativt stor och beror på om tunneln är belägen nära tätbebyggt område eller inte. Tiden kan variera mellan <10 minuter till över en timma i några fall. Ett rimligt gränsvärde bedöms ligga kring 30 minuter då räddningstjänsten har hunnit fram och påbörjat sin insats. Förberedelse kan innefatta att det finns aktuella insatsplaner som räddningstjänsten har tillgång till och att räddningstjänsten har kunskap om tunneln och dess förhållanden. Insatsplaner är något som anläggningsägaren ansvarar för och bedöms under det följande attributet. Insatsplanen bör utvecklas i samråd med räddningstjänsten och de bör även ha tillgång till den. Vidare kan räddningstjänsten förbereda sig genom att orientera sig på platsen även om de saknar insatsplanen.

Platsen varifrån insatsen genomförs kallas för utrymnings- och räddningsplats och ska vara förberedd för att kunna fungera som en plats där räddningsinsatsen kan ledas från. Tunnlar kan ha varierande förutsättningar att åstadkomma en utrymnings- och räddningsplats men det väsentliga är om den finns och om den kan rymma en viss mängd fordon. För kortare tunnlar anges inget krav (TSD Säkerhet i järnvägstunnlar) på att det ska finnas en utrymnings- och räddningsplats men inget hindrar att den ändå installeras. Avsaknaden av en sådan plats kan även i viss mån ersättas av en körbar väg till en tunnelmynning, en utformning som är mindre lämplig men som ändå har ett visst värde. Det förutsätts att vägar är körbara även under vintertid.

I anslutning till en utrymnings- och räddningsplats kan det även finnas viss lokalt placerad utrustning som exempelvis transportvagnar (trallor), jordningsutrustning, bårar, slangar och annan utrustning för brandvattenförsörjning som ska kunna användas av räddningstjänsten och andra aktörer. Denna typ av utrustning har dock inte inkluderats i bedömningen då värdet av den är svår att bedöma.

För en effektiv insats krävs en fungerande kommunikation. Flera längre tunnlar utrustas med Rakelräckning, ett system för kommunikation och samverkan mellan aktörer som är involverade inom bland annat räddningstjänst. Rakelsystemet kan ha olika teknisk utformning som resulterar i olika grad av tillförlitlighet och kapacitet (MSB, 2019). Längre och modernare tunnlar har redundanta system och använder antensystem med dubbla läckande kablar som förläggs i trafikutrymmet och i kringliggande utrymmen. För att Rakelsystemet ska kunna användas krävs att den lokala räddningstjänsten också använder systemet vilket sker i varierande utsträckning. Det är vanligt att kommunikationen mellan räddningsinsatsens ledare och en insatsledning uppåt i hierarkin sker med Rakel men att kommunikationen i själva trafikutrymmets mellan till exempel rökdykare och rökdykarledaren sker med räddningstjänstens analoga radiosystem. Graderingens lägsta nivå beskrivs med att Rakelsystem saknas eller täckningen är oklar men graderingen sätts ändå till 1 och inte till noll. Motivet är att räddningstjänsten trots detta har tillgång till ett eget radiosystem som kan användas.

Slutligen behöver en räddningsinsats ofta tillgång till släckvatten och tillgången till denna kan variera mellan olika tunnlar. Flera moderna har förberedda rörsystem med uttag på flera ställen i trafiktunneln eller i ett sidoutrymme med nödlägesfunktion. Det finns även krav i TSD om att tunnlar som ska ha en utrymnings- och räddningsplats även ska ha tillgång till släckningsvatten med viss lägsta kapacitet. Kravet har varit

aktuellt sedan flera år tillbaka (BVH 541.3 från 1993) och omfattar således flera existerande tunnlar.

Bedömningen av attributet baseras på nedanstående parametrar.

Första insatsstyrka

Beskrivning	Gradering Första
Första styrka som anländer är från en heltidsstation och är på plats inom 30 minuter. Den lokala räddningstjänsten har besökt platsen under de senaste två åren.	5
Första styrka som anländer är från en heltidsstation och är på plats inom 30 minuter. Den lokala räddningstjänsten har inte besökt platsen under de senaste två åren.	3
Första styrka som anländer är från en deltidstation och är på plats inom 30 minuter. Den lokala räddningstjänsten har besökt platsen under de senaste två åren.	3
Första styrka som anländer är från en deltidstation och är på plats inom 30 minuter. Den lokala räddningstjänsten har inte besökt platsen under de senaste två åren.	2
Första styrkan är inte på plats inom 30 minuter.	1

Räddningstjänstens besök på platsen kan avse annan tunnel om förutsättningarna är lika. Ett järnvägsstråk kan ha flera tunnlar byggda samtidigt och med liknande förutsättningar.

Utrymnings- och räddningsplats

Beskrivning	Gradering UoR
Tunneln har tillgång till utrymnings- och räddningsplats vid båda mynningarna och storleken på dessa är tillräckliga.	5
Tunneln har tillgång till utrymnings- och räddningsplats vid båda mynningarna men storleken på en av dessa är inte tillräcklig.	4
Tunneln har tillgång till en utrymnings- och räddningsplats vid en av mynningarna och storleken på denna är tillräcklig.	3
Utrymnings- och räddningsplats vid tunnelns mynningar saknas eller är för små men det finns körbar väg till minst en mynning.	1
Utrymnings- och räddningsplats vid tunnelns mynningar saknas och det saknas körbar väg till mynningarna.	0

Utrymnings- och räddningsplatsen förutsätts vara placerad utanför tunnelmynningen. En av utrymnings- och räddningsplatserna vid en mynning kan ersättas av sådan plats med annan lokalisering om det kan förmodas att den kan ge motsvarande säkerhetsnivå som om den placerades i anslutning till mynning. Med tillräcklig storlek avses att det ska finnas plats att ställa upp tre räddningsfordon och det ska finnas plats att vända mindre fordon som en

ambulans. Det ska finnas plats för personer som utrymt från tunneln. Det innebär samtidigt att det ska finnas körbar väg till platsen.

Räddningstjänstens möjlighet till kommunikation

Beskrivning	Gradering Radio
Rakeltäckning finns och rökdykare använder Rakel. Rakel via läckande kabel och Rakel är utfört med redundant system.	5
Rakeltäckning finns och rökdykare använder Rakel. Rakel via läckande kabel, ej redundant Rakel-system.	4
Rakeltäckning finns men rökdykare använder analog radio. Rakel via läckande kabel. Analog radio har fasta antenner i trafikutrymmet.	4
Rakeltäckning finns men rökdykare använder analog radio. Rakel via läckande kabel. Analog radio har inga förberedelser i trafikutrymmet.	2
Rakeltäckning finns men ej med läckande kabel.	2
Rakeltäckning saknas eller är oklar.	1

Kommunikation med radio avses fungera i trafikutrymme, sidoutrymme med nödlägesfunktion och vid utrymnings- och räddningsplatser när sådana finns.

Tillgång till släckvatten

Beskrivning	Gradering Vatten
Fast rörsystem med trycksättningspumpar som startas lokalt eller på distans och vatten finns på platsen (minst vid en sida av tunneln)	5
Fast rörsystem som kräver anslutning av räddningstjänstens utrustning finns och det finns tillgång till vatten på platsen (minst vid en sida av tunneln)	4
Fast rörsystem som kräver anslutning av räddningstjänstens utrustning finns men oklar vattentillgång eller via räddningstjänsten	3
Inget fast rörsystem för släckvatten finns men tillgång till vatten på platsen	2
Inget fast system finns och inget vatten finns på platsen.	0

Lokalt rörsystem förutsätts vara med aktuella anslutningskopplingar och vara i gott skick. Anslutningar för uttag av vatten från rörsystemet ska finnas i trafikutrymmet eller i utrymme nära passage in till trafikutrymmet. Fast rörsystem som kräver anslutning av räddningstjänstens utrustning avser även kortare rörsystem som finns i anslutning till dörrar mellan servicetunnel och trafikutrymme. Sådant rörsystem kan leda vatten till trafikutrymmet utan att dörrar behöver vara öppna.

Det förutsätts vidare att rör och armaturer för släckvatten som kan innehålla kvarstående vatten eller är permanent vattenfyllda är skyddade mot frysning (värmeelement finns). I annat fall anses det vara lika som att fast rörsystem saknas.

Attributvärde: $A_8 = 0,4 \cdot \text{Första} + 0,3 \cdot \text{UoR} + 0,2 \cdot \text{Radio} + 0,1 \cdot \text{Vatten}$

5.3.9 Attribut 9: Organisatoriska skyddsåtgärder

Attributet syftar till att bedöma hur Trafikverkets interna organisation kan bidra till att förhindra att en olycka sker och om den skulle inträffa hur den i så fall kan hanteras. Attributet är främst knutet till Trafikcentralens förutsättningar att kunna arbeta skadeavhjälpande vilket beror på Trafikcentralens bemanning och vilka funktioner i tunneln som kan övervakas och fjärrstyras. För att en sådan insats från Trafikcentralen ska ha förutsättningar att vara värdefull behöver det även finnas förberedda beredskapsplaner eller åtgärdsplaner som kan användas vid en olycka. Sådana kan vara antingen generella för tunnlar eller vara specifikt anpassade efter en viss tunnels förutsättningar. De anläggningsspecifika åtgärdsplanerna är sannolikt mer omfattande och hanterar driftstörningar och nödsituationer (minimikrav för drift, systembeskrivningar, driftinstruktioner och åtgärdsplaner). Dessa tunnlar hanteras också av drifttekniker med en särskild tunnelkompetens, påbyggnadsutbildning tunnel. Styrning och/eller övervakningen av installationerna i tunneln samt åtgärdsplanerna behövs sannolikt för att kunna tillgodose tunnelns säkerhetskoncept.

Enligt TSD Säkerhet i järnvägstunnlar ska det för längre tunnlar (> 1 km) finnas en räddningsplan som enligt TRVINFRA-00233 och TDOK 2024:0027 ska innehålla en insatsplan. Även för kortare tunnlar kan en liknande förberedelse vara av nytta och så speciellt en aktuell insatsplan. Eftersom insatsplanen, enligt TRVINFRA-00233, ska utvecklas i samarbete med räddningstjänsten kan det förmodas att räddningstjänsten har tillgång till en insatsplan. Det som är väsentligt är att planer som bedöms ska vara aktuella och uppdaterade.

En insats i en järnvägstunnel är sannolikt en komplicerad insats att hantera med krav på samverkan mellan en rad aktörer. För en god säkerhet är därför en fördel om det sker övningar med inblandade aktörer. Att det ska ske övningar utgår från Trafikverkets rutinbeskrivning om systematiskt brandskyddsarbete (TDOK 2023:0191) och hur det bör ske anges i TDOK 2023:0185. Beroende på bland annat tunnelns längd och dess komplexitet ska ett övningsbehov fastställas. Detta ligger sedan till grund för utformningen av övningar vilka kan ske i olika grad av omfattning från en enklare orientering på platsen till en fullskalig övning med flera aktörer involverade.

En del i det förebyggande arbetet med att förhindra olyckor och driftstörningar är att det sker ett systematiskt och dokumenterat underhåll av hela infrastrukturen. Hela funktionen för drift- och underhållsfunktioner är en omfattande verksamhet och bedömningen baseras därför främst övergripande på hur arbetet med dessa funktioner

bedrivs, inte specifikt på vad de innehåller. En stor del är den tillståndsbedömning som regelbundet sker för olika komponenter i tunneln och dess närhet. Arbetet genomförs i enlighet med givna styrdokument, helt beroende på vilken typ av inspektioner som sker. En väsentlig form av inspektion är den inspektion som sker av byggnadsverket enligt TRVINFRA-00215 Inspektion av tunnel och bergkonstruktioner. Resultatet och uppföljningen av denna utgör därför grunden för att bedöma drift- och underhållsfunktionen.

En annan inspektion som ingår i bedömningen är arbetet med Säkerhetsbesiktning - Byggnadsverk järnvägstunnel, bergskärning och stödmur (TDOK 2021:0479) som inkluderar kontroll av flera av tunnelns installationer. Exempel på installationer som ska kontrolleras är belysning, skyltar, ledstänger, och sidoutrymme med nödlägesfunktion. Hur ofta säkerhetsbesiktningar sker och hur resultaten från dessa hanteras ingår i bedömningen av parametern. Denna parameter förutsätter en viss grad av kvalitativ bedömning vilket är oundvikligt.

Bedömningen av attributet baseras på nedanstående parametrar.

Trafikcentralens förutsättningar att begränsa en olyckas konsekvenser.

Beskrivning	Gradering TC
Tunneln har tekniska system vars funktion övervakas och kan fjärrstyras. Tunneln har dokumenterade anläggningsspecifika åtgärdsplaner för hantering av nödlägen. Tunneln hanteras av drifttekniker med speciell tunnelkompetens.	5
Tunneln har tekniska system vars funktion övervakas och kan fjärrstyras. Tunneln har dokumenterade anläggningsspecifika åtgärdsplaner för hantering av nödlägen. Tunneln hanteras av drifttekniker eller eldriftingenjör.	4
Tunneln har enklare tekniska system som indikerar larm och fel men som också i viss mån kan fjärrstyras och hanteras av drifttekniker eller eldriftingenjör. Dokumenterade åtgärdsplaner finns.	3
Tunneln har enklare tekniska system som indikerar larm och fel men som också i viss mån kan fjärrstyras och hanteras av drifttekniker eller eldriftingenjör. Dokumenterade åtgärdsplaner saknas.	1
Tunneln har enklare tekniska system som indikerar larm och fel som kan hanteras av drifttekniker eller eldriftingenjör. Dokumenterade åtgärdsplaner finns.	2
Tunneln har tekniska system som inte indikerar vare sig larm eller fel som kan hanteras av drifttekniker eller eldriftingenjör.	0
Tunneln saknar tekniska system.	0

Med system för nödlägen vars funktion övervakas och kan fjärrstyras avses sådana som har en mer utvecklad och funktionsanpassad övervakning med möjlighet till styrning av inbyggda system. Systemen förutsätts vara aktuella för att hantera en olyckssituation och inkluderar t ex belysning, kameror, tryckhöjningspumpar, fläktar, tåglokaliseringssystem, detektion för varmgång och brandlarm. Fundamentalt för systemen är att de ingår som aktiva komponenter i anläggningens säkerhetskoncept. Sådana system finns idag i följande tunnlar Citytunneln, Hallandsås, Citybanan, Strängnästunneln och Krokängstunneln.

Enklare tekniska system kan indikera fel och exempelvis ange tågposition i tunneln. Systemet kan även medge en viss fjärrstyrning som att tända belysning och starta tryckhöjningspumpar. Andra enklare tekniska system kan enbart ge information utan möjligheter till aktiva åtgärder från TC kopplade till de tekniska systemen. Indikationerna kan dock ge möjlighet till åtgärder som inte involverar de tekniska systemen.

Tekniska system i detta fall avser inte t ex trafikledningssystem eller utrustning för strömförsörjning av tåg.

Planering för olyckshändelse

Beskrivning	Gradering Plan
Räddningsplan inkl insatsplan, fastställda anvisningar för övningsverksamhet samt en riskbedömning finns. Räddningsplanen är uppdaterad.	5
Räddningsplan finns och innehåller en insatsplan och en riskbedömning. Räddningsplanen är uppdaterad.	4
En insatsplan finns som är dokumenterad och uppdaterad. Tunneln är kortare än 1 km.	4
Insatsplan finns som är dokumenterad och uppdaterad.	3
Ingen planering finns dokumenterad eller befintlig insatsplan är inte uppdaterad.	0

Räddningsplanen förutsätts vara utformad enligt TDOK 2024:0027. Med uppdaterad dokumentation avses att den stämmer med gällande förutsättningar och att ändringar för tunneln ej skett utan att dokumentationen uppdaterats. Det förutsätts att insatsplanen finns tillgänglig hos den kommunala räddningstjänsten, om inte bedöms parametern som att en insatsplan saknas.

Övningsverksamhet

Beskrivning	Gradering Övning
Tunnelns övningsbehov är fastställt, dokumenterat och övningar sker enligt denna plan och involverar även externa aktörer. Övningar är utvärderade.	5
Tunnelns övningsbehov är fastställt, dokumenterat och övningar sker enligt denna plan och involverar även externa aktörer.	4
Tunnelns övningsbehov är inte fastställt eller dokumenterat men övningar sker och involverar även externa aktörer. Senaste övningen inkluderande externa aktörer har genomförts under de senaste fem åren.	3
Tunnelns övningsbehov är inte fastställt eller dokumenterat men övningar sker vid behov. Senaste övningen har genomförts under de senaste fem åren.	2
Övning har skett men inte under de senaste fem åren.	1
Övning har inte skett eller är okänt.	0

Med fastställt övningsbehov avses det som anges i TDOK 2023:0185.

Drift- och underhållsfunktioner

Beskrivning	Gradering DoU	
	Grön/orange ¹⁾	Orange/röd
Säkerhetsbesiktning, övrigt underhåll samt åtgärder av akuta händelser.		
Förebyggande underhåll fungerar väl och kännetecknas av: - Säkerhetsbesiktning har de senaste två åren skett minst två gånger per år. - Data om anläggning och kompletterande D&U-instruktioner finns i erforderlig utsträckning, efterlevs och anmärkningar åtgärdas i enlighet med gjord klassificering av besiktningsanmärkningar. Akuta fel rapporterade i Ofelia åtgärdas omgående.	5	2
Brister i förebyggande underhåll exempelvis: - Säkerhetsbesiktning sker men inte så frekvent som det ska. - Information (data) om vissa komponenter saknas helt i anläggningsregister. - D&U-instruktioner saknas eller efterlevs inte fullt ut för system som kräver detta, t.ex. fläktar, brandlarm, brandvatten - Besiktningsanmärkningar klassificerade som B- eller M-anmärkningar noteras men åtgärdas inte (återkommer vid efterföljande besiktningar) Akuta fel rapporterade i Ofelia åtgärdas omgående.	3	1
Stora brister i förebyggande underhåll exempelvis: - Besiktningsanmärkningar klassificerade som Akut eller V-anmärkningar åtgärdas ej. - Dokumentation avseende D&U saknas - Tunnel saknar helt komponentdata i anläggningsregister - Uppenbart att krav på förebyggande UH ej efterlevs/sköts Akuta fel rapporterade i Ofelia åtgärdas ej omgående	1	0

Med inspektion av byggnadsverk avses inspektion enligt TRVINFRA-00215

Inspektion av tunnel och bergkonstruktioner som redovisas i BATMAN för aktuell tunnel. Bedömningen av färgkoderna sker för kategorierna 'Grunduppgifter' och 'Förvaltningsaktiviteter' i BATMAN. Kategorin 'Klart för fastställelse' ingår inte i bedömningen.

¹⁾ Får vara orange för Förvaltningsaktiviteter "Mindre än 1 år till nästa inspektion ska genomföras" om inspektionen är planerad.

Med säkerhetsbesiktning avses besiktning enligt TDOK 2021:0479

Säkerhetsbesiktning - Byggnadsverk järnvägstunnel, bergskärning och stödmur.

Säkerhetsbesiktning och underhåll av installationer planeras och genomförs mha BESSY eller motsvarande system.

Med akuta fel i rapporteringssystemet Ofelia avses sådana som har en direkt påverkan på trafiksäkerheten såsom omfattande isbildning på spår och nedfallande föremål i tunneln

Attributvärde: $A_9 = 0,2 \cdot TC + 0,1 \cdot Plan + 0,2 \cdot Övning + 0,5 \cdot DoU$

5.3.10 Attribut 10: Externa faror

Förutom de mer trafik- och tunnelrelaterade farorna som kan leda till olyckor i järnvägstunneln finns ett antal faror som mestadels ligger utanför Trafikverkets kontroll. Däremot kan åtgärder för att hantera dessa faror vara aktuella för Trafikverket. Olyckor som involverar tredje man kan vara orsakade av att obehöriga personer vistas på spåret eller i utrymmen som angränsar till trafikutrymmet. Förutom olycksrisken leder denna aktivitet även till att trafiken begränsas och kan leda till störningar i samhället. Närvaron av obehöriga personer som vistas i tunnelmiljön beror på om tunneln är lokaliserad på platser i närheten av exempelvis tätorter, hållplatser eller andra ställen där det vistas personer eller om tunnelmiljön är utformad med skydd för möjligheten att komma in i de aktuella utrymmena. I närheten av samhällen och liknande kan stängsel eller detektionssystem för att upptäcka intrång vara åtgärder som kan övervägas.

Andra faror som kan leda till olyckor är om det finns risk för översvämningar i tunnelns närhet. En relaterad olyckstyp är risken för ras och skred. Översvämningsrisken syftar främst till att identifiera platser där vattenståndet i vattendrag, sjöar eller liknande kan bli så högt att det når över rälsen och kan bedömas med exempelvis översvämningsskarteringar som Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB, 2017) tagit fram. Sådana finns dock inte för alla tunnlar.

Risken för ras och skred förväntas främst ske i samband med kraftig nederbörd som gör att marken mättas med vatten och som därmed kan leda till att jordmassor flyttar på sig. Möjligheten att ras och skred kan inträffa påverkas av flera faktorer bland annat markens beskaffenhet och hur marken lutar i närheten av tunneln. Det ska nämnas att det råder stora osäkerheter kring förekomsten av ras och skred och bedömningen av risken bygger främst på en uppskattning grundad i några olika markförhållanden (höjder och lutningar) i anslutning till spåren. Då markförhållanden varierar längs med spåret finns det också möjligheter till en ytterligare bedömning för att ras och skred sannolikt inte förekommer. Skarteringar från MSB eller från Statens geotekniska institut (SGI) kan också användas som underlag.

Placeringen av tunneln kan även påverka konsekvensen utanför en tunnel exempelvis i tätbebyggt område där många boende kan drabbas av en Farligt gods-olycka förväntas vara allvarigare jämfört med om olyckan sker utanför tätbebyggt område. Dock görs ingen sådan bedömning av olyckor som exponerar områden utanför tunneln även om olyckan i tunneln är källan till exponeringen.

Bedömningen av attributet baseras på nedanstående parametrar.

Obehöriga personer

Beskrivning	Gradering Obehör
Båda mynningarna är placerad över 1 km från tättbebyggt område, plankorsning, station eller hållplats.	5
Någon av tunnelns mynningar är placerad mindre än 1 km från tättbebyggt område, plankorsning, station eller hållplats men är försedd med system som varnar TC om obehöriga vistas i trafikutrymmet.	5
Någon av tunnelns mynningar är placerad mindre än 1 km från tättbebyggt område, plankorsning, station eller hållplats men är försedd med staket eller motsvarande på ömse sidor om spårområdet minst 500 m från vardera tunnelmynningen.	3
Någon av tunnelns mynningar är placerad mindre än 1 km från tättbebyggt område, plankorsning, station eller hållplats och saknar skydd mot intrång eller system för upptäckt av obehöriga personer i tunneln.	0

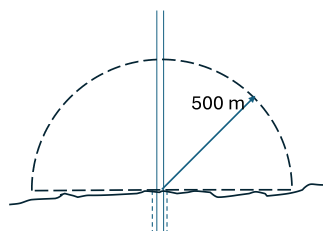
Med system som varnar avses kameror, värmekameror eller likande med inbyggd automatik som ger en snabb varning till TC. Övrig kameraövervakning räknas inte som system för att detektera obehöriga personer i tunneln.

Skador på grund av oönskat vatten på mark (översvämning)

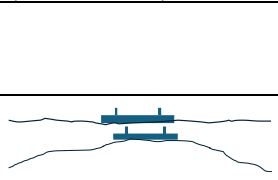
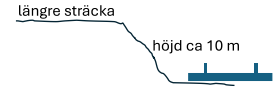
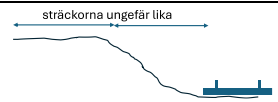
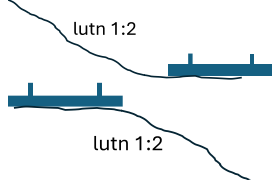
Beskrivning	Gradering Markvatten
Naturligt vattendrag , sjö eller motsvarande finns inte inom 500 meter från tunnelmynning	5
Naturligt vattendrag, sjö eller motsvarande finns inom 500 meter från tunnelmynning men högsta bedömda vattenyta är lägre än RÖK och trumma under banvall för hantering av ytvatten finns inom 500 meter från tunnelmynning	4
Naturligt vattendrag, sjö eller motsvarande finns inom 500 meter från tunnelmynning men högsta bedömda vattenyta är lägre än RÖK och trumma under banvall för hantering av ytvatten finns inte inom 500 meter från tunnelmynning	3
Naturligt vattendrag, sjö eller motsvarande finns inom 500 meter från tunnelmynning och högsta bedömda vattenyta är högre än RÖK och trumma under banvall för hantering av ytvatten finns inom 500 meter från tunnelmynning	2
Naturligt vattendrag, sjö eller motsvarande finns inom 500 meter från tunnelmynning och högsta bedömda vattenyta är högre än RÖK och trumma under banvall för hantering av ytvatten finns inte inom 500 meter från tunnelmynning	1

Med bedömd vattenyta avses medelnivån skapad av 200-årsflödet vid översvämningskartering.

Underlag för bedömning av risk för översvämning av vattendrag finns bland annat på <https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farlīga-amnen/naturolyckor-och-klimat/översvämning/>



Skador på grund av ras eller skred (orsakat av hastigt uppkommande strömmande vatten)

Beskrivning	Exempel på utformning (sektionsskiss)	Gradering Ras
Uppenbart låg risk. Tunneln är placerad på sådant sätt att det är uppenbart att ras och skred inte utgör ett problem.		5
Mindre höjdskillnader. Ex: spårområdet ligger på samma nivå som omgivande markyta eller upphöjd med svag lutning åt båda hållen (mindre än 1:2).		5
Mindre schaktad nedsänkning av spåret: Ex: mindre höjdskillnad (ca 10 meter) nära spåret och sedan relativ plan mark ovanför. Den plana delen utgör den längre sträckan.		5
Mindre schaktad nedsänkning av spåret: Ex: mindre höjdskillnad (över 10 meter) nära spåret och sedan relativ plan mark ovanför. Den plana delen utgör den längre sträckan.		4
Lutning nära spåret i kombination med horisontell del. Ex: mindre höjdskillnad nära spåret och sedan relativ plan mark ovanför. Den plana delen och den lutande delen är ungefär lika långa.		3
Lång lutning med buffert nära spåret. Ex: lång lutning över 1:2 men horisontell del närmast spåret med väg, buskage mm samt ett dike.		3
Lång lutning nära spåret. Ex: lång lutning över 1:2 i någon riktning.		1

Bedömningen gäller för den mynning som har de sämsta förutsättningarna avseende ras och skred till följd av hastigt uppkommande strömmande vatten.

Med omgivande markyta avses generellt den rektangulära ytan cirka 100 meter vinkelrätt ut från spåret och inom cirka 500 meter från tunnelmynning. Endast markytan bortanför eventuella bergskärningar, stödmurar eller motsvarande behöver beaktas. Mindre områden som lutar eller kortare slänter påverkar inte bedömningen.

Då osäkerheten för ras och skred är förhållandevis stor kan alternativa bedömningsunderlag användas Ett underlag som tagits fram gemensamt av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) och Statens geotekniska institut (SGI) kan alternativt användas för att bedöma risken för ras och skred, se exempelvis

<https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/naturolyckor-och-klimat/identifiera-sarskilda-riskomraden/>

Normal banuppbyggnad påverkar inte bedömningen.

Attributvärde: $A_{10} = 0,6 \cdot Obehör + 0,2 \cdot Markvatten + 0,2 \cdot Ras$

6 Betydelsen av ingående komponenter

Som framkommit innan och som tydliggörs i ekvation 1 i avsnitt 4.3.5 baseras säkerhetsbedömningen på graderingar av de tio attributen. Dessutom är, som tidigare nämnts, attributen inte lika betydelsefulla för att bestämma säkerhetsnivån för en enskild tunnel. Detta kapitel beskriver hur värden för attributens betydelse har tagits fram.

Den utveckling som skett syftar till att fastställa de inbördes relationerna avseende betydelse som finns mellan alla komponenterna i det hierarkiska trädet, se figur 6. För att bestämma relationerna mellan komponenter som beskrivs med olika mätskalor har arbetet i huvudsak baserats på expertbedömningar.

6.1 Expertbedömningsmetoder

För att bestämma värdena som anger betydelsen av respektive attribut, vikterna, används två tekniker vilka båda utgår från expertbedömningar men som utnyttjar två helt olika arbetssätt. De medverkande experterna deltar endast i en av de två teknikerna.

I arbetet används följande två tekniker för att sammanställa expertbedömningar:

- fokusgrupper och
- delphiundersökning.

6.1.1 Expertbedömning med fokusgrupper

Tekniken med fokusgrupper bygger på att experter sitter tillsammans och diskuterar fram till de resultat som ska fastställas (Kvale, 1997). Det innebär att experter med olika bakgrund kan bidra med kunskaper som kan vägas mot varandra. Tanken är att gruppen ska komma fram till ett gemensamt resultat genom att argumentera för och emot varandras ståndpunkter. En risk som finns med bedömningar med fokusgrupper är att dominerande individer kan styra gruppens samlande bedömningar. För att minska denna inverkan användes två parallella fokusgrupper som genomförde exakt samma uppgift isolerat från varandra. Genom att därefter i en analysfas jämföra de två gruppernas bedömningar kan det konstateras om det finns stora skillnader och dessa får i så fall hanteras. Stora skillnader kan även uppstå slumpmässigt då gruppernas

sammansättning är olika och detta kan i sig leda till de uppkomna olikheterna.

I det aktuella arbetet bestod grupperna av vardera fyra personer. I grupperna deltog vardera en representant från en kommunal räddningstjänst som har järnvägstunnlar inom sitt område, en eller två konsulter med lång erfarenhet av projektering av tunnlar brandsäkerhet samt en eller två representanter från Trafikverket med erfarenhet från tunnelområdet. Arbetet genomfördes under en arbetsdag på en gemensam plats.

6.1.2 Expertbedömning med Delphiundersökning

Delphimetoden som fått sitt namn efter den grekiska prästinnan Pythia i den grekiska mytologin. Som oraklet i Delphi var hon känd för sina tvetydiga eller obegripliga tolkningar och uttalanden när hon ställdes inför frågor. Avsikten med Delphimetoden är dock den motsatta det vill säga att sammanställa expertbedömningar där enskilda experters bedömningar inledningsvis kan vara olika. I grunden bygger metoden på att enskilda experter, vilka är anonyma gentemot varandra, får svara på frågor om det som ska bedömas. Metoden använder skriftlig kommunikation mellan en Delphiledare och de inblandade experterna.

I en första omgång får experterna avge sina svar skriftligt och dessa sammanställs av Delphiledaren som skickar tillbaka den sammanställda informationen till experterna. Denna information kan exempelvis vara medelvärden eventuellt med olika spridningsmått för de bedömningar som gjorts.

Experterna får därefter möjlighet att revidera sina tidigare bedömningar men nu med vetskapen om hur den samlade gruppens resultat ser ut. De skickar därefter tillbaka sina reviderade bedömningar, om de anser att bedömningarna behöver revideras. En ny sammanställd information om kollektivets samlade bedömningar skickas sedan tillbaka igen. Tanken är att processen ska pågå tills konsensus uppnåtts. Detta sker dock sällan och den uppenbara faran med denna metod är att experterna tröttnar på att revidera bedömningarna och att olikheter suddas ut. Därför sker en Delphiprocess ofta enbart i ett fåtal omgångar.

I det aktuella fallet genomfördes en revideringsomgång, delvis på grund av att det bedömda materialet var omfattande. Det innebär att alla experterna gjorde en första bedömning och fick därefter möjlighet att revidera sina första bedömningar, men endast en gång. Totalt medverkade 12 experter i Delphiundersökningen. Två deltagare representerade räddningstjänster med järnvägstunnlar inom sitt område, sex personer

arbetar som konsulter med fokus på tunnlar och deras säkerhet och övriga fyra är anställda på Trafikverket med erfarenhet av tunnelsäkerhet. Arbetet genomfördes under cirka en månad från första utskicket tills den sista personen hade svarat på revideringsomgången.

6.2 Bestämning av attributvikter

Avsikten är att fastställa hur betydelsefulla de enskilda attributen är för, i första hand, det övergripande målet.

6.2.1 Fokusgruppernas bedömningar

Deltagarna i fokusgrupperna fick i uppgift att för ett attribut i taget bedöma hur betydelsefullt attributet är för den första strategin i det hierarkiska trädet, figur 6. Bedömningen görs på en skala mellan 0 och 10 där 0 innebär att det inte finns någon koppling alls. Bedömningen 10 innebär att attributet är extremt viktigt för strategin, när bedömningen genomförs från attributnivån till strategi-nivån. I gruppen diskuteras vilket värde som ska väljas så det speglar gruppens samlade bedömning. Därefter görs samma bedömning av det andra attributet mot samma strategi det vill säga först mot den första strategin tills alla attributen är bestämda.

Som underlag hade fokusgrupperna kortfattade beskrivningar av attributen motsvarande så som de redovisas i kapitel 5. Den exakta ordalydelsen var dock inte densamma eftersom innehållet har justerats efter bedömningsarbetet utfördes men inte på ett påtagligt sätt. Det gör att resultaten från bedömningarna med fokusgrupperna fortfarande är giltiga. Beskrivningarna var dock mer kortfattade men tabellerna för respektive attribut är i praktiken desamma.

För att underlätta principen för bedömningen lämnades följande bedömningsmall till deltagarna. Den tillgängliga skalan är 0 – 10, där 0 är obefintlig relation och 10 anger ett är extremt starkt samband eller relation. Däremellan kan följande intervall användas.

- 0: det saknas helt ett samband
- 1–2: finns ett samband men svagt
- 3–4: lite viktigt
- 5–6: ganska viktigt
- 7–8: mycket viktigt
- 9–10: väldigt viktigt

Proceduren upprepas därefter för de tio attributen i relation till den andra strategin tills att alla attribut är bedömda mot alla strategierna. Resultatet blir en matris med bedömningsvärden från attributnivå till strateginivå.

Därefter görs samma bedömningar men mellan strategierna i förhållande till alla delmålen och slutligen från delmålen till den övergripande målsättningen. Eftersom båda fokusgrupperna utförde samma arbetsuppgift finns det således dubbla uppsättningar av matriser med bedömningsvärden.

Dessa uppsättningar jämfördes och sammanfogades till en gemensam uppsättning bedömningsvärden. För att göra en enhetlig sammanslagning av de två gruppernas bedömningsvärden användes följande kriterier:

- a. Om båda gruppernas bedömningar är mellan värdena 5 och 10 välj det alternativet som är högst.
- b. Om båda gruppernas bedömningar ligger mellan 0 och 5 välj det lägsta värdet.
- c. Om en grupp har ett värde över 5 och den andra gruppen ett värde under 5 eller om skillnaden mellan gruppernas bedömningar är fyra enheter eller mer görs en individuell bedömning.

Dessa kriterier leder generellt till en större avvikelse från medelvärdet i bedömningsskalan. Det är en fördel då det kommer att förstärka skillnader mellan de, i nästa steg, beräknade vikterna för attributen.

I bilaga 4 redovisas sammanställningen mellan gruppernas bedömningar och de argument som ligger till grund för bedömningarna enligt den sista punkten. Gruppernas gemensamma bedömningsvärden används för beräkning av vikterna som redovisas i avsnitt 6.2.3.

6.2.2 Delphigruppens bedömningar

Delphiundersökningen syftar till att ta fram samma information som i arbetet med fokusgrupperna det vill säga betydelsen eller vikterna för komponenterna i det hierarkiska trädet, figur 6, men i detta fall med en annan metod. Till skillnad från fokusgrupperna genomfördes inte bedömningarna direkt mellan komponenterna i det hierarkiska trädet. Istället fick deltagarna genomföra parvisa jämförelser mellan komponenter på en nivå i det hierarkiska trädet i förhållande till komponenterna på nästa ovanliggande nivå. Som exempel jämförs alla attributen i förhållande till varandra med utgångspunkt i en strategi i taget. När alla attributjämförelser är gjorda mot strategierna görs samma parvisa jämförelser mellan de olika strategierna i förhållande till ett

delmål i taget och så vidare. Denna teknik för att härleda experternas bedömningar baseras på tekniken Analytical Hierarchy Process (AHP) som utvecklats av Saaty (1990). Metoden lämpar sig väl för situationer när olika egenskaper ska bedömas mot varandra och när några eller alla innehåller en kvalitativ beskrivning av fenomenet som ska bedömas (Saaty, 1987). Den parvisa jämförelsen mellan de ingående aspekterna som ska bedömas jämförs utifrån en fastställd rangordningsskala, tabell 3.

Tabell 3. Beskrivning av relationers styrka i de parvisa jämförelserna.

Om A är i förhållande till B	styrka
Lika viktigt	1
Måttligt viktigare	3
Viktigare	5
Mycket viktigare	7
Extremt mycket viktigare	9

För att nyansera bedömningen kan även värdena mellan dem som anges i tabellen ovan användas. Exempelvis sker bedömningen inledningsvis mellan attribut 1 och attribut 2 utifrån hur viktigt det första attributet är för strategi 1. Därefter jämförs attribut 1 mot attribut 3 i förhållande till (fortfarande) strategi 1 och så vidare. Det innebär att antalet bedömningar blir avsevärt fler jämfört med fokusgruppernas arbete.

För att underlätta för bedömarna fick de en instruktionsvideo och en uppsättning bedömningstabeller att fylla i, se figur 7. I tabellen fyller bedömaren först i värdet för den av de två komponenterna som är den viktigaste och sätter det andra attributets betydelse till 1. Det är ju på förhand inte bestämt om det är attribut "a" eller attribut "b" som är det viktigaste i en jämförelse vilket illustreras i exemplet i figur 7. Det framgår exempelvis att Attribut 1 är *viktigare* än attribut 2 (5 mot 1) men att attribut 3 är *måttligt viktigare* än attribut 1 (1 mot 3).

Strategi 1. Förebygga att olyckan inträffar	A1. Tågtrafik och drift	A2. Tunnelns konstruktion	A3. Spår- och trafikregleringar	A4. Tunnelns passiva brandskydd	A5. Tunnelns aktiva skydd mot och vid brand, utsläpp och explosion	A6. Vägar för utrymning	A7. Installationer för utrymning	A8. Räddningstjänst	A9. Organisatoriska skyddsåtgärder	A10. Externa faror
A1. Tågtrafik och drift	1 : 1	5 : 1	1 : 3	5 : 1	5 : 1	7 : 1	7 : 1	7 : 1	1 : 1	5 : 1
A2. Tunnelns konstruktion	1 : 5	1 : 1	1 : 6	3 : 1	3 : 1	7 : 1	7 : 1	7 : 1	1 : 3	5 : 1
A3. Spår- och trafikregleringar	3 : 1	6 : 1	1 : 1	6 : 1	5 : 1	7 : 1	7 : 1	7 : 1	3 : 1	5 : 1
A4. Tunnelns passiva brandskydd	1 : 5	1 : 3	1 : 6	1 : 1	3 : 1	5 : 1	1 : 1	5 : 1	1 : 3	1 : 5
A5. Tunnelns aktiva skydd mot och vid brand, utsläpp och explosion	1 : 5	1 : 3	1 : 5	1 : 3	1 : 1	5 : 1	1 : 1	3 : 1	1 : 1	1 : 5
A6. Vägar för utrymning	1 : 7	1 : 7	1 : 7	1 : 5	1 : 5	1 : 1	1 : 1	3 : 1	1 : 1	1 : 5
A7. Installationer för utrymning	1 : 7	1 : 7	1 : 7	1 : 1	1 : 1	1 : 1	1 : 1	3 : 1	1 : 2	1 : 5
A8. Räddningstjänst	1 : 7	1 : 7	1 : 7	1 : 5	1 : 3	1 : 3	1 : 3	1 : 1	1 : 2	1 : 5
A9. Organisatoriska skyddsåtgärder	1 : 1	3 : 1	1 : 3	3 : 1	1 : 1	1 : 2	1 : 2	1 : 1	1 : 1	1 : 5
A10. Externa faror	1 : 5	1 : 5	1 : 5	5 : 1	5 : 1	5 : 1	5 : 1	5 : 1	5 : 1	1 : 1

Figur 7. Exempel på bedömningstabell för de parvisa jämförelserna. Varje expert fyller i den övre halvan ovanför huvuddiagonalen.

När samtliga experter skickat in sina första bedömningar beräknades medelvärden för samtliga enskilda celler baserat på experternas bedömningar av respektive cellvärden. Denna information innehåller den gemensamma bedömningen från alla experterna och var och en kunde därefter revidera sina inledande bedömningar om de önskade.

Efter den andra rundan avslutades Delphiprocessen och resultaten från andra omgången användes för att beräkna nödvändiga värden. De primära resultaten från Delphiundersökningen är värden för hur betydelsefullt ett enskilt attribut är för en given strategi, hur viktig en strategi är för ett delmål och hur viktiga delmålen är för den övergripande målsättningen, det vill säga motsvarande värden som arbetet i fokusgrupperna resulterade i. Det återstår således ett steg från AHP-tabellerna då dessa innehåller resultaten av samtliga parvisa jämförelser. De önskade värdena kan beräknas på olika sätt och Saaty (1987) anger att respektive matris egenvärden ska användas för att beskriva vikternas storlek. Yoon och Hwang (1995) anger att värdena kan approximeras med det geometriska medelvärdet för respektive egenskap, något som även Saaty (1987) beskriver även om han alltid rekommenderar användningen av egenvärden som grund för vikternas storlek. Eftersom avvikelsen oftast är liten och att rangordningen behålls kommer vikterna att beräknas med hjälp av det geometriska medelvärdet. Beräkningen kan illustreras med en resultatmatris i nedanstående figur 8.

Strategi 1. Förebygga att olyckan inträffar	A1. Tågtrafik och drift	A2. Tunnelns konstruktion	A3. Spår- och trafikregler	A4. Tunnelns passiva brandskydd	A5. Tunnelns aktiva skydd mot och vid brand, utsläpp och explosion	A6. Vägar för utrymning	A7. Installationer för utrymning	A8. Räddningstjänst	A9. Organisatoriska skyddsåtgärder	A10. Externa faror
A1. Tågtrafik och drift	1	5	3	5	7	7	7	7	5	1
A2. Tunnelns konstruktion	1/5	1	6	3	7	7	7	7	3	5
A3. Spår- och trafikregler	1/3	1/6	1	6	5	7	7	7	3	5
A4. Tunnelns passiva brandskydd	1/5	1/3	1/6	1	3	5	5	5	3	1
A5. Tunnelns aktiva skydd mot och vid brand, utsläpp och explosion	1/7	1/7	1/7	1/5	1	1	1	1	1	5
A6. Vägar för utrymning	1/7	1/7	1/7	1/5	1	1	1	1	1	5
A7. Installationer för utrymning	1/7	1/7	1/7	1/5	1	1	1	1	1	5
A8. Räddningstjänst	1/7	1/7	1/7	1/5	1	1	1	1	1	5
A9. Organisatoriska skyddsåtgärder	1/5	1/3	1/3	1/3	1	1	1	1	1	5
A10. Externa faror	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1

Figur 8. Beräkning av attributens vikter baserade på AHP-bedömningarna gentemot den första strategin.

Beräkningen av det geometriska medelvärdet för det första (översta) attributet i figur 8 sker som

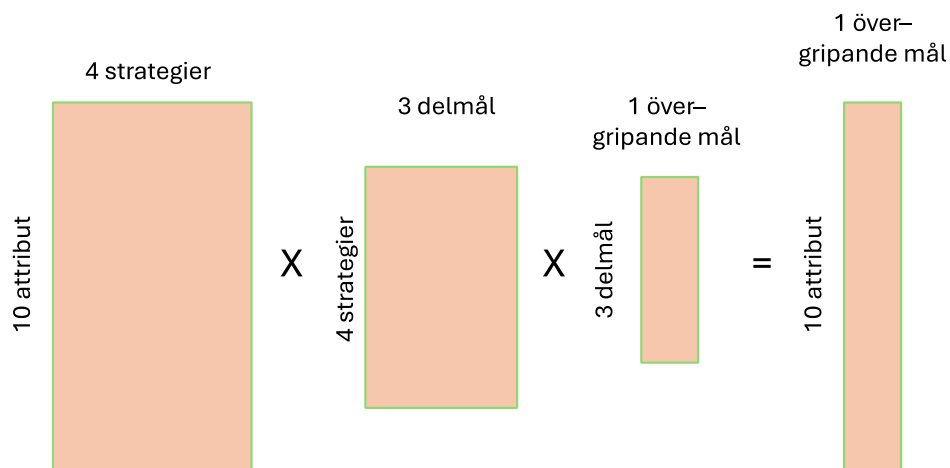
$$V_{A1-S1} = \left[\frac{1}{1} \cdot \frac{5}{1} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{5}{1} \cdot \frac{5}{1} \cdot \frac{7}{1} \dots \right]^{1/10} \quad (2)$$

Vikterna för de övriga attributen mot respektive strategi beräknas på samma sätt. Bilaga 5 redovisar en sammanställning av Delphideltagarnas samlade bedömningar. Tabellerna i bilagan redovisar medelvärden från deltagarnas bedömningar av respektive cell. Underlagen används för att beräkna de geometriska medelvärdena enligt ovan som används för att skapa matriser för attribut->strategi, strategi->delmål samt delmål->mål. Dessa matriser används i nästa steg för att beräkna vikterna som sedan ska användas i ekvation 1.

För att undersöka om experterna gör rationella val kan resultatmatriserna bedömas utifrån något som Saaty (1987) benämner Consistency Ratio (CR). CR kan beskrivas som ett förhållande mellan slumpmässiga resultatmatriser och sådana som har relevant bedömda innehåll. Med relevant avses att bedömningarna är logiska i den mening att ordningen i vad som är viktigt och mindre viktigt är konsekvent bedömt sett över hela matrisen. Värdet på CR kan därför utgöra ett kvalitetsmått på resultaten i matriserna och samtliga resultatmatriser från Delphiundersökningen uppfyller kriteriet för maximalt CR. Det innebär att relationerna i matriserna bedöms vara relevanta för beräkningen av de slutliga vikterna och att dessa kan anses vara giltiga.

6.2.3 Beräkning av vikter för analys av järnvägstunnelns säkerhet

Resultaten från bedömningen av styrkan i relationerna mellan de olika komponenterna i det hierarkiska trädet, figur 6, beskrivs i form av ett antal matriser och vektorer. De enskilda värdena i dessa matriser och vektorer beskriver styrkan för de olika förbindelserna i det hierarkiska trädet. För att räkna ut vikterna för de enskilda attributen i relation till den övergripande målsättningen kan matriserna och den sista vektorn multipliceras med varandra som figur 9 illustrerar.



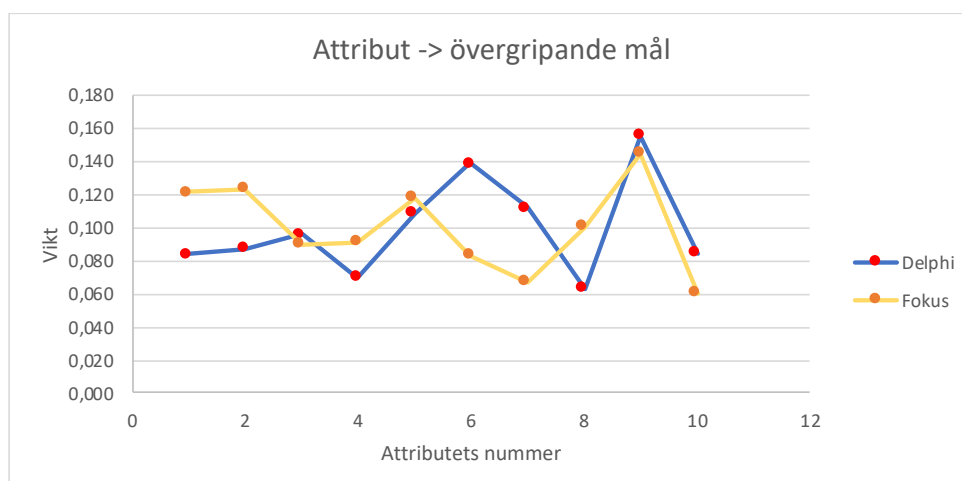
Figur 9. Matrimultiplikationen för att beräkna vikterna för attributen.

Det sista som görs är att normalisera alla beräknade värden så att de är mellan 0 och 1 samt att de summerar till 1,0.

De primära resultaten är vikterna för attributen för att beräkna järnvägstunnelns generella säkerhetsindex. Dessa redovisas i tabell 4 uppdelat på resultaten från fokusgrupperna och Delphiundersökningen. Figur 10 redovisar samma information grafiskt.

Tabell 4. Vikter för att beräkna järnvägstunnelns säkerhetsindex.

Attribut	Fokusgrupp	Delphiundersökn
A1. Tågtrafik och drift	0,122	0,084
A2. Tunnelns konstruktion	0,123	0,087
A3. Spår- och trafikegenskaper	0,090	0,096
A4. Tunnelns passiva brandskydd	0,091	0,070
A5. Tunnelns aktiva skydd mot och vid brand, utsläpp och explosion	0,118	0,109
A6. Vågar för utrymning	0,083	0,139
A7. Installationer för utrymning	0,067	0,112
A8. Räddningstjänst	0,100	0,063
A9. Organisatoriska skyddsåtgärder	0,145	0,156
A10. Externa faror	0,061	0,085



Figur 10. Attributens vikter uppdelade på fokusgrupper och Delphiundersökningen.

Det kan konstateras att det finns skillnader mellan bedömningarna med de två metoderna. I fokusgrupperna läggs en något större vikt vid förebyggande egenskaper det vill säga sådana som är inriktade mot åtgärder som premierar lägre frekvens för olyckor.

Delphiundersökningens resultat visar på högre vikter för egenskaperna som ska hantera en utrymningssituation i tunneln det vill säga egenskaper givet att en olycka har inträffat. Då det skiljer sig i resultaten mellan de två använda teknikerna uppstår frågan vilken av dem som ska utgöra grunden för metoden att bestämma säkerheten i järnvägstunnlar.

Valet av data till metoden för att bedöma säkerheten i järnvägstunnlar faller dock på det underlag som Delphiundersökningen resulterade i. Anledningen är att stora delar av regelverket för järnvägssäkerhet är inriktat mot att med gemensamma säkerhetsfunktioner undvika att olyckor sker, inklusive olyckor i tunnlar. De regelverk som specifikt fokuserar på järnvägstunnlar har mer krav på säkerhetsåtgärder som syftar till att minska allvarliga konsekvenser givet att en olycka sker i tunneln. Det blir därför mer naturligt att bedömningen av säkerhet i en järnvägstunnel i huvudsak baseras på bedömningar av dessa tunnelspecifika säkerhetsfunktioner, de som Delphiundersökningen ansåg vara viktiga för säkerhetsbedömningen.

Motivet kan även stärkas genom att Delphimetoden har en starkare vetenskaplig förankring i förhållande till att använda fokusgrupper. Delphimetoden baseras på expertbedömningar som sker utan eventuell påverkan från övriga Delphideltagare. Det leder till en mer oberoende bedömning. Men för att ändå få en Delphideltagare att reflektera över sina

bedömningar ingår möjligheten att revidera sina inledande bedömningar genom att få information om den samlade gruppens bedömningar. Det kan leda till att vissa inledande bedömningar justeras efter en ytterligare eftertanke. Just den anonyma insatsen från experterna brukar anges som dess styrka.

Förutom att beräkna vikterna för alla attributen mot det övergripande målet kan även delar av matriserna användas för att beräkna vikter som exempelvis anger attributens betydelse för att förebygga olyckor. På det viset kan så kallade delindex beräknas som anger järnvägstunnelns förutsättningar att förebygga att olyckor inträffar. Ett antal så kallade delindex kommer också att beräknas, utöver det generella säkerhetsindexet, vilka har följande innehåll:

1. Tunnelns förmåga att förebygga olyckor.
2. Tunnelns förmåga att begränsa konsekvensen av en olycka.
3. Förmåga att undvika skador på personer.
4. Tunnelns förmåga att förebygga och begränsa konsekvenserna av en brand.

Det första delindexet beräknas genom att använda bedömningsdata för attributen i relation till den första strategin. Denna strategi är den enda som fokuserar på att förebygga vilket gör att värdena i denna bedömning kan användas direkt.

Det andra delindexet beräknas genom att använda matrisen som innehåller vikterna för alla attributen men bara i förhållande till strategierna 2–4 (A1–A10 / S2–S4), matrisen som innehåller vikter för strategierna 2–4 i förhållande till delmålen 1 och 2 (S2–S4 / D1–D2) samt matrisen för delmålen 1 och 2 i förhållande till det övergripande målet (D1–D2 / Ö) i beräkningen av vikterna för A1–A10 / Ö. Konsekvensen kan omfatta både personer och egendom. Det som inte inkluderas är förebyggande åtgärders effekt och att enbart fokusera på de två första delmålen. Det kan argumenteras för att delmål 3, att hantera längre uppehåll, också skulle ingå men det är inte gjort.

Det tredje delindexet gör en ytterligare inskränkning jämfört med ovanstående och inkluderar bara A1–A10 / S3–S4, S3–S4 / D1–D2 samt D1–D2 / Ö-mål. I detta fall beaktas enbart strategierna att utrymma och rädda.

Det fjärde delindexet är tänkt att peka på åtgärder som ingår i en bedömning av tunnelns egenskaper kopplade till det systematiska

brandskyddsarbetet. Delindexet syftar mer explicit till att värdera tunnelns förmåga att förebygga och begränsa konsekvenserna av en brand. Eftersom denna bestämningen av vikterna för detta delindex har ytterligare begränsningar än de övriga tre redovisas detta separat i avsnitt 6.2.4.

Vikter för beräkning av metodens säkerhetsindex samt de fyra delindexen redovisas i tabell 6.

6.2.4 Beräkning av vikter för analys av det systematiska brandskyddsarbetet i järnvägstunneln

Järnvägstunnlar omfattas av bestämmelser om att bedriva ett systematiskt brandskyddsarbete. Detta regleras i flera dokument från Trafikverket och grundar sig i bestämmelserna i 2 kap 2 § lag (2003:778) om skydd mot olyckor (LSO) samt kompletterande allmänna råd från MSB, Statens räddningsverks allmänna råd och kommentarer om systematiskt brandskyddsarbete (SRVFS 2004:3). Enligt det allmänna rådet anges att det är skäligt att det för varje verksamhet bedrivs ett systematiskt brandskyddsarbete och att detta dokumenteras.

Trafikverket har vidare utvecklat beskrivningar om hur ett sådant systematiskt brandskyddsarbete ska bedrivas vilket bland annat tas upp som riktlinjer i TDOK 2023:0190 Systematiskt brandskyddsarbete och utvecklas vidare i en rutinbeskrivning TDOK 2023:0191 Systematiskt brandskyddsarbete. Dokumenten beskriver hur arbetet med det systematiska brandskyddsarbetet ska bedrivas inklusive dokumentation och kontroller. I det senare dokumentet anges att en anläggnings utformning avseende brandskydd ska utgå från en brandriskanalys. En sådan analys kan ge information om vilka åtgärder som behöver vidtas för att anläggningen ska uppvisa en godtagbar brandskyddsnivå.

Den indexmetod som utvecklats inom projektet har som målsättning att beskriva en järnvägstunnels förmåga att hantera personsäkerhet vid tunnelspecifika olycksscenarier. Det innebär att brandscenarier är inkluderade i den övergripande målsättningen då begreppet olycksscenarier omfattar ytterligare olyckstyper.

De brandriskanalyser som ska utgöra bedömningsunderlaget för brandskyddets utformning kan i viss utsträckning utgöras av det underlag som ingår i den utvecklade säkerhetsbedömningsmetoden. Detta kan göras genom att enbart inkludera de variabler eller parametrar som ingår i metoden som är relevanta för det systematiska brandskyddsarbetet.

För att kunna använda den generella säkerhetsindexmetodens struktur för att ta fram ett säkerhetsindex som enbart fokuserar på de brandrelaterade

aspekterna måste ett urval av parametrar göras. Det innebär att betydelsen av de parametrar som påverkar en brandriskanalys används för att bestämma de relativa vikterna för enbart dessa utvalda parametrar och deras hantering uppåt i det hierarkiska trädet.

6.2.4.1 Väsentliga parametrar för bedömning av SBA

Varje attribut beskrivs som tidigare nämnts av ett antal parametrar. För brandriskanalysen görs ett urval av dessa baserat på en bedömning om de påverkar risken för brandolyckor eller inte.

En första gallring görs för parametrar som inte alls bedöms ha någon betydelse för brandrisken och även dem som kan ha brandolycka som en sekundär risk. Det innebär att exempelvis egenskaper för spårväxlar samt risken för ras och skred i en tunnels närhet. Parametrar som ingår ska ha en direkt påverkan på brandrisken i tunneln och det kan vara de som beaktar såväl tekniska som organisatoriska egenskaper.

Efter att ha undersökt konsekvensen av den första gallringen av parametrar görs en andra gallring. I denna utgår parametern som behandlar antalet spår i tunneln i Attribut 3. Anledningen är att denna parameter är den enda som återstår i attributet efter den första gallringen och parametern har endast två alternativ som ger bedömningsvärdet 1 eller 5. Det innebär att denna parameter får ett oproportionerligt stort genomslag på indexvärdet för brandsäkerhet som bedömdes vara mindre rimligt. Problemet kan hanteras genom att flytta parametern till ett annat attribut eller att stryka det helt, inget av dem är helt idealt.

I tabell 5 nedan redovisas de tio attributen med vilka parametrar som ska ingå, markerade med j eller n beroende på om de ska ingå eller ej. Ordningen är den som beskrivs tidigare för respektive attribut och de som exkluderas motiveras i tabellen.

Tabell 5. Parametrar som ingår i bestämningen av tunnelns förmåga att hantera brandrisker.

Attribut och parametrar	Ingår	Motivering
A1. Tågtrafik och drift		
Högsta tillåtna hastighet	n	Främst fokuserad på urspårningsfrekvens
Antal tåg per dygn	j	Fler tåg kan påverka brandrisken
Fördelning mellan olika tågslag	j	Fördelningen kan påverka brandkonsekvensen
System för kommunikation för tågpersonal (GSM-R)	n	Ej direkt brandrelaterad
A2. Tunnelns konstruktion		
Risk för nedfallande föremål i eller utanför tunneln	n	Främst fokuserad på urspårningsfrekvens
Tunnellängd	j	Längre tunnlar är försvårande för brandkonsekvensen
Tillgänglighet till mynning	j	Påverkar möjlighet till räddningsinsats
Isbildning utanför spårområdet i trafiktunneln	j	Påverkar möjlighet till utrymning
A3. Spår- och trafikegenskaper		
Enkelspår eller flera spår	n	Påverkar konsekvens men utgår, se kommentar
Urspårningsskydd	n	Främst fokuserad på urspårningsfrekvens
Spårväxlar i tunnelns närhet	n	Främst fokuserad på urspårningsfrekvens
Signal- och trafikstyrningssystem	n	Främst fokuserad på urspårningsfrekvens
A4. Tunnelns passiva brandskydd		
Tunnelns ytskikt avseende inklädnader och inredning	j	
Elkablar i trafikutrymmet	j	
Brandteknisk avskiljning mellan trafikutrymme och sidoutrymme med nödlägesfunktion	j	
A5. Tunnelns aktiva brandskydd		
Aktiva brandbegränsande system	j	
Kameraövervakning och lokalisering av stillastående tåg (tågdetekteringssystem)	j	
Detektionssystem	j	
Hantering av kontaminerat vatten eller utsläpp	n	Påverkar inte brandrisken
A6. Vägar för utrymning		
Avstånd mellan utrymningsvägar (inklusive tunnelns mynningar)	j	
Utformning av gångbana utmed spåren	j	
Dörrar för utrymning från trafikutrymmet	j	
Utrymningsväg och säker plats	j	
A7. Installationer för utrymning		
Belysning av gångvägar för utrymning i trafiktunnel och sidoutrymme	j	
Utrymningsbelysning	j	
Utrymningsskyltar mm (vägledande markeringar)	j	
A8. Räddningstjänst		
Första insatsstyrka	j	
Utrymnings- och räddningsplats	j	
Räddningstjänstens möjlighet till kommunikation	j	
Tillgång till släckvatten	j	
A9. Organisatoriska skyddsåtgärder		
Trafikcentralens förutsättningar att begränsa en olyckas konsekvenser	j	
Planering för olyckshändelse	j	
Övningsverksamhet	j	
Drift- och underhållsfunktioner	j	
A10. Externa faror		
Obehöriga personer	n	Påverkar inte brandrisken
Skador på grund av oönskat vatten på mark (översvämning)	n	Påverkar inte brandrisken
Skador på grund av ras eller skred (orsakat av hastigt uppkommande strömmande vatten)	n	Påverkar inte brandrisken

En konsekvens av att inte använda samtliga parametrar för att beskriva ett attribut är att attributvärdet måste beräknas på ett annat sätt än för beräkningen till övriga säkerhetsindex. Anledningen är att attributvärdet beräknas genom att vikta graderingar för parametrarna och att summera

till ett attributvärde. När det inte är fallet baseras de reviderade vikterna för bestämningen av ett enskilt attributvärde på de relativa vikterna för de återstående parametrarna.

6.2.4.2 Ingående strategier

På nästa nivå över attributnivån i den hierarkiska strukturen finns de fyra strategierna; Förebygga olyckan, Begränsa faran, Utrymma tunneln samt Rädda personer är alla relevanta strategier för att hantera brandrisker och alla föreslås därför vara kvar.

6.2.4.3 Ingående delmål

Syftet med det systematiska brandskyddsarbetet och brandriskanalysen är att tillgodose att målet med brandskyddets funktion upprätthålls. Därför är det enda relevanta delmålet i säkerhetsbedömningsmetoden det som syftar till att hantera heta olyckor. Eftersom det endast finns ett enda kvarvarande delmål kommer det att vara identiskt med målet för brandriskanalysen och det beräknade indexet utgör ett mått på tunnelns brandrisk.

6.2.4.4 Vikter för det systematiska brandskyddsarbetet

De slutliga vikterna beräknades på liknande sätt som för övriga delindex men med skillnaden att inte alla attribut ingår i beräkningen. Tabell 6 redovisar de slutliga vikterna för att bestämma det så kallade SBA-indexet med ekvation 1.

6.2.5 Bedömning av parametrars betydelse för beräkning av attributvärden

Ett enskilt attributs gradering består av en sammanvägning av graderingen av attributets parametrar. Dessa parametervärden måste på något sätt vägas samman för att beräkna attributvärdet. I beräkningen av attributens gradering används därför vikter för att ange betydelsen av de enskilda parametrarna. Dessa vikter bedömdes av de två fokusgrupperna i samband med att de också bedömde underlagen för viktberäkningen ovan. Varje grupp hade i uppgift att komma överens om en relativ fördelning av betydelsen av respektive parameter för att kunna beräkna attributvärdena.

Respektive grupps bedömningsresultat redovisas i bilaga 6 tillsammans med den slutliga sammanvägningen som genomfördes av författarna. I kapitel 5 redovisas hur respektive attributs värde beräknas när samtliga parametrar ingår i beräkningen. Det är aktuellt för beräkning av

järnvägstunnelns säkerhetsindex samt för de tre första delindexen. För beräkningen av indexet för brandriskanalysen, se avsnitt 6.2.4, sker beräkningen av attributens värden genom att enbart beakta de parametrar som ingår i bedömningen av tunnelns brandrisk.

6.2.6 Sammanställning av vikter

I tabell 6 redovisas samtliga vikter som används för att beräkna en järnvägstunnelns säkerhetsindex samt de fyra delindex som även kan bestämmas. Dataunderlaget baseras på material från Delphiundersökningen.

Tabell 6. Vikter för generella säkerhetsindex samt delindex för säkerhet i järnvägstunnlar.

Attribut	Järnvägstunnelns säkerhetsindex	Förebygga olycka	Begränsa konsekvens	Begränsa personskada	Brandrisk
A1. Tågtrafik och drift	0,084	0,141	0,042	0,031	0,088
A2. Tunnelns konstruktion	0,087	0,116	0,066	0,070	0,099
A3. Spår- och trafikegenskaper	0,096	0,182	0,033	0,027	0,000
A4. Tunnelns passiva brandskydd	0,070	0,041	0,090	0,058	0,083
A5. Tunnelns aktiva skydd mot och vid brand, utsläpp och explosion	0,109	0,065	0,139	0,085	0,129
A6. Vägar för utrymning	0,139	0,026	0,225	0,286	0,197
A7. Installationer för utrymning	0,112	0,025	0,179	0,232	0,160
A8. Räddningstjänst	0,063	0,022	0,092	0,088	0,073
A9. Organisatoriska skyddsåtgärder	0,156	0,220	0,108	0,097	0,171
A10. Externa faror	0,085	0,164	0,027	0,027	0,000

7 Tillämpning av bedömningsmetoden

7.1 Allmänt

För att undersöka möjligheten att bedöma den generella säkerhetsnivån för järnvägstunnlar har metoden tillämpats på fem tunnlar i Sverige. Bedömningarna har genomförts i form av platsbesök med inspektioner av vissa av attributens egenskaper. Inspektionerna kompletterades med insamling av övriga egenskaper via Trafikverkets källor för sådan information som inte kunde kontrolleras på platsen. De valda tunnelarna har olika förutsättningar avseende exempelvis längd, trafikmängd, antal spår och förutsättningar för utrymning. En av tunnelarna valdes medvetet som ett exempel på en tunnel med mindre goda förutsättningar.

Tunnelarnas säkerhetsnivå bedömdes även kvalitativt i samband med inspektionerna av dem som deltog vid dessa, oftast av tre personer. Bedömningsskalan som då användes hade endast två nivåer; godtagbar och inte godtagbar säkerhetsnivå. Om en tunnel inte bedöms ha en godtagbar säkerhetsnivå kan en mer omfattande analys behöva genomföras. Syftet med den kvalitativa bedömningen på platsen var att skilja tunnlar som intuitivt hade en god standard från dem som hade en mindre god standard. Bedömningen av säkerhetsnivån i samband med inspektionen betyder därför inte att det är en bedömning av vad som är bra eller dåligt, godkänt eller underkänt utan speglar endast hur väl tunneln har en bedömd förmåga att hantera personsäkerhet vid tunnelspecifika olycksscenarier, det vill säga uppfylla säkerhetsbedömningsmetodens övergripande mål.

Inspektionerna genomfördes i samtliga tunnlar av de två författarna samt av ytterligare minst en närvarande person, vanligen en tillsyningsman eller projektledare för underhåll. För tunnelarna B och E redovisas även bedömarnas enskilda resultat för det övergripande säkerhetsindexet. För övriga tunnlar var det inte möjligt att beräkna de enskilda bedömarnas indexvärden då det saknades helt kompletta underlag. Redovisningen sker i detta fall med två decimaler för att tydliggöra skillnader även om den precisionen är onödigt hög.

En inspektion tog mellan en och tre timmar, lite beroende på hur omfattande tunnelns installationer för utrymning var och hur lång tunneln var.

7.2 Fem järnvägstunnlars säkerhet

I följande avsnitt ges en översiktlig beskrivning av tunnelnars egenskaper och de bedöms både med den utvecklade metoden och kvalitativt av dem som deltog vid inspektionerna.

7.2.1 Tunnel A

Spår och trafik: Dubbelspårstunnel utmed en av landets mer trafikerade järnvägsförbindelser, längre än 1 km. Tunneln trafikeras av både persontåg och godståg och största tillåtna hastighet är över 140 km/h. Lokaliserad i nära anslutning till tätbebyggt område.

Utformning: Tunneln är försedd med en parallell servicetunnel som används för utrymning och som förbinder trafikutrymmet via ett antal utrymningsvägar. Åtkomligheten till mynningarna är god och det finns gott om plats vid dessa. Risk för ras och skred är liten och sjö/damm finns i närheten men åtgärder finns för hantering av höga vattennivåer.

Utrymning: Tunneln är försedd med gångvägar för utrymning med ledstänger utmed båda spåren, ojämnheter förekommer på gångbanorna. Dörrar är ca 1,2 meter breda och försedda med fungerande beslag (panikregel) och är fungerande. Tunneln är försedd med både allmänbelysning, särskild belysning av gångbanorna och har belysning av utrymningsskyltar. Utrymningsskyltar är placerade växelvis på tunnelns vardera sida med max 50 meters avstånd med avståndsmarkeringar. Goda möjligheter att tända belysningen på platsen och tydlig information om hur belysningen tänds.

Aktiva och passiva brandskyddssystem: Inga aktiva brandbegränsande system finns. Brännbar inklädnad eller inredning finns ej.

Räddningstjänst: Lokala räddningstjänsten har kort insatstid (deltid) och det finns en insatsplan. Förberett system för brandvattenförsörjning.

Organisatoriska egenskaper: Tunneln har vissa tekniska system men saknar dokumenterade åtgärdsplaner för olyckor. Övningsbehovet är fastställt men övning har inte skett de fem senaste åren. Det förebyggande underhållet fungerar väl men inspektionsåtgärder är inte fullt ut åtgärdade eller planerade.

Bedömd säkerhetsnivå	Beräknat säkerhetsindex
Godtagbar säkerhetsnivå	3,1

7.2.2 Tunnel B

Spår och trafik: Enkelspårstunnel utmed en relativt vältrafikerad järnvägsförbindelse som är flera kilometer lång. Tunneln trafikeras av både persontåg och godståg och största tillåtna hastighet är över 140 km/h. Lokaliserad långt från tätbebyggt område.

Utformning: Tunneln är försedd med en parallell servicetunnel som används för utrymning och som förbinder trafikutrymmet via ett antal utrymningsvägar. Åtkomligheten till mynningarna är god och det finns gott om plats vid dessa. Risk för ras och skred är liten och sjö/damm finns i närheten men åtgärder finns för hantering av höga vattennivåer.

Utrymning: Tunneln är försedd med gångvägar för utrymning med ledstänger utmed båda spåren, ojämnheter förekommer på gångbanorna. Dörrar är ca 1,2 meter breda och försedda med fungerande beslag (panikregel) och är fungerande. Tunneln är försedd med både allmänbelysning, särskild belysning av gångbanorna och utgångar och har belysning av utrymningsskyltar. Utrymningsskyltar är placerade växelvis på tunnelns vardera sida med max 50 meters avstånd med avståndsmarkeringar. Goda möjligheter att tända belysningen på platsen och tydlig information vid knapparna.

Aktiva och passiva brandskyddssystem: Inga aktiva brandbegränsande system finns. Brännbar inklädnad skyddas med brandsäker duk och omfattar bredare partier än 4 meter eller med inbördes mindre avstånd än 25 meter.

Räddningstjänst: Lokala räddningstjänsten har kort insatstid (deltid) men saknar en insatsplan eller har inte besökt tunneln de senaste två åren. Förberett system för brandvattenförsörjning.

Organisatoriska egenskaper: Tunneln har vissa tekniska system men saknar dokumenterade åtgärdsplaner för olyckor. Övning har inte skett de fem senaste åren. Stora brister i förebyggande underhåll och inspektionsåtgärder är inte fullt ut åtgärdade eller planerade.

Bedömd säkerhetsnivå	Beräknat säkerhetsindex	Enskilda bedömares värden
Godtagbar säkerhetsnivå	3,1	3,11; 3,11; 3,19

7.2.3 Tunnel C

Spår och trafik: Enkelspårstunnel utmed en relativt vältrafikerad järnvägsförbindelse, något kortare än 1 km. Tunneln trafikeras av både persontåg och godståg och största tillåtna hastighet är över 140 km/h. Lokaliserad långt från tätbebyggt område.

Utformning: Tunneln saknar servicetunnel. Åtkomligheten till mynningarna är god och det finns gott om plats vid dessa. Risk för ras och skred är liten och sjö/damm finns i närheten men åtgärder finns för hantering av höga vattennivåer.

Utrymning: Tunneln är försedd med gångvägar för utrymning med ledstänger utmed spårets båda sidor, ojämnheter förekommer inte. Utrymning sker endast via mynningarna och dörrar finns alltså inte. Tunneln är försedd med både allmänbelysning, särskild belysning av gångbanorna och har belysning av utrymningsskyltar (genomlysta). Utrymningsskyltar är placerade växelvis på tunnelns vardera sida med max 50 meters avstånd med avståndsmarkeringar (100 meter på en sida). Goda möjligheter att tända belysningen på platsen men knapparna har otydlig information.

Aktiva och passiva brandskyddssystem: Inga aktiva brandbegränsande system finns. Brännbar inklädnad skyddas med brandsäker duk och är inte bredare än 4 meter och placerade med inbördes avstånd som är längre än 25 meter.

Räddningstjänst: Lokala räddningstjänsten har kort insatstid (heltid) men saknar en insatsplan eller har inte besökt tunneln de senaste två åren. Förberett system för brandvattenförsörjning.

Organisatoriska egenskaper: Tunneln har enklare tekniska system men saknar dokumenterade åtgärdsplaner för olyckor. Övning har inte skett de fem senaste åren. Brister i förebyggande underhåll och inspektionsåtgärder är inte fullt ut planerade.

Bedömd säkerhetsnivå	Beräknat säkerhetsindex
Godtagbar säkerhetsnivå	3,4

7.2.4 Tunnel D

Spår och trafik: Enkelspårstunnel utmed en relativt vältrafikerad järnvägsförbindelse, kortare än 1 km. Tunneln trafikeras av både persontåg och godståg och största tillåtna hastighet är 100 km/h. Lokaliserad i nära anslutning till tätbebyggt område.

Utformning: Tunneln saknar servicetunnel. Åtkomligheten till mynningarna är obefintlig och det saknas vägar till mynningarna. Risk för ras och skred är liten och sjö/damm finns inte i närheten.

Utrymning: Tunneln är försedd med smalare gångvägar och makadam för utrymning utan ledstänger utmed spårets båda sidor, ojämnheter på utrymningsunderlaget förekommer. Utrymning sker endast via mynningarna och dörrar finns alltså inte. Tunneln är försedd med allmänbelysning men saknar särskild belysning av gångbanorna och saknar även utrymningsskyltar. Goda möjligheter att tända belysningen på platsen men knapparna har otydlig information.

Aktiva och passiva brandskyddssystem: Inga aktiva brandbegränsande system finns. Brännbar inklädnad skyddas inte med brandsäker duk eller motsvarande och förekommer i partier bredare än 4 meter som är placerade med inbördes avstånd som är mindre än 25 meter.

Räddningstjänst: Lokala räddningstjänsten har kort insatstid (heltid) men saknar en insatsplan eller har inte besökt tunneln de senaste två åren. Förberett system för brandvattenförsörjning saknas.

Organisatoriska egenskaper: Tunneln har enkla tekniska system som varken har larm/felindikation eller kan styras av drifttekniker. Åtgärdsplaner saknas. Övning har inte skett de fem senaste åren. Förebyggande underhåll fungerar väl och inspektionsåtgärder är planerade eller åtgärdade.

Bedömd säkerhetsnivå	Beräknat säkerhetsindex
Oklart om säkerhetsnivån är godtagbar	2,0

7.2.5 Tunnel E

Spår och trafik: Dubbelspårstunnel utmed en av landets mer trafikerade järnvägsförbindelser, kortare än 1 km. Tunneln trafikeras i princip enbart av persontåg och största tillåtna hastighet är över 140 km/h. Lokaliserad i nära anslutning till tätbebyggt område.

Utformning: Tunneln saknar servicetunnel. Åtkomligheten till mynningarna är god men det finns inte gott om plats vid någon av dessa. Körbar väg finns till båda mynningarna. Risk för ras och skred är liten och risken för översvämning bedöms vara liten (inget vattendrag eller sjö i närheten).

Utrymning: Tunneln är försedd med gångvägar för utrymning med ledstänger utmed båda spåren, ojämnheter förekommer inte på gångbanorna. Utrymning sker endast via mynningarna och tunneln saknar därför utrymningsdörrar. Tunneln är försedd med både allmänbelysning, särskild belysning av gångbanorna och har belysning av utrymningsskyltar. Utrymningsskyltar som är genomlysta är placerade mitt för varandra på tunnelns sidor med cirka 100 meters mellanrum och de är försedda med avståndsmarkeringar. Goda möjligheter att tända belysningen på platsen men informationen om knapparnas innebörd är inte tydlig.

Aktiva och passiva brandskyddssystem: Inga aktiva brandbegränsande system finns. Brännbar inklädnad eller inredning finns ej.

Räddningstjänst: Lokala räddningstjänsten har kort insatstid (heltid), det finns en insatsplan och räddningstjänsten har besökt tunneln under de senaste två åren. Förberett system för brandvattenförsörjning finns på platsen.

Organisatoriska egenskaper: Tunneln har vissa tekniska system men saknar dokumenterade åtgärdsplaner för olyckor. Övningsbehovet är fastställt men övning har inte skett de fem senaste åren. Det förebyggande underhållet fungerar väl men inspektionsåtgärder är inte fullt ut åtgärdade eller planerade.

Bedömd säkerhetsnivå	Beräknat säkerhetsindex	Enskilda bedömares värden
Godtagbar säkerhetsnivå	3,4	3,46; 3,46; 3,37

7.2.6 Sammanställning av genomförda säkerhetsbedömningar

Det kan konstateras att fyra av tunnelarna har en godtagbar förmåga att hantera personsäkerhet vid tunnelspecifika olycksscenarier. De erhåller samtliga bedömningsgraderingar som ligger över 3,0 på den valda skalan. Endast en av de bedömda tunnelarna ligger klart under, närmare 2 på skalan, och har en mindre godtagbar säkerhetsnivå. Denna tunnel valdes också för att kunna konstatera att metoden också identifierade denna tunnel med ett lägre säkerhetsindex.

Den kvalitativa bedömningsskalan hade som nämnts endast två nivåer; godtagbar eller inte godtagbar säkerhetsnivå. I redovisningen ovan beskrivs detta därför som att det är oklart om tunnelns förmåga att hantera de aktuella olyckorna då den faktiska säkerhetsnivån inte är bestämd utan endast den relativa nivån uttryckt som ett säkerhetsindex.

Men det finns ändå goda möjligheter att skilja bättre från sämre tunnlar avseende förmågan att hantera de aktuella olyckorna. Tunneln med de sämre egenskaperna, tunnel D, kan sannolikt kompletteras med installationer så att förutsättningarna att hantera tunnelolyckor förbättras. Eftersom många attribut var lågt graderade bör en bedömning göras vad som kan prioriteras för att öka säkerheten.

Exempelvis kan följande åtgärder ges som förslag till en förbättring av tunnelns säkerhet

- skapa gångbanor utmed spåret som är ca 1,2 m breda och utan ojämnheter
- montera en ledstång utmed respektive gångbana
- förbättra förklaringen till knappar som tänder belysningen (marginell påverkan)
- montera genomlysta vägledningsskyltar i tunneln med avståndsmarkeringar
- planera in orienterande besök i tunneln för räddningstjänsten
- ta fram en insatsplan för tunneln och
- genomför planerade övningar.

Dessa åtgärder är förhållandevis enkla att utföra, möjligen är installationen av vägledande skyltar och att anordna hårdgjorda gångytor mer omfattande. Men med åtgärderna vidtagna ökar tunnelns förmåga att

hantera de aktuella olycksscenarierna och ett resulterande säkerhetsindex blir 2,6 vilket är en märkbar ökning.

För att öka förutsättningen att tunneln kan hantera personsäkerhet vid tunnelspecifika olycksscenarier kan ytterligare åtgärder vidtas. Om tunnelns oskyddade inklädnader förses med sprutbetong, ett rörsystem monteras i tunneln för räddningstjänstens brandvattenförsörjning och ett system monteras som detekterar obehöriga personer i tunneln leder detta till att säkerhetsindexet blir 3,0. Fortfarande kvarstår några aspekter som är svåra att hantera exempelvis de otillgängliga mynningarna.

8 Diskussion

Nedan diskuteras några av de komplikationer och erfarenheter som dragits under projektets gång. Redovisningen sker utifrån följande teman;

- metodval och struktur
- validitet och
- nivå för godtagbar säkerhet.

8.1 Metodval och struktur

Utgångspunkten för arbetet har varit att utveckla en semikvantitativ indexmetod som värderar säkerhet i järnvägstunnlar med avseende på förmågan att hantera personsäkerhet vid tunnelspecifika olycksscenarier.

Anledningen till valet av en semikvantitativ indexmetod var i första hand för att metoden skulle vara förhållandevis enkel att använda i en förvaltande organisations löpande verksamhet. Det innebär att implementeringen helst ska kunna ske inom ramen för befintliga system och med data som redan idag till stor del finns tillgängliga. Det innebär vidare att bestämningen av tunnelns säkerhetsindex ska kunna göras med en mindre mängd resurser och av personal som inte besitter expertkunskaper inom området risk eller säkerhet men som däremot är vana vid tunnelmiljön.

Ett annat skäl till att en semikvantitativ metod valdes var att den enklare kan kombinera kvalitativa och kvantitativa egenskaper. Det är inte nödvändigt att alla tunnelns egenskaper behöver beskrivas i vilken mån de påverkar ett numeriskt värde på konsekvens eller frekvens, något som måste ske för en kvantitativ riskanalys.

Valet av den semikvantitativa metoden medför också ett antal nackdelar. Den främsta nackdelen är att inte alla egenskaper som påverkar en järnvägstunnels säkerhet kan inkluderas vid bestämningen av säkerhetsnivån. Det är nödvändigt att enbart fokusera på de egenskaper som bedöms vara mest betydelsefulla. Valet av vilka komponenter som ska ingå i det hierarkiska trädet har därför reviderats ett antal gånger och flera experter inom Trafikverket har konsulterats för att ta fram egenskaperna som ska bedömas och att beskrivningen av dessa blir så korrekt som möjlig. Synpunkter har alltså beaktats från projektets referensgrupp och från de interna sakexperterna. Men det är till slut ändå en bedömning av vilka komponenter som ska ingå och det valet kan absolut göras på annat sätt.

Ytterligare en nackdel är att en indexmetod inte kan beskriva risken eller säkerheten med traditionella mått som exempelvis antalet skadade per år eller motsvarande. En indexmetod beskriver säkerhetsnivån med ett indexvärde eller ett betyg och detta kan endast användas för att rangordna det som bedöms. Avståndet mellan två olika indexvärden saknar därför en direkt koppling till i detta fall en kvantitativ risk.

Sammantaget kan det konstateras att det finns både fördelar och nackdelar med den valda strategin för metodens struktur. Vid en avvägning mellan precision och arbetsinsats för att genomföra en analys har det bedömts vara viktigare att metoden är relativt lättanvänd då de resulterande indexvärdena som beräknas ska användas för att ge en övergripande bild av säkerhetsnivåer över samtliga järnvägstunnlar som Trafikverket förvaltar.

8.2 Validitet

En berättigad fråga är om det går att lita på resultaten från en analys med metoden. Det har inte genomförts någon regelrätt valideringsstudie genom att jämföra säkerhetsindex med metoden med exempelvis högre stående metoder. Sådana kan göras och har gjorts för andra indexmetoder. En analys genomfördes av Hermansson (2000) som jämförde resultaten med en indexmetod för brandsäkerhet i vårdavdelningar med en kvantitativ riskanalysmetod. Rangordningen av analyserade vårdavdelningar överensstämde i stort med de två metoderna och skillnader kunde hänföras till begränsningar i indexmetodens beskrivning av viktiga egenskaper. Därmed inte sagt att detta är generella slutsatser som är giltiga för den nu utvecklade metoden för järnvägstunnlar. Men indexmetodens resultat är absolut inte slumpmässiga.

En anledning till att rangordning mellan olika tunnlar kan förväntas vara rimligt korrekta är att dels väsentliga egenskaper är medvetet valda och dels att graderingen av egenskaperna är logisk. Graderingen sker utifrån en logik av vad som är bra och vad som är mindre bra. Här finns det dock några problem som bör diskuteras. Graderingen sker efter en gemensam skala, i detta fall mellan 0 och 5. Alternativen för graderingen beskrivs i en fallande skala från bra till mindre bra. Det som är problematiskt kan vara att ett steg i skillnad för en parameter inte måste vara lika stor i bedömningen av en annan parameters där skillnaden också är ett steg. Metoden skiljer enbart på olika utformning av en parameters olika alternativa utformningar men inte om skillnaderna är lika stora för flera parametrar.

Detta måste inte vara ett problem eftersom varje parameter och varje attribut också beaktar just viktigheten för parametrar och attribut, säkerhetsindexet är en sammanvägning mellan gradering och vikt för alla attributen. Men det går inte att entydigt konstatera att det inte finns ett potentiellt problem med inbyggda skillnader i sättet som parametrar och attribut graderas på. Så som det hanterats i utvecklingen av den föreliggande metoden är att exponera beskrivningen för extern granskning.

Något som inte tagits upp tidigare är att det finns en risk att vissa egenskaper som bedöms är korrelerade det vill säga det finns ett samband mellan dem. Målsättningen är att alla egenskaper som graderas ska vara oberoende av varandra men så är det inte alltid. Men genom att medvetet försöka undvika inbyggda korrelationer bedöms risken vara liten. Det har också visats att en viss korrelation inte spelar så stor roll, Stollard (1984) och Yoon & Hwang (1995). Men det går inte att undvika att det finns oönskade korrelationer.

Ett av skälen till att den semikvantitativa metoden valdes var för att enkelt kunna kombinera kvalitativa beskrivningar av egenskaper med kvantitativa resultat. Detta kan göras genom att till stor del basera strukturen för och innehållet metoden på expertbedömningar. Alla riskanalyser innehåller expertbedömningar i olika grad. Frågan är främst hur det säkerställs att experterna verkligen är experter och vet vad de ska bedöma. Det går inte att komma ifrån att olika experter har olika erfarenheter och kompetens inom området. Det var ett medvetet val att anlita experter med olika bakgrund för att belysa olika sätt att se på en fråga vilket betyder att olikheterna i bedömningsunderlagen inte enbart är av ondo. Men det finns tekniker för att i viss mån hantera oönskade skeva bedömningar. Enkelt kan det beskrivas som att experterna ska ges samma förutsättningar och information, att experterna bedömer utifrån en gemensam ram samt att flera experter ingår i gruppen experter.

I både Delphiundersökningen och i arbetet med fokusgrupperna fick samtliga deltagare information om förutsättningarna för deras bedömningsarbete. Tanken var att de skulle ha en gemensam bild av vad som skulle bedömas. Samtliga hade också en gemensam bedömningsmall för att undvika alltför olika tolkning av storleksordningar. Fokusgrupperna och Delphideltagarna hade olika skalor, anpassade efter respektive grupps förutsättningar, men i grunden hade de samma utgångspunkt. Slutligen användes ett flertal experter som genomförde samma bedömningsarbete vilket gör att stora avvikelser inte blir dominerande. I beräkningen av de slutliga vikterna användes medelvärden för att bestämma vilka data som skulle användas. Det gör också att enstaka avvikande bedömningar inte får

ett stort genomslag. Det leder visserligen till att önskade skillnader blir mindre än de borde vara vilket dessvärre leder till en jämnare fördelning av vikter för beräkningen av de olika indexen. Men alternativet är att basera exempelvis vikterna för attributen på mer kvantitativa underlag men där dessa saknas återstår expertbedömningarna.

I Delphiundersökningen användes metoden Analytical Hierarchy Process som bygger på att experterna gör parvisa jämförelser mellan komponenterna på samma nivå i förhållande till nästa ovanliggande nivå. För att undersöka om expertbedömningarna är giltiga utifrån ett logiskt perspektiv används ett så kallat Consistency Ratio (CR) som beskrivs i Saaty (1987). Värdet för CR beräknades för alla bedömningsmatriser och befanns i samtliga fall vara under kriteriet för vad som anses vara godtagbart. Det betyder att expertbedömningarna får anses vara giltiga, något som därför även kan gälla för de senare beräknade vikterna för det övergripande säkerhetsindexet och samtliga delindex.

Med tanke på genomförda granskningar av utkast till metodens beskrivning och sättet som expertbedömningarna genomförts på får det nog anses att validiteten är tillfredsställande.

8.3 Nivå för godtagbar säkerhet

Som med alla riskanalyser, nästkommande steg är att värdera risken i förhållande till vad som är godtagbart. I det aktuella fallet har målsättningen varit att utveckla metoden och att visa att det går att beskriva säkerhetsnivån med ett säkerhetsindex. Men frågan är vad som utgör en godtagbar nivå och hur den ska bestämmas.

I den tillämpning av metoden som redovisas i kapitel 7 kompletterades inspektionen av en kvalitativ bedömning av tunnelns allmänna säkerhet. Alla fyra tunnlar med ett säkerhetsindex över 3 konstaterades ha en acceptabel säkerhet. Endast tunneln med ett säkerhetsindex nära 2 bedömdes inte leva upp till en godtagbar nivå. Variationen mellan enskilda bedömares graderingar av en enskild järnvägstunnel kunde konstateras vara liten.

En liknande strategi med att komplettera ett analysresultat med en kvalitativ bedömning har tillämpats i tidigare arbeten (Frantzych, 2000). På det viset finns det en möjlighet att gaffla in en nivå som utgör en ungefärlig gräns för vad som är godtagbar säkerhet. Ett liknande arbete kan göras för järnvägstunnlar när ett större antal analyser genomförts.

Det ska dock sägas att en strikt gräns kanske inte måste fastställas då det analyserade resultatet också kan vara behäftat med en viss osäkerhet. Men

det går kanske att hitta ett intervall som indikerar när nivån för säkerheten kan börja ifrågasättas. Det viktiga är kanske inte att identifiera en gräns eller ett intervall för godtagbar säkerhet utan att kunna rangordna ett större antal järnvägstunnlar.

9 Slutsats

Projektet har haft som syfte och mål att utveckla och undersöka möjligheten använda en semikvantitativ indexmetod för att värdera säkerheten i Trafikverkets järnvägstunnlar. Detta har skett genom att föreslå ett arbetssätt eller verktyg som kan användas för att:

1. härleda säkerheten/risken i respektive järnvägstunnel (dels i relation till övriga järnvägstunnlar som Trafikverket äger och förvaltar, dels i relation till såväl tidigare som idag gällande regelverk för tunnelbyggande),
2. bestämma en anläggningsspecifik brandskyddsnivå för respektive järnvägstunnel som Trafikverket äger och förvaltar, och
3. redovisa betydelsen för olika aspekter av säkerheten i en järnvägstunnel.

Slutsatsen för arbetet är

- att en semikvantitativ indexmetod är utvecklad som kan användas för att värdera säkerheten i Trafikverkets järnvägstunnlar,
- att det övergripande säkerhetsindex som metoden resulterat i kan brytas ner i delindex som fokuserar på delar av det övergripande målet med säkerhet där ett sådant delindex kan beskriva tunnelns brandskyddsnivå,
- att en tillämpning av metoden visat på möjligheten att bestämma så kallade säkerhetsindex för fem järnvägstunnlar som bedöms vara relevanta i förhållande till en kvalitativ bedömning av motsvarande tunnlar säkerhetsnivå,
- att tillämpningen även visar på en liten osäkerhet avseende individuella bedömares graderingar,
- att metoden i sig innehåller en bestämning av egenskaper som är väsentliga för en tunnels säkerhet och hur betydelsefulla dessa är för tunnelns totala säkerhet och
- att metodiken för utvecklingen som använts i rapporten presenteras på ett sådant sätt att den kan tillämpas vid framtagning av metoder för bedömning av säkerhet för andra tillämpningsområden.

10 Referenser

BVH 541.3 (1993). Järnvägstunnlars utformning och utrustning med avseende på säkerhet. Banverket, Borlänge.

BVH 585.30 (1997). Säkerhet i järnvägstunnlar, Ambitionsnivå och värderingsmetodik. Banverket, Borlänge.

BVH 585.30 (2007). Personsäkerhet i järnvägstunnlar, Handbok för analys och värdering av personsäkerhet i järnvägstunnlar. Banverket, Borlänge.

BVS 585.40 BV Tunnel. Banverket, Borlänge.

Dittmer T (2007). Brandprovning av brandskyddande drän. Brandskyddslaget, Stockholm.

Dittmer T (2008). Analys av brandförsök 2007-11-09, Skyddade drän. Brandskyddslaget, Stockholm.

ERA (2014). Guide for the application of SRT TSI. European Railway Agency, Valenciennes Cedex.

Forssberg M, Frantzich H, Elias A, Lundin J (2004). Evacuation through inward opening doors – Literature study and evacuation experiments, Brandskyddslaget, Stockholm.

Frantzich, H. (2000) Brandskyddsvärdering av vårdavdelningar, ett riskanalysverktyg. SRV Rapport P21-347/00, SRV, Karlstad.

Frantzich H (2018). Brandskyddsvärdering av flerbostadshus BSV-FB, Rapport 3216, Brandteknik, Lunds universitet, Lund.

Frantzich, H; McNamee, M; Kimblad, E and Meacham, B C (2024). Decision Support Framework for Sustainable and Fire Resilient Buildings (SAFR-B). Fire Technology, DOI : 10.1007/s10694-024-01678-7

Fredén S. (1994). Om sannolikhet för järnvägsolyckor med farligt gods. VTI rapport nr 387:2. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping.

Fridolf, K. (2021). Tunnelsäkerhet järnväg: En nulägesbeskrivning och analys av teknikområdesgruppen ur ett förvaltningsperspektiv (TRV 2021/71406). Trafikverket, Borlänge.

Hallandsås (2003). Säkerhetsvärdering av Hallandsåstunneln enligt BVH 585.30. Swepro, Stockholm.

- Hallin H & Helin J, (2018). Intervjuer. Studentlitteratur, Lund.
- Hermansson H (2000). Utvärdering av riskverktyget
Brandskyddsvärdering av vårdavdelningar - jämförelse med
händelseträdsanalys. Rapport 5072, Brandteknik, Lunds universitet,
Lund.
- Holme I,M, & Solvang B,K, (1997). Forskningsmetodik – Om kvalitativa
och kvantitativa metoder. 2:a upplagan. Studentlitteratur, Lund.
- Holmstedt Jönsson O, Nordenö C (2024). Värdering av kostnader och
nytta av säkerhetshöjande åtgärder i järnvägstunnlar: fördjupad studie.
Publikation 2024:037. Trafikverket, Sundbyberg.
- Häggström J. (2015). Metodbeskrivning–jämförande analys. Faveo
Projektledning AB, Solna.
- Införandeplan för ERMTS 2015-2025 (2015). Rapport TRV 2015/63202,
Trafikverket, Solna.
- IRS (2021). Safety in rail tunnels. IRS 70779-9. International Rail
Solution. International Union of Railways, Paris.
- Kvale S, (1997). Den kvalitativa forskningsintervjun. Studentlitteratur,
Lund.
- Linstone H & Turoff M, (1975). The Delphi Method: Techniques and
Applications, Addison-Wesley.
- Lundin J, Fridolf K (2023). Riskbedömning Skrotning av
nödtelefonisystem i Trafikverkets järnvägstunnlar. Trafikverket, Malmö.
- MSB (2017). Vägledning för skyfallskartering. Myndigheten för
samhällsskydd och beredskap, Karlstad.
- MSB (2019). Villkor för Rakeltäckning i publika tunnlar Revision 2.0,
Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Karlstad.
- Olycksrisk (2017). Utredning Dubbelspår Ängelholm-Helsingborg,
Romares väg. PM 2017-03-02, ärendenummer 2014/71699. Trafikverket.
- Ostlänken (2018). Kvantitativ riskanalys. Trafikverket.
- Saaty T.L. (1987). The Analytical Hierarchy Process. What it is and how it
is used. Math Modelling 9, pp 161-176.
- Saaty T.L. (1990). How to make a decision: The Analytical Hierarchy
Process. European Journal of Operation Research 48, 9-26.

Shields T.J., Silcock G.W. (1986). An Application of the Hierarchical Approach to Fire Safety. Fire Safety Journal Vol 11, pp 235-242.

Stollard P. The Development of a Points Scheme to Assess Fire Safety in Hospitals. Fire Safety Journal Vol 7, pp 145-153, 1984.

TDOK 2013:0689 (2030). Detektorer, krav vid val av detektorplats, ver 3.0. Trafikverket.

TDOK 2014:0690 (2015). BVS 1592.0201 - Detektorer - Förutsättningar för varmgångs- och tjuvbromsdetektering av järnvägsfordon, ver 1.0. Trafikverket.

TDOK 2020:0074 (2025). Detektorer. Hantering av larm samt åtgärder efter konstaterade skador, ver 3.0. Trafikverket.

TDOK 2016:0231 (2016). Krav Tunnelbyggande, ver 1.0. Trafikverket.

TDOK 2016:0232 (2016). Råd Tunnelbyggande, ver 1.0. Trafikverket.

TDOK 2019:0174 (2022). Säkerhetsbesiktning - periodicitet. Version 3.0, Trafikverket.

TDOK 2021:0479 (2023). Säkerhetsbesiktning - Byggnadsverk järnvägstunnel, bergskärning och stödmur. Trafikverket.

TDOK 2023:0185 (2023). Övningar i Trafikverkets järnvägstunnlar inom verksamhetsområde Underhåll. Trafikverket, Borlänge.

TDOK 2023:0190 (2023). Systematiskt brandskyddsarbete. Trafikverket, Borlänge.

TDOK 2023:0191 (2023). Systematiskt brandskyddsarbete. Trafikverket, Borlänge.

TDOK 2024:0027 (2024). Räddningsplaner för järnvägstunnlar inom verksamhetsområde Underhåll. Trafikverket.

TRVINFRA-00151 (2020). Krav med rådtext Belysning i järnvägsmiljö. Trafikverket, Borlänge.

TRVINFRA-00215 (2021). Krav med rådtext Inspektion av tunnel och bergkonstruktioner. Trafikverket, Borlänge.

TRVINFRA-00233 (2021). Krav med rådtext Tunnelbyggande. Trafikverket, Borlänge.

TRVK Tunnel 11 (2011). Trafikverkets tekniska krav Tunnel, TRV publ 2011:087. Trafikverket.

TRVR Tunnel 11 (2011). Trafikverkets tekniska råd Tunnel, TRV publ 2011:088. Trafikverket.

TSD Säkerhet i järnvägstunnlar 1303/2014 (2019). Teknisk specifikation för driftskompatibilitet (TSD) avseende "säkerhet i järnvägstunnlar" i järnvägssystemet i Europeiska unionen.

UIC Codex (2002). Safety in Rail tunnels. UIC 779-9 Draft 1 edition.

UIC 777-2R (2002). Structures Built Over Railway Lines - Construction requirements in the track zone, 2nd ed. International union of railways, Paris.

Utlåtande (2009). Oinsprutad brandskyddad dränmatta. DNr Fo7-1523/BY10, Banverket.

Varbergstunneln (2019). Säkerhetsanalys version 1.0. Trafikverket.

Watts J.M., Kaplan M.E. (1998). Development of a Prototypical Historic Fire Risk Index to Evaluate Fire Safety in Historic Buildings. Fire Safety Institute, Middlebury.

Watts Jr JM (2016). Fire Risk Indexing, in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Hurley et al. Eds., 2016, pp. 3158-3182. doi: 10.1007/978-1-4939-2565-0_82.

Yoon K.P., Hwang C.L. Multiattribute decision making, An introduction. SAGE University Paper 07-104, Thousand Oaks, 1995.

Bilagor

Bilaga 1: Sammanfattning av krav i det första samt nu gällande regelverket om tunnelsäkerhet

Tabell 1. Krav enligt normal- respektive tilläggsstandard i BVH 541.3.

Krav	Normalstandard	Tilläggsstandard
Allmänt	Tillämpning av minimisektioner (tvärsnitt) och förebyggande av svallis och istappsbildning.	Körbar ballast (banunderbyggnad) om räddningstjänst saknade spårbundna räddningsfordon samt vändnischer med c/c 1000 m.
Dränering och avlopp	Uppsamlingsmagasin för släckvatten och farligt gods anslutet till dränering där tunnlar anslöt till känsliga områden, grundvattentäkter eller motsvarande.	N/A
Utrymningsvägar	Handföljare och gångväg på båda sidor; jämn beläggning eller överyta på ena och makadamballast på andra.	Förbindningstunnlar med c/c 1000 m vid utförande med två parallella enkelspårstunnlar med 60 minuters brandmotstånd i avskiljande avseende. Utrymningstunnlar till det fria alternativt utsprängda uppehållsrum skulle övervägas vid utförande med enkelspårstunnel.
Tillfartsvägar	Väganslutning till tunnelmynning samt uppställnings- och vändplan för räddningsfordon i närhet av mynning.	Tillfartsväg via annan parallell trafiktunnel eller särskilt byggd sidotunnel skulle övervägas som komplement.
Förråd för räddningsmateriel	N/A	Förråd förr viss räddningsmateriel skulle övervägas om tunnelmynningar

Krav	Normalstandard	Tilläggsstandard
		inte kunde nås under alla tider på året och avstånd till farbar väg var stort.
Spårutformning	Utformning enligt tillämpliga föreskrifter från Banverket, undvikande av växlar samt anordnade av skyddsräler enligt BVF 541.53.	N/A
Skyltar	Skyltar med avståndsangivning till tunnelmynningar respektive utrymningsgångar och riktning till närmaste telefon med c/c 100 m och i anslutning till belysning.	N/A
Signaler för tåg	Stoppsignal ca. 200 m före tunnelmynningar i dubbelspårstunnlar.	N/A
Telekommunikation	Telefoner (Banverkets nät) vid tunnelmynningar och i tunnel med c/c 300 m. Radiotäckning inkl. system för räddningsradio i samråd med berörda myndigheter. Reservkraftförsörjning och kraftmatning från två olika håll med minst tolv timmars batterireserv.	Möjlighet för berörda myndigheter att utföra installationer för NMT, GSM, personsökarsystem och riksradio.
Varningssystem	N/A	Automatiskt brandlarm i närhet av driftutrymmen som kan orsaka brand i tunnel, t.ex. transformatorstationer och ställverk. Möjlighet till indikering av var tåg finns i tunnel genom

Krav	Normalstandard	Tilläggsstandard
		sektionering via spårledning; sektionering i minst fyra delar och fler vid tunnlar längre än 2000 m (största längd 500 m). Övervägande av detektorer för varmgång, tjuvbroms, profil, hjulplattor, m.m. på lämpligt avstånd från tunnelmynning för tunnlar i klass C.
Kontaktledning	N/A	Övervägande av sektionerad kontaktledning i tunnlar med sådan längd att två tåg kan befinna sig på samma spår i tunneln.
Elcentraler	Elcentraler utanför tunnel om möjligt. I annat fall i nischer.	N/A
Kablar och kabelförläggning	Skyddsjordning av lina och kabelstege i en punkt. Kabelkanaler i betong eller annat brandbeständigt material. Valfri kabelförläggning.	Kabelförläggning rekommenderades i kabelkanaler av betong. Elkablar av brandbeständigt material.
Reservkraft	N/A	Reservkraft till ventilation om sådan anordnad med matar- och manöverledningar i brandhärddigt utförande.
Normalbelysning	Armaturer max 4,0 m över RÖK. Korsvis placering med avstånd som bestämdes av storlek på ljuskälla och armaturens ljusfördelningskurva. Minst 3 lux mellan armaturer.	N/A
Nödbelysning	Armaturer max 0,8 m över RÖK. Korsvis placering med	N/A

Krav	Normalstandard	Tilläggsstandard
	c/c 25 m. Automatisk tillkoppling vid strömbortfall.	
Eluttag	1-fas dubbeluttag, 10 A vid varje armatur för normalbelysning. 3-fasuttag först efter konstaterat behov i samråd med räddningstjänst.	N/A
Ordinarie ventilation	N/A	Utredning av behov av anordningar för forcerad ventilation, exempelvis p.g.a. användning av dieseldrivna fordon vid underhållsarbete.
Nödventilation	N/A	Utredning av behov av anordningar för forcerad ventilation, med hänsyn till rök- och gasutveckling vid olycka, via särskilda ventilationsvägar skulle övervägas endast i speciella fall. Det senare avsåg om tunneln inte kunde tillåtas bli ventilerad på naturligt sätt via mynningar, p.g.a. hinder i omgivningen, etc.
Släckvattensystem	N/A	Rörsystem med brandposter för släckvatten. Brandposter med kapacitet 1800 l/min vid 20 mvp med lämpliga intervaller och i förekommande fall i tvärtunnlar. I normalfall vattenfylt eller tomt skulle avgöras i samråd med räddningstjänst.

Tabell 2. Krav på säkerhetsåtgärder för delsystemen infrastruktur och energi samt driftsbestämmelser i TSD:n avseende "säkerhet i järnvägstunnlar" (1303/2014).

Tunnellängd [km]			Kravsammanfattning
0,1-0,5	>0,5-1	>1	
Förhindrande av obehörigt tillträde till nödutgångar och teknikrum			Förhindrande av obehörigt tillträde och möjlighet att öppna nödutgångar som är låsta av säkerhetsskäl.
Brandmotstånd i tunnelkonstruktionen			Inklädnadssystem ska motstå brandpåverkan under tidsperiod som är tillräcklig för att medge självräddning, utrymning och räddningsinsats.
Byggnadsmaterials tekniska egenskaper			Byggnadsmaterial ska uppfylla lägst brandteknisk klass A2, ytskikt som inte hör till bärande huvudsystem B och exponerade kablar B2ca-s1a,a1 (undantag medges för material som inte bidrar väsentligt till brandbelastningen).
	Branddetektering i teknikrum		Övervakning av driftutrymmen med larmöverföring till infrastrukturförvaltaren.
	Säker plats		
	Tillträde till den säkra platsen		Laterala och/eller vertikala nödutgångar till markytan med c/c 1000 m eller tvärtunnlar mellan angränsande tunnelrör med c/c 500 m. Dörrar till säker plats med fri öppning 1,4 x 2 m.
	Kommunikationsmetod på säkra platser		Mobiltelefon (GSM-R) eller fast förbindelse.
	Nödbelysning		Belysning med alternativ strömförsörjning ovanför gångbana eller inbyggd i ledstänger så att minst 1 lux uppnås på gångbanans nivå på ena sidan i enkelspårs- och båda sidorna i dubbelspårstunnlar.
Vägledande markering			Hänvisningsskyltar för utrymning med information om avstånd och riktning till

Tunnellängd [km]			Kravsammanfattning
0,1-0,5	>0,5-1	>1	
			säker plats med c/c 50 m samt brandredskapsskyltar, m.m.
Utrymningsvägar			Gångbanor med ledstänger på ena sidan i enkelspårs- och båda sidorna i dubbelspårstunnlar minst 0,8 x 2,25 m fri bredd/höjd.
Utrymnings- och räddningsplats			Utanför tunnel >1 km (500 m ²) samt i tunnel (tillräckligt stor för att möjliggöra utrymning till slutgiltig säker plats) med c/c 5 eller 20 km beroende på kategori av rullande materiel för persontrafik utrustade med vattenförsörjning (800 l/min i 2 timmar).
Nödkommunikation			Radiokommunikation via GSM-R och radiotäckning som möjliggör för räddningstjänsten att kommunicera vid räddningsinsats.
Elförsörjning för räddningstjänst			Kompatibelt med räddningstjänstens utrustning.
Elektriska systems tillförlitlighet			Elektriska system som krävs för passagerarnas säkerhet ska kunna bibehållas i drift så länge som det krävs för utrymningen och alternativ strömförsörjning ska finnas.
Kommunikation och belysning vid elkopplare			Kommunikationsutrustning och belysning vid elkopplare.
Sektionering av kontaktledning			Möjlighet att koppla bort enskilda sektioner om kontaktledning uppdelad i sektioner.
Jordning av kontaktledning			Anordningar för jordning vid mynningar och i närhet av ev. delningspunkter mellan sektioner (transporterbara eller fasta anordningar).

Tunnellängd [km]			Kravsammanfattning
0,1-0,5	>0,5-1	>1	
Bestämmelser för nödsituationer			Övervakning av tågs tillstånd innan det kör in i tunnel samt vid olycka stoppa tåg innan tunnel alternativt köra ut tåg ur tunnel.
			Räddningsplan som stämmer överens med anordningar för självräddning, utrymning, brandbekämpning och räddningsinsatser.
			Övningar
			Fullskalig övning som innefattar utrymning och räddningsförfaranden innan öppnande.

Bilaga 2. Intervjufrågor till internationella tunnelförvaltare.

The purpose of the tool is to facilitate a systematic analysis of the condition of the tunnels with respect to safety, to serve as a basis for prioritizing maintenance measures.

The safety assessment tool will evaluate a number of parameters that together provide information about the tunnel's safety status, in contrast to a more detailed risk analysis. Using the assessment tool can be like measuring temperature, here “safety temperature”.

In this first stage we ask for your assistance by answering a few questions related to tunnel safety. In a first stage, we are interested in getting an overview of similar work or tools within Europe. The answers will be kept within the project team unless you consent to allow publication.

Info on how the collected material will be used.

No detailed information about specific tunnel installations will be mentioned that could be problematic with respect to confidential information.

No name will be mentioned in association to specific information. Name only in report Acknowledgement (if permitted).

Initial questions

1. What is your role in your organization?
2. If related to safety (protecting against fire, explosion, toxic substance release etc), how long have you had this role?
3. How many colleagues work with the same type of questions in your organization?
4. Educational background?

Specific questions on a similar tool (elaborate around)

5. Does your organization use a tool to systematically assess safety levels in railway tunnels? Please describe.
6. What information or parameters do you use to assess the safety level?
7. If you use specific parameters, how is safety assessed?

8. Are parameters aggregated to a safety value, how? Similar to previous question.
9. Is there a minimum requirement for each parameter?
10. How often do you collect information about the status of the parameters?
11. How do you use the information obtained from your tool/procedure? In practice.
12. If you currently have no tool to assess the level of safety in railway tunnels, how is the assessment made of which tunnels need to be prioritized regarding maintenance measures?
13. What is the requirement for the systematic risk assessment and/or maintenance planning tool in your organization (i.e. to work according to EU commission directive 2018/798)?

Specific questions on how assessment is performed in practice (elaborate around)

14. Is the assessment work something that you or your colleagues do, or does it have to be done by an external expert (external company or organization)?
15. What is the expected competence required to perform a safety assessment according to your current procedures or tools?
16. Do you have the ability to continuously monitor the status for rail tunnels with focus on safety or is it performed at once at a time basis? If so, what indicators do you use to monitor?

Thank you for your participation. You will have the opportunity to review my notes from the interview before they are published.

Bilaga 3. Skador som ska bedömas för parametern 'Risk för nedfallande föremål i eller utanför tunneln' i attribut 2.

Nedanstående konstruktionselement och konstruktionsdelar ska inkluderas i bedömningen av risken för nedfallande föremål. Endast skador som klassificeras som TK2 eller TK3 ska ingå i beräkningen av antalet skador. Klassificeringen TK2 beskrivs som 'Bristfällig funktion inom 3 år' och TK3 som 'Bristfällig funktion vid inspektionstillfället'. Skadetyperna som ska beaktas redovisas i slutet av bilagan.

För Bergslänt inkluderas följande

Huvudbärverk Huvudbärverk 610 Bergslänt

Huvudbärverk Huvudbärverk 611 Bergslänt släntfot

Huvudbärverk Huvudbärverk 612 Bergslänt krön

Huvudbärverk Huvudbärverk 620 Bergslänt förstärkning

Huvudbärverk Huvudbärverk 630 Bergslänt förstärkning bergbult

Huvudbärverk Huvudbärverk 640 Bergslänt förstärkning
sprutbetong

Huvudbärverk Huvudbärverk 650 Bergslänt ytförstärkning nät

Huvudbärverk Huvudbärverk 690 Bergslänt förstärkning infästning

Huvudbärverk Huvudbärverk 699 Bergslänt övrigt

För Tunnel inkluderas följande

Huvudbärverk (btg) Tak (valv) 610 Tak (valv)

Huvudbärverk (btg) Tak (valv) 611 Tak (valv) infästningsdetalj

Huvudbärverk (btg) Tak (valv) 612 Tak (valv) ytbehandling

Huvudbärverk (btg) Tak (valv) 613 Tak (valv) ytbeklädnad

Huvudbärverk (btg) Tak (valv) 619 Tak (valv) övrigt

Huvudbärverk (btg) Vagg 620 Vagg

Huvudbärverk (btg) Vagg 621 Vagg ytbehandling

Huvudbärverk (btg) Vagg 629 Vagg övrigt

Huvudbärverk (btg) Balk 630 Balk

Huvudbärverk (btg) Balk 631 Balk ytbehandling

Huvudbärverk (btg) Balk 639 Balk övrigt

Huvudbärverk (btg lining) Ring (prefab) 640 Ringelement

Huvudbärverk (btg lining) Ring (prefab) 641 Nyckelsten (key stone)

Huvudbärverk (btg lining) Ring (prefab) 642 Fogtätning (gadget)

Huvudbärverk (btg lining) Ring (prefab) 643 Bultgenomföring

Huvudbärverk (btg lining) Ring (prefab) 644 Övrigt

Huvudbärverk (btg lining) Ring (platsgjuten) 650 Inre betonginklädnad

Huvudbärverk (btg lining) Ring (platsgjuten) 651 Yttre betonginklädnad

Huvudbärverk (btg lining) Ring (platsgjuten) 652 Tätmembran

Huvudbärverk (btg lining) Ring (platsgjuten) 653 Fogband

Huvudbärverk (btg lining) Ring (platsgjuten) 654 Övrigt

Huvudbärverk (berg) Tak (berg) 660 Tak (berg)

Huvudbärverk (berg) Tak (berg) 661 Tak bergmassa

Huvudbärverk (berg) Tak (berg) 662 Tak selektiv bult

Huvudbärverk (berg) Tak (berg) 663 Tak upphängningsbult

Huvudbärverk (berg) Tak (berg) 664 Tak systembultning

Huvudbärverk (berg) Tak (berg) 665 Tak ytförstärkning

Huvudbärverk (berg) Tak (berg) 666 Tak valv/båge

Huvudbärverk (berg) Tak (berg) 669 Tak övrigt

Huvudbärverk (berg) Vagg (berg) 670 Vagg (berg)

Huvudbärverk (berg) Vagg (berg) 671 Vagg bergmassa

Huvudbärverk (berg) Vagg (berg) 672 Vaggselektiv bult

Huvudbärverk (berg) Vagg (berg) 673 Vagg upphängningsbult

Huvudbärverk (berg) Vagg (berg) 674 Vagg systembultning

Huvudbärverk (berg) Vagg (berg) 675 Vagg ytförstärkning

Huvudbärverk (berg) Vagg (berg) 676 Vagg valv

Huvudbärverk (berg) Vagg (berg) 677 Vagg båge

Huvudbärverk (berg) Vagg (berg) 679 Vagg övrigt

Huvudbärverk (mynning) Tunnelmynning 690 Tunnelmynning

Huvudbärverk (mynning) Tunnelmynning 691 Tunnelmynning bergbult

Huvudbärverk (mynning) Tunnelmynning 692 Tunnelmynning skyddsnät

Huvudbärverk (mynning) Tunnelmynning 693 Tunnelmynning fog

Huvudbärverk (mynning) Tunnelmynning 694 Tunnelmynning infästningsdetalj

Huvudbärverk (mynning) Tunnelmynning 695 Tunnelmynning vägg

Huvudbärverk (mynning) Tunnelmynning 696 Tunnelmynning valv

Huvudbärverk (mynning) Tunnelmynning 697 Tunnelmynning ytbehandling

Huvudbärverk (mynning) Tunnelmynning 699 Huvudbärverk (Mynning) Övrigt

Inklädnad Inklädnad 3010 Dräner

Inklädnad Inklädnad 3011 Dräner isolering

Inklädnad Inklädnad 3012 Dräner skyddstäckning

Inklädnad Inklädnad 3014 Dräner dränmatta

Inklädnad Inklädnad 3015 Dräner brandskyddstäckning

Följande skadetyper är aktuella från BATMAN:

Spjälkning

Utfall

Bomt (berg)

Spricka (samtliga varianter)

Lös

Saknas

Hål/rev

Bilaga 4. Sammanställning av fokusgruppernas bedömning

Fokusgrupperna bedömde relationen utifrån skalan 0 – 10.

Attribut till strategi – Slutligt val		S1. Förebygga att olyckan inträffar	S2. Begränsa olyckans omfattning, utbredning eller allvarlighet	S3. Utrymna tunneln på egen hand	S4. Rädda personer som inte har förmåga att utrymna på egen hand
A1. Tågtrafik och drift		10,0	8,0	1,0	1,0
A2. Tunnelns konstruktion		7,0	4,0	3,0	8,0
A3. Spår- och trafikegenskaper		9,0	4,0	2,0	0,0
A4. Tunnelns passiva brandskydd		2,0	10,0	3,0	2,0
A5. Tunnelns aktiva skydd mot och vid brand, utsläpp och explosion		3,0	9,0	1,0	8,0
A6. Vägar för utrymning		0,0	0,0	10,0	9,0
A7. Installationer för utrymning		0,0	0,0	10,0	6,0
A8. Räddningstjänst		0,0	7,0	2,0	10,0
A9. Organisatoriska skyddsåtgärder		4,0	8,0	7,0	9,0
A10. Externa faror		9,0	0,0	0,0	0,0
Strategi till delmål – Slutligt val		D1. Förmåga att hantera heta olyckor	D2. Förmåga att hantera kalla olyckor	D3. Förmåga att hantera längre uppehåll	
S1. Förebygga att olyckan inträffar		10,0	10,0	4,0	
S2. Begränsa olyckans omfattning, utbredning eller allvarlighet		8,0	9,0	2,0	
S3. Utrymna tunneln på egen hand		10,0	1,0	0,0	
S4. Rädda personer som inte har förmåga att utrymna på egen hand		7,0	9,0	2,0	
Delmål till mål – Slutligt val		M. Förmåga att hantera personsäkerhet vid tunnelspecifika olyckscenarier			
D1. Förmåga att hantera heta olyckor		9,0			
D2. Förmåga att hantera kalla olyckor		10,0			
D3. Förmåga att hantera längre uppehåll		1,0			

Bilaga 5. Delphideltagarnas sammanställda bedömningar

Delphideltagarna bedömde relationen utifrån skalan 0 – 9, se tabell 3 i avsnitt 6.2.2.

[illegible]

Delmål 1. Förmåga att hantera heta olyckor	S1. Förebygga att olyckan inträffar		S2. Begränsa olyckans omfattning, utbredning eller allvarighet		S3. Utrymma tunneln på egen hand		S4. Rädda personer som inte har förmåga att utrymma på egen hand	
	1,0	1,0	3,0	1,8	2,5	2,0	3,8	1,3
	1,8	3,0	1,0	1,0	1,5	2,8	3,3	1,0
	2,0	2,5	2,8	1,5	1,0	1,0	4,8	1,0
	1,3	3,8	1,0	3,3	1,0	4,8	1,0	1,0
Delmål 2. Förmåga att hantera kalla olyckor	S1. Förebygga att olyckan inträffar		S2. Begränsa olyckans omfattning, utbredning eller allvarighet		S3. Utrymma tunneln på egen hand		S4. Rädda personer som inte har förmåga att utrymma på egen hand	
	1,0	1,0	4,3	1,3	4,8	1,8	3,7	1,2
	1,3	4,3	1,0	1,0	3,3	1,7	3,1	1,0
	1,8	4,8	1,7	3,3	1,0	1,0	2,9	1,8
	1,2	3,7	1,0	3,1	1,8	2,9	1,0	1,0
Delmål 3. Förmåga att hantera längre uppehåll	S1. Förebygga att olyckan inträffar		S2. Begränsa olyckans omfattning, utbredning eller allvarighet		S3. Utrymma tunneln på egen hand		S4. Rädda personer som inte har förmåga att utrymma på egen hand	
	1,0	1,0	5,2	1,0	5,9	1,0	5,4	1,0
	1,0	5,2	1,0	1,0	3,5	1,2	4,0	1,2
	1,0	5,9	1,2	3,5	1,0	1,0	2,1	1,2
	1,0	5,4	1,2	4,0	1,2	2,1	1,0	1,0

Anläggningen ska ha [en] förmåga att hantera personsäkerhet vid tunnelspecifika olycksscenarier.	D1. Förmåga att hantera heta olyckor			D2. Förmåga att hantera kalla olyckor			D3. Förmåga att hantera längre uppehåll		
	1,0		1,0	2,2		1,0	5,3		1,2
	1,0	2,2		1,0	1,0		4,6		1,2
	1,2	5,3		1,2	4,6		1,0	1,0	

Bilaga 6 Parametervikter

Redovisning av underlag för beräkning av parametrars betydelse för respektive attributvärde

	Grupp 1	Grupp 2	Valt värde
A1. Tågtrafik och drift			
Högsta tillåtna hastighet	10	5	10
Antal tåg per dygn	70	50	60
Fördelning mellan olika tågslag	10	35	20
System för kommunikation för tågpersonal (GSM-R)	10	10	10
	100	100	
A2. Tunnelns konstruktion			
Risk för nedfallande föremål i eller utanför tunneln	5	5	10
Tunnellängd	70	40	60
Tillgänglighet till mynning	5	30	20
Skydd mot nedfallande föremål	10	10	
Isbildning utanför spårområdet i trafiktunneln	10	15	10
	100	100	
A3. Spår- och trafikegenskaper			
Enkelspår eller flera spår	20	25	20
Urspårningsskydd	5	25	10
Spårväxlar i tunnelns närhet	25	40	40
Signal- och trafikstyrningssystem	50	10	30
	100	100	
A4. Tunnelns passiva brandskydd			
Tunnelns ytskikt avseende inklädnader och inredning	60	40	60
Elkablar i trafikutrymmet	30	10	30
Brandteknisk avskiljning mellan trafikutrymme och sidoutrymme med nödlägesfunktion	10	50	10
	100	100	
A5. Tunnelns aktiva skydd			
Aktiva brandbegränsande system	4	15	10
Kameraövervakning och lokalisering av stillastående tåg	48	30	30
Detektionssystem	48	50	50
Hantering av kontaminerat vatten eller utsläpp	0	5	10
	100	100	

I attribut 2 har en tidigare aktuell parameter (Skydd mot nedfallande föremål) integrerats i den första parametern (Risk för nedfallande föremål i eller utanför tunneln). Då arbetet med fokusgrupperna genomfördes var dessa två parametrar separerade.

A6. Vägar för utrymning			
Avstånd mellan utrymningsvägar (inklusive tunnelns myr	45	40	40
Utformning av gångbana utmed spåren	35	30	30
Dörrar för utrymning från trafikutrymmet	15	20	20
Utrymningsväg och säker plats	5	10	10
	100	100	
A7. Installationer för utrymning			
Belysning av gångvägar för utrymning i trafiktunnel och s	10	10	10
Utrymningsbelysning	60	40	40
Utrymningsskyltar mm (vägledande markeringar)	30	50	50
	100	100	
A8. Räddningstjänst			
Första insatsstyrka	40	40	40
Utrymnings- och räddningsplats	25	30	30
Räddningstjänstens möjlighet till kommunikation	25	20	20
Tillgång till släckvatten	10	10	10
	100	100	
A9. Organisatoriska skyddsåtgärder			
Trafikcentralens förutsättningar att begränsa en olyckas	20	20	20
Planering för olyckshändelse	15	20	10
Övningsverksamhet	15	20	20
Drift- och underhållsfunktioner	50	40	50
	100	100	
A10. Externa faror			
Obehöriga personer	80	10	60
Skador på grund av oönskat vatten på mark (översvämni	10	45	20
Skador på grund av ras eller skred (orsakat av hastigt up	10	45	20
	100	100	

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1

Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

trafikverket.se