

Bränder i vägtunnlar - nyttan med hjälptelefoner och handbrandsläckare

Filip Drakenberg - Lucas Persson

BRANDTEKNIK | LTH | LUNDS UNIVERSITET



**Bränder i vägtunnlar – nyttan med hjälptelefoner och
handbrandsläckare**

**Filip Drakenberg
Lucas Persson**

Lund 2026

Bränder i vägtunnlar – nyttan med hjälptelefoner och handbrandsläckare
Road tunnel fires – the benefits of emergency telephones and portable fire extinguishers

Författare/Authors: Filip Drakenberg & Lucas Persson

Report 5758

ISRN: LUTVDG/TVBB--5758--SE

Antal sidor/Number of pages: 80

Illustrationer/Illustrations: 8

Sökord

Handbrandsläckare, hjälptelefoner, vägtunnlar, brandincidenter, tunnelbränder kostnads-
nytto-analys, nyttokostnadskvot.

Keywords

Fire extinguishers, Tunnel SOS Phone, road tunnels, fire incidents, tunnel fires, CBA, cost-
benefit analysis.

Abstract

This study applies a cost-benefit analysis methodology to evaluate the socio-economic profitability of emergency phones and portable fire extinguishers for fires in Swedish road tunnels. The benefits of each component were determined through a qualitative assessment of emergency phones and a quantitative analysis of portable fire extinguishers. The findings indicate that emergency telephones are largely redundant due to widespread mobile phone use and advanced tunnel detection systems, providing limited practical benefit at high cost. In the case of portable fire extinguishers, they show decent effectiveness primarily in small-vehicle fires. However, such fires rarely result in fatalities and, as such, extinguishers are of minimal benefit. Their effect on larger vehicle fires is negligible due to rapid fire escalation, and extinguishers are therefore unlikely to contribute meaningfully to such scenarios. The small financial benefits of portable fire extinguishers in reducing structural damage do not outweigh the costs of installation and maintenance. In summary, the analysis indicates that neither emergency telephones nor portable fire extinguishers are socio-economically justified in modern Swedish road tunnels.

© Copyright: Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2026.

Avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2026.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.brand.lth.se
Telefon: 046 - 222 73 60

Division of Fire Safety Engineering
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

www.brand.lth.se
Telephone: +46 46 222 73 60

Förord

Denna rapport har genomförts vid Avdelningen för Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola (LTH) och utgör ett examensarbete inom brandingenjörsprogrammet samt civilingenjörsprogrammet inom riskhantering. Arbetet har skrivits under höst- och vårterminen 2025 – 2026 och omfattar 30 högskolepoäng. Problemställningen togs fram i samarbete med Trafikverket.

Vi vill tacka Håkan Frantzich för hans handledning, feedback och stöd under hela arbetets gång. Vi vill rikta ett tack till Henric Modig vid Trafikverket för all hans vägledning och engagemang, samt det omfattande arbete han har lagt ner för att tillhandahålla de underlag och den data som ligger till grund för analysen i detta examensarbete. Slutligen vill vi även tacka våra kära kamrater som har gjort oss sällskap under denna tid och bidragit med god stämning och gemenskap.

Filip Drakenberg och Lucas Persson, Lund 2026.

Sammanfattning

Efter flera katastrofala bränder i vägtunnlar, däribland branden i Mont Blanc-tunneln 1999, införde EU-kommissionen år 2004 ett direktiv om säkerhetskrav i vägtunnlar. Direktivet kräver bland annat att hjälptelefoner och handbrandsläckare ska installeras i vägtunnlar längre än 500 meter som tillhör det transeuropeiska vägnätet. I takt med utvecklingen av alternativa riskreducerande åtgärder, som exempelvis mobiltelefoner och sprinkler, har nyttan med hjälptelefoner och handbrandsläckare börjat ifrågasättas. Detta examensarbete utreder därför den samhällsekonomiska lönsamheten med hjälptelefoner och handbrandsläckare i moderna svenska vägtunnlar genom litteraturstudier, platsbesök och kostnads-nyttanalyser.

I arbetet analyserades nyttan med hjälptelefoner kvalitativt, där funktionen som hjälptelefoner fyller vid bränder i vägtunnlar utvärderades baserat på incidentrapporter. Nyttan med handbrandsläckare analyserades kvantitativt med hjälp av ett händelseträd som kartlade möjliga utfall till följd av en tunnelbrand samt deras brandfrekvenser och konsekvenser. Sammantaget gav detta ett monetärt riskmått i form av uteblivna kostnader till följd av ingrepp med handbrandsläckare som sedan kunde jämföras med kostnaderna för installation och underhåll av handbrandsläckare i en tunnel.

Hjälptelefoners funktion har idag i stor utsträckning ersatts av mobiltelefoner och avancerade detektionssystem. I verkliga incidenter är det vanligare att mobiltelefoner används än hjälptelefoner för att kontakta trafikledningscentral eller räddningstjänst, och dagens detektionssystem detekterar bränder så fort att trafikanter sällan behöver använda en hjälptelefon. Således har hjälptelefoner en begränsad nytta, samtidigt som kostnaderna för att installera och underhålla dem är höga.

Handbrandsläckare placerade i tunnlar har störst potential att släcka bränder i personbilar, då tillväxthastigheten för personbilsbränder är relativt låg. Incidentstatistik och simuleringar visar dock att inga dödsfall sker till följd av personbilsbränder i moderna vägtunnlar och således gör handbrandsläckare begränsad säkerhetsmässig nytta i dessa fall. Vid bränder i bussar och tunga fordon är tillväxthastigheten för hög för att en person ska hinna hämta en handbrandsläckare monterad i tunneln innan branden blir för omfattande. Den ringa nyttan som handbrandsläckare bidrar med i tunnelbränder är en begränsning av skada på egendom och själva tunnelstrukturen. Den monetära nyttan med att begränsa sådana skador är dock inte stor nog för att väga upp för kostnaderna för att installera och underhålla handbrandsläckare i en tunnel.

Sammantaget visar resultaten att varken hjälptelefoner eller handbrandsläckare är samhällsekonomiskt lönsamma under de förutsättningar som antagits i arbetet.

Summary

Following several catastrophic fires in road tunnels, including the fire in the Mont Blanc Tunnel in 1999, the European Commission introduced a directive in 2004 establishing safety requirements for road tunnels. Among other measures, the directive requires emergency telephones and portable fire extinguishers to be installed in road tunnels longer than 500 meters that are part of the Trans-European road network. However, with the development of alternative risk-reducing measures, such as mobile phones and sprinkler systems, the usefulness of emergency telephones and portable fire extinguishers has increasingly been questioned. This master's thesis therefore investigates the socio-economic cost-effectiveness of emergency telephones and portable fire extinguishers in modern Swedish road tunnels through literature studies, site visits, and cost-benefit analysis.

In the study, the usefulness of emergency telephones was analysed qualitatively by evaluating the function they fulfil during tunnel fires based on incident reports. The usefulness of portable fire extinguishers was analysed quantitatively using an event tree that mapped possible outcomes following a tunnel fire, together with their associated fire frequencies and consequences. Overall, this resulted in a monetary risk metric expressed as avoided costs due to interventions with portable fire extinguishers, which was subsequently compared with the costs of installing and maintaining such equipment in a tunnel.

The function of emergency telephones has today largely been replaced by mobile phones and advanced detection systems. In real incidents, mobile phones are used more frequently than emergency telephones to contact traffic control centres or emergency services, and modern detection systems are sufficiently advanced to detect fires rapidly, meaning that road users rarely need to use an emergency telephone. Consequently, emergency telephones provide limited benefit while installation and maintenance costs remain high.

Portable fire extinguishers mounted in tunnels have the greatest potential to extinguish fires in passenger vehicles, as the growth rate of such fires is relatively low. However, incident statistics and simulations show that passenger-vehicle fires in modern road tunnels do not result in fatalities, and portable fire extinguishers therefore provide limited safety benefits in these cases. In fires involving buses and heavy vehicles, the fire growth rate is too rapid for a person to retrieve and use a portable fire extinguisher mounted in the tunnel before the fire escalates. The limited benefit provided by portable fire extinguishers in tunnel fires primarily consists of reducing damage to property and tunnel infrastructure. However, the monetary value of such damage reduction is insufficient to outweigh the costs associated with installation and maintenance.

Overall, the results show that neither emergency telephones nor portable fire extinguishers are socio-economically cost-effective under the assumptions adopted in this study.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Mål	2
1.4	Metod	2
1.5	Avgränsningar och begränsningar	3
2	Litteraturgenomgång	5
2.1	Metod för litteraturgenomgång.....	5
2.2	Regelverk.....	6
2.3	Branddynamik i tunnlar.....	7
2.4	Brandsäkerhetssystem i Trafikverkets vägtunnlar	8
2.4.1	Trafikverkets säkerhetskoncept för brandskydd i vägtunnlar.....	8
2.4.2	Ventilation	9
2.4.3	Utrymning och räddningsinsats	10
2.4.4	Brandbekämpning	11
2.5	Brandfrekvens för vägtunnlar	12
2.6	Människors beteende vid brand i vägtunnlar.....	13
2.7	Utrymningsprocessens tidskomponenter.....	14
2.8	Underlag för konsekvensuppskattning	15
2.9	Bränder i elektriska fordon.....	15
2.10	Historisk användning av hjälptelefoner vid bränder i vägtunnlar.....	16
2.11	Effektivitet av handbrandsläckare.....	17
2.11.1	Historisk användning av handbrandsläckare vid brand i vägtunnlar	17
2.11.2	Handbrandsläckares kapacitet att släcka en fordonsbrand	19
2.11.3	Kunskap om handbrandsläckare, dess användning och riskminskningseffekt ..	19
2.11.4	Tillväxthastighet för fordonsbränder.....	20
3	Riskbedömning	21
3.1	Risikanalys.....	21
3.2	Riskvärdering.....	22
3.3	Riskreduktion.....	22
3.4	Monetär värdering av ett statistiskt liv	22
4	Förutsättningar för analys	25
4.1	Analysmetod	25
4.2	Generisk tunnel	26

4.2.1	Geometrisk utformning	26
4.2.2	Säkerhetskoncept	26
4.2.3	Brandskyddsåtgärder	26
4.2.4	Ventilation	26
4.2.5	Utrymningsvägar.....	27
4.3	Kostnader för hjälptelefoner och handbrandsläckare.....	27
4.3.1	Annuitet	27
4.3.2	Hjälptelefoner	28
4.3.3	Handbrandsläckare	30
5	Analys och resultat av hjälptelefoner	33
5.1	Värdering av nyttan med hjälptelefoner	33
5.2	Kopplingar till regelverk	34
5.3	Resultat	35
6	Analys och resultat av handbrandsläckare.....	37
6.1	Antaganden och systemavgränsningar	37
6.1.1	Fordonstyp	37
6.1.2	Brandtyp	37
6.1.3	Trafiktäthet	39
6.1.4	Släckningssannolikhet	39
6.1.5	Sprinkleraktivering.....	40
6.1.6	Köbildning	40
6.1.7	Ventilationsstrategi	41
6.2	Kvantifiering av frekvens och sannolikhet för delhändelser i händelseträdet.....	42
6.2.1	Fordonstyp	44
6.2.2	Brandtyp	45
6.2.3	Trafiktäthet	48
6.2.4	Släckningssannolikhet	48
6.2.5	Sprinkleraktivering.....	51
6.2.6	Köbildning	51
6.2.7	Ventilationsstrategi	52
6.3	Kvantifiering av konsekvenser för varje brandscenario.....	53
6.3.1	Övriga konsekvenser	55
6.3.2	Dödsfall	58
6.4	Resultat	61
6.5	Känslighetsanalys	62

6.5.1	Variering av indata.....	62
6.5.2	Resultat av känslighetsanalys	64
7	Diskussion.....	67
7.1	Hjälptelefoner	67
7.2	Handbrandsläckare.....	68
7.2.1	Tolkning av resultat.....	68
7.2.2	Känslighetsanalys.....	69
7.2.3	Osäkerheter	71
7.2.4	Externa effekter.....	73
7.2.5	Validitetsbedömning	75
8	Slutsats.....	77
9	Framtida beslut och forskning.....	79
9.1	Framtida beslut	79
9.2	Framtida forskning.....	79
	Referenser	81
	Bilaga A Känslighetsanalys	87
	Bilaga B Redovisning av användning av generativ AI	89

1 Inledning

Nedan ges en kort beskrivning av planerade och pågående vägtunnelprojekt i Sverige, följt av en redogörelse för den risk som bränder medför i vägtunnlar. Vidare presenteras problemformuleringen samt syfte, mål och övergripande metod. Avslutningsvis beskrivs vilka avgränsningar och begränsningar som ligger till grund för arbetet.

1.1 Bakgrund

Tvärförbindelsen Södertörn och Förbifart Stockholm är exempel på två av många projekt i Sverige där vägtunnlar anläggs för att möjliggöra säkrare trafik, ökad tillgänglighet och alternativa vägar för transport av gods (Trafikverket, 2025). Förbifart Stockholm är en utsträckning av E4:an väster om Stockholm och förväntas vara redo för trafik 2030. Den är 21 km lång och de största delarna av förbifarten består av vägtunnlar. Syftet med projektet är att binda ihop norra och södra Stockholm för att skapa möjligheter för utveckling i en växande region (Trafikverket, 2026). Tvärförbindelse Södertörn är en planerad vägtunnel i Stockholm som ska utgöra ett säkrare och mer tillgängligt alternativ till väg 259 i södra Stockholm (Trafikverket, 2025).

Vägtunnlar skapar dock inte enbart möjligheter utan även utmaningar med tillhörande konsekvenser om dessa inte tas i beaktande. En händelse som starkt visar på detta är branden i Mont Blanc-tunneln år 1999 som orsakade att 39 personer omkom och 34 fordon brann upp. Branden tog hela 53 timmar att bekämpa och en annars vältrafikerad vägtunnel stod avstängd i flera år. Dessa omfattande konsekvenser gjorde ett stort avtryck på omvärlden, och efter ytterligare brandincidenter i vägtunnlar som tillhör transeuropeiska transportnätverket (TEN-T) tvingades EU se över säkerheten i vägtunnlar (Gehandler, 2020).

År 2004 gav EU-kommissionen ut ett direktiv gällande minimikrav för säkerhet i vägtunnlar som ingår i TEN-T. Direktivet innehåller regler gällande utformningen av vägtunnlar med fokus på säkerhet och ställer krav på att en riskanalys ska genomföras vid nybyggnation av vägtunnlar (TRVINFRA-00233, 2025). I direktivet ställs även krav på riskreducerande åtgärder och bland de åtgärder som det ställs krav på i tunnlar återfinns hjälptelefoner och handbrandsläckare.

Ursprungligen var syftet med att kravställa hjälptelefoner och handbrandsläckare i vägtunnlar att trafikanter på egen hand skulle kunna tillkalla hjälp och släcka bränder. I dagsläget har dock syftet och användningen av dessa ifrågasatts i samband med moderna tekniska installationer och nya, mer oförutsägbara hot. Samtidigt är det kostsamt att både installera och regelbundet underhålla det stora antalet hjälptelefoner och handbrandsläckare som behöver finnas i en vägtunnel (H. Modig, personlig kommunikation, 3 juni 2025). Sammantaget blir det således relevant att utreda huruvida nyttan som dessa hjälpmedel bidrar med faktiskt väger upp kostnaderna för dem. Trafikverket har därför beslutat att utreda detta och på grund av det inleddes detta examensarbete.

Problemformuleringen lyder:

Med hänsyn till gällande regelverk, direktiv och de normer som för nuvarande råder kring säkerhet i vägtunnlar i Sverige, samt baserat på en jämförelse mellan de kostnader och den nytta som åtgärderna tillför, är hjälptelefoner och handbrandsläckare samhällsekonomiskt lönsamma i samband med bränder i vägtunnlar?

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utvärdera huruvida hjälptelefoner och handbrandsläckare är samhällsekonomiskt lönsamma vid bränder i vägtunnlar.

1.3 Mål

Målet med examensarbetet är att analysera befintlig litteratur och kunskap om tunnelbränder samt effekterna av hjälptelefoner och handbrandsläckare i samband med dessa, och genom en kostnads-nytto-analys utvärdera de samhällsekonomiska kostnaderna och nyttorna som följer med respektive åtgärd.

Vidare är målet att bidra med underlag för framtida beslut gällande dimensionering och justering av brandsäkerhetskrav i framtida vägtunnelprojekt i Sverige, och de investeringar som görs i samband med dessa.

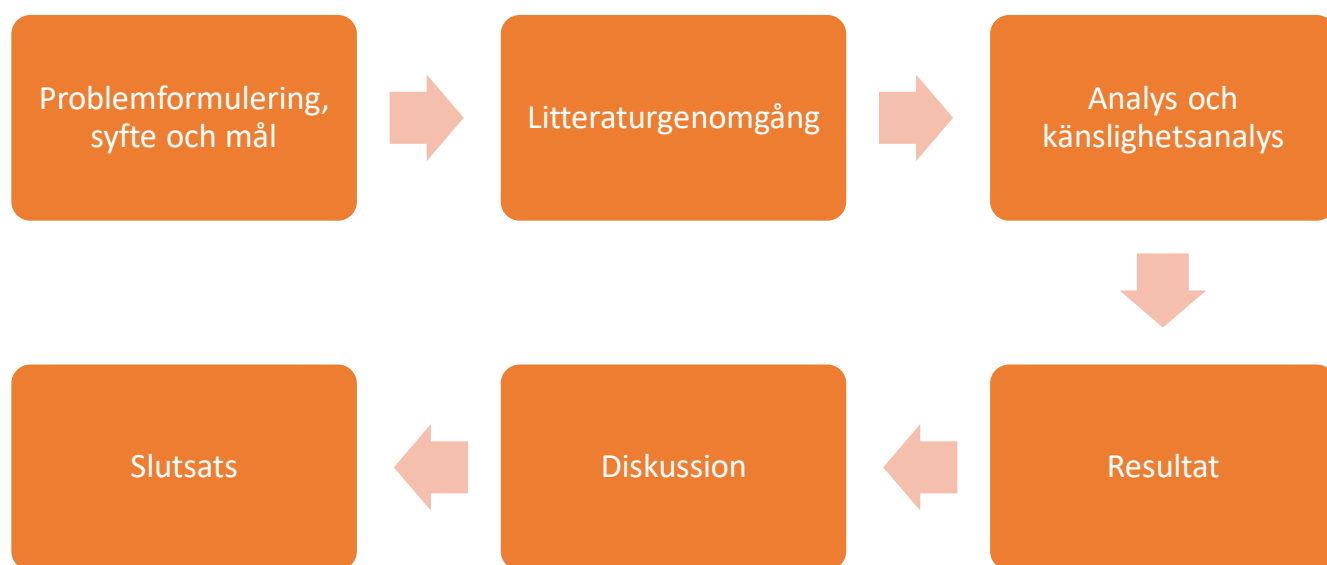
1.4 Metod

Ett flödesschema över arbetets moment redovisas i Figur 1. Inledningsvis i arbetet formulerades problemformulering, syfte, mål och övergripande metod. Arbetet utgjordes av en kostnads-nytto-analys, där kostnaden för hjälptelefoner och handbrandsläckare i vägtunnlar jämfördes med den förväntade nyttan med dem. För att samla in underlag till analysen och bedöma nyttan genomfördes en litteraturgenomgång för att identifiera och dokumentera tidigare forskning och studier inom användningen av hjälptelefoner och handbrandsläckare i samband med vägtunnelbränder. Under arbetets gång hölls även en kontinuerlig dialog med Henric Modig, Senior Specialist inom tunnelsäkerhet på Trafikverket, för att erhålla relevanta underlag, statistik och data kopplade till problemformuleringen. Som komplement till detta underlag genomfördes även ett platsbesök i Förbifart Stockholm och Södra länken tillsammans med Trafikverket.

Baserat på det underlag som erhöles från litteraturgenomgången kunde sedan nyttan med de båda åtgärderna tas fram. I analysen för hjälptelefoner användes kvalitativa resonemang för att bedöma nyttan, vilken därefter jämfördes med kostnaderna för dem. För analysen av handbrandsläckare användes en kvantitativ metod för att utvärdera dess lönsamhet. Nyttan definierades som uteblivna konsekvenser till följd av en lyckad användning av en handbrandsläckare. Ett händelseträd konstruerades för att tillsammans med brandfrekvens, sannolikhet och uteblivna konsekvenser kvantifiera nyttan. Nyttan jämfördes sedan med kostnaderna för att installera och underhålla handbrandsläckare för att utvärdera dess lönsamhet. Kostnader för båda åtgärderna togs fram i samarbete med Trafikverket.

Förhållandet mellan nytta och kostnader beskrevs med hjälp av en nyttokostnadskvot, där nyttan för åtgärden dividerades med dess kostnader. En nyttokostnadskvot som överstiger ett innebär att nyttan överstiger kostnaderna och att åtgärden därmed är ekonomiskt lönsam.

Ett resultat togs fram av den samhällsekonomiska lönsamheten med hjälptelefoner och handbrandsläckare, följt av en känslighetsanalys som genomfördes för att utreda hur resultatet påverkades av variation i indata. Resultatet diskuterades med hänsyn till rådande osäkerheter kopplade till de antaganden som gjorts och den indata som använts. Till sist drogs en slutsats baserad på resultatet och diskussionen.



Figur 1 Flödesschema som beskriver samtliga moment som har ingått i arbetet.

1.5 Avgränsningar och begränsningar

En avgränsning som görs är att större delen av arbetets resurser läggs på handbrandsläckare. Nyttan med hjälptelefoner är utmanande att kvantifiera i monetära termer. För att möjliggöra en utförlig kvantitativ analys hade ytterligare forskning, utanför detta arbetes omfattning, krävts. Se avsnitt 9.2 för förslag på vidare forskning. Därför begränsas analysen av hjälptelefoner till endast kvalitativa resonemang kring hjälptelefoners nytta och större delen av resurserna används för att kvantitativt utvärdera den monetära nyttan med handbrandsläckare.

I arbetet avgränsas konsekvenser till följd av bränder i vägtunnlar till dödsfall, egendomsskador, skador på tunnelkonstruktionen samt samhällskostnader till följd av att tunneln behöver stängas.

Analysen avgränsas till en representativ ”generisk tunnel” framtagen tillsammans med Trafikverket, baserad på hur en genomsnittlig svensk vägtunnel förväntas utformas. Exakt utformning av denna generiska tunnel presenteras i ett senare kapitel.

Arbetet och kvaliteten på det resultat som produceras är beroende av kvaliteten på indata. Värden på exempelvis driftkostnader och incidenter i tunnlar kan vara utmanande att hitta detaljerad information kring. Således är indata till arbetet till viss del begränsade av tillgång till intern statistik förd av Trafikverket samt data från utförda försök och rapporter.

2 Litteraturgenomgång

I detta kapitel beskrivs litteraturgenomgången. Kapitlet inleds med en beskrivning av tillvägagångssättet för att ta fram relevanta källor som används i analysen, följt av en redogörelse av relevanta litteraturresultat från denna genomgång.

2.1 Metod för litteraturgenomgång

Litteraturgenomgången utfördes enligt metoden som beskrivs av Säfsten och Gustavsson (2023). Processen inleddes med en formulering av syftet med litteraturgenomgången. Baserat på detta syfte identifierades sökord som skulle användas för att söka efter litteratur i databaser, där varje sökord kompletterades med synonymer för att bredda sökresultaten. Begrepp nära relaterade till hjälptelefoner, handbrandsläckare och bränder i vägtunnlar prioriterades. För att förenkla urvalet av information fastställdes följande kriterier som varje källa skulle uppfylla:

- Vara en vetenskaplig artikel, rapport, bok eller myndighetspublikation.
- Vara skriven antingen på svenska eller engelska, alternativt på ett annat språk ifall en tillfredsställande översättning kunde göras.
- Vara publicerad efter 1995.

Sökning efter källor gjordes i online-databaserna Google Scholar¹, FINN² och Scopus³. Den initiala sökningen var bred och övergripande sökord användes. I de fall där sökningen visade sig vara alldeles för generell och gav många resultat gjordes en förfining av sökningen med mer specifika sökord. För varje databas behövdes olika specifika sökord användas för att hitta relevanta källor. Specifika sökord samt vilka databaser de användes i finns sammanfattade i Tabell 1.

¹ Googles sökmotor för vetenskaplig information

² Söksystemet för biblioteken vid Lunds universitet

³ Databas för vetenskaplig litteratur och webbresurser

Tabell 1 Databaser och sökord för litteraturgenomgång.

Databas	Sökord
Google Scholar	“fire” AND “cars”
Google Scholar	"fire extinguishers" AND "tunnels"
Google Scholar	“nödtelefon” AND "handbrandsläckare"
Google Scholar	"fire incident" AND "road tunnel" AND "data"
Google Scholar	"brandfrekvens" AND "vägtunnlar"
Google Scholar	“consequences” AND "fires in tunnels"
Google Scholar	"frequency" AND "incidents" AND "road tunnels" AND "fire*"
Google Scholar	"Risk Management" AND "QRA" AND "Tunnel Safety" AND "Tunnel Fire"
FINN	“(All Fields: Vägtunn*)”
FINN	”(All Fields: tunnel fires)”
FINN	"(All Fields: Fire behaviour AND All Fields: passenger car)"
FINN	“(All Fields: Electrical car AND All Fields: FIRE AND All Fields: Road tunnel*)”
FINN	"(All Fields: Fire extinguisher AND All Fields: Lithium Battery)"
Scopus	("kostnadnytto-analys" OR "CBA" OR "cost-benefit analysis" OR "benefit-cost analysis" OR "nyttoanalys" OR "kostnads-nytto-analys") AND ("fire extinguisher*")

Utöver sökning med sökord i databaser användes snowballing, en teknik där referenslistor i redan identifierade källor granskades för att hitta nya källor (Säfssten & Gustavsson, 2023). Sökningar utfördes även med hjälp av Google i syfte att hitta källor som inte nödvändigtvis förväntades finnas publicerade på de övriga utvalda databaserna, såsom resultat från vetenskapliga försök.

När en tillfredsställande mängd material hade samlats in för att kunna påbörja en granskning, utfördes ytterligare ett urval för att fastställa de mest relevanta källorna som bedömdes vara värda att analysera mer utförligt. Utvalda källor från denna sällningsprocess studerades vidare i detalj, där källor som bäst uppfyllde tidigare nämnda kriterier prioriterades. Relevanta aspekter ur de utvalda källorna redogörs för i den litteraturgenomgång som redovisas nedan.

2.2 Regelverk

EU-kommissionen släppte år 2004 ett direktiv gällande tunnelsäkerhet (2004/54/EG). Samtliga vägtunnlar längre än 500 meter som byggs och ingår i TEN-T måste följa direktivet. Direktivet är funktionsbaserat, vilket gör det fritt för den berörda aktören att själv välja hur direktivet ska uppfyllas (2004/54/EG). Ifall en annan åtgärd än vad som står i direktivet ska

användas krävs det att alternativet ger en motsvarande eller bättre skyddsnivå än vad som rekommenderas. År 2006 trädde Sveriges lag om minimikrav för säkerhet i vägtunnlar i kraft (Transportstyrelsen, 2025). Lagen är baserad på 2004/54/EG men skiljer sig på ett sådant sätt att lagen gäller alla tunnlar i stället för att endast gälla de som ingår i TEN-T. Enligt lagen ska en tunnelmyndighet finnas som ansvarar för godkännande och tillsyn över vägtunnlar, och i Sverige har Transportstyrelsen sedan 2009 verkat som tunnelmyndighet. Transportstyrelsen har till följd av detta givit ut egna föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar (TSFS 2019:93). I rollen som tunnelmyndighet har Transportstyrelsen bemyndigande att utse en tunnelhållare för varje tunnel som projekteras, byggs eller är i drift. Tunnelhållarens uppgift är att ansvara för tunnelns dagliga drift och underhåll. Trafikverket och Stockholms stad är exempel på större tunnelhållare i Sverige (Transportstyrelsen, 2025).

I 2004/54/EG skäl 9 respektive 11 står det skrivet:

”Säkerhetsåtgärderna bör möjliggöra för människor som har varit med om tillbud att rädda sig själva, tillåta att vägtrafikanter omedelbart kan ingripa för att förhindra allvarligare följder, säkerställa effektiva insatser av räddningsstyrkorna och skydda miljön samt begränsa de materiella skadorna”

”För rimlighetens skull, och med tanke på de höga kostnader som är förknippade med åtgärderna, bör en lägsta nivå för säkerhetsutrustning fastställas med beaktande av typ och förväntat trafikflöde för varje tunnel”

Genom att utreda vilka konsekvenser hjälptelefoner och handbrandsläckare begränsar gentemot vad de kostar, undersöks både om de möjliggör att människor själva kan ingripa och om kostnaderna är rimliga.

I 2004/54/EG artikel 14 formulerar EU-kommissionen att det är möjligt att ersätta de säkerhetsåtgärder som presenteras i direktivet med innovativ teknik givet att en viss procedur följs. Proceduren går ut på att skicka en ansökan till EU-kommissionen där alternativet förklaras och motiveras, varefter medlemsstaterna granskar denna ansökan och beslutar om den ska beviljas. Vidare granskas ansökan ytterligare för att utreda om den går att tillämpa på andra tunnlar och därmed ge underlag för att ändra direktivet (2004/54/EG).

Detta arbete ämnar inte utreda fall där innovativ teknik kan ersätta hjälptelefoner och handbrandsläckare, utan bör endast användas som underlag om resultatet skulle visa på en sådan förändring. För att implementera en sådan förändring behöver berörd aktör genomföra en riskanalys och en riskbedömning enligt EU nr 402/2013.

2.3 Branddynamik i tunnlar

Bränder i tunnlar kan snabbt leda till omfattande konsekvenser på grund av de unika omständigheter som råder i dem. Eftersom tunnelbränder sker i ett delvis instängt utrymme kan återstrålningen från omslutningsytorna bli hög, vilket i sin tur kan leda till att kritiska

nivåer för temperatur och toxiska halter nås snabbt i tunneln. Den långsträckta geometrin som råder gör att brandgaser kan spridas långt på kort tid, och vidare kan situationen förvärras genom att ventilationssystemet transporterar brandgaserna nedströms branden (Ingason et al., 2015). Detta sker i synnerhet ifall ett långsgående ventilationssystem är installerat i tunneln, där luften transporteras i samma riktning som trafiken (Eklöf et al., 2012). Detta kan bidra till att faran för trafikanterna inte bara är begränsad till brandens omedelbara närhet, utan även kan vara påtaglig långt ifrån branden. Längre ifrån branden kan de toxiska brandgaserna kylas ned och därmed sjunka mot marken, vilket skapar en farlig miljö för människorna där. Under särskilda omständigheter kan brandgaserna även komma att spridas i motsatt riktning mot trafikflödet, ett fenomen som kallas för backlayering (Ingason et al., 2015). Ifall ventilationshastigheten understiger en viss hastighet kan brandgaserna spridas uppströms och utsätta trafikanter som befinner sig där för fara. Således finns det en lägsta lufthastighet, även kallad kritisk hastighet, som behöver bibehållas för att undvika backlayering. Dock är det även viktigt att ventilationshastigheten inte är för hög eftersom detta kan påskynda brandtillväxten samt bidra till en snabbare transport av toxiska brandgaser i den riktning dit trafikanterna utrymmer (Trafikverket, 2010b).

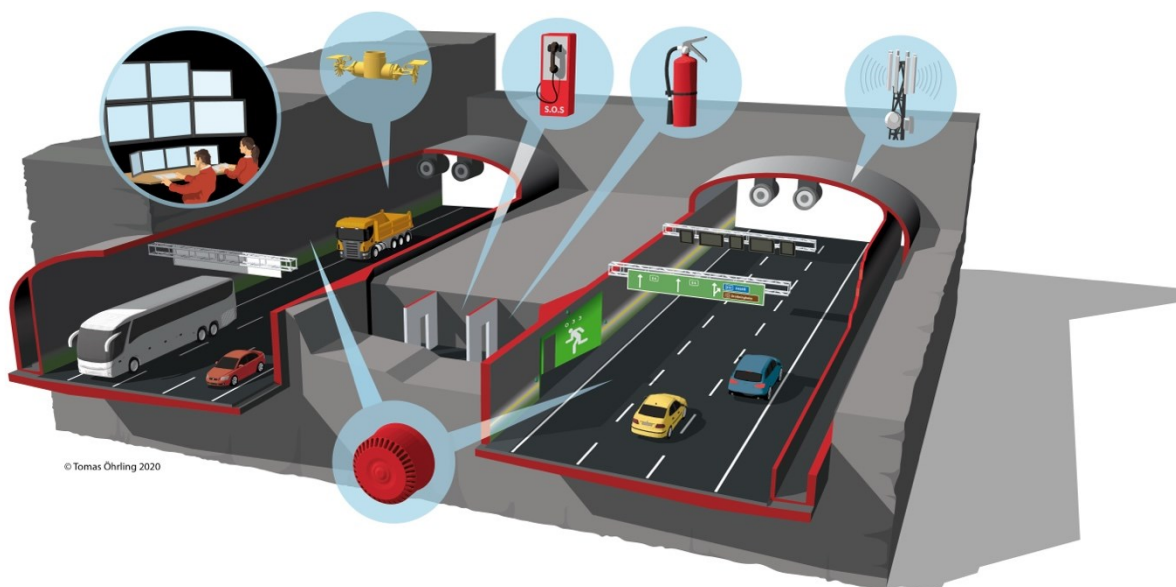
Den unika miljön som tunnlar medför gör att förutsättningarna för utrymning inte är optimala, då utrymningsalternativen är begränsade och personer inte kan förväntas vara bekanta med dessa. Då transporten av brandgaser begränsas, blir sikten och orienterbarheten nedsatta, vilket försämrar utrymningsmöjligheterna. Omständigheterna som gör det svårt för personer att utrymma gör det även komplicerat för räddningstjänsten att ingripa. Främmande miljö, begränsade angreppsvägar och nedsatt sikt innebär att det blir mer utmanande att planera insatsen, vilket ställer höga krav på räddningstjänstens förmåga att hantera dessa situationer. Detta ökar således risken att sådana situationer eskalerar och leder till allvarliga konsekvenser (Ingason et al., 2005).

2.4 Brandsäkerhetssystem i Trafikverkets vägtunnlar

Trafikverket bygger och förvaltar för närvarande ett stort antal vägtunnlar i Sverige (Trafikverket, u.å.–a). I syfte att ge en förståelse för hur systemen för brandsäkerhet i en modern vägtunnel i Sverige är utformade beskrivs Trafikverkets säkerhetskoncept för vägtunnlar i detta avsnitt.

2.4.1 Trafikverkets säkerhetskoncept för brandskydd i vägtunnlar

Trafikverkets säkerhetskoncept gällande nya tunnlar bygger på ett system som till stor del nyttjar både aktiva och passiva säkerhetsbarriärer (Eklöf et al., 2012). Givetvis måste varje tunnel som projekteras vara anpassad till de behov och förutsättningar som råder där den ska byggas. Mer omfattande säkerhetsinstallationer såsom exempelvis sprinkler kan komma att exkluderas i mindre tunnelprojekt där investeringen ej anses vara kostnadseffektiv, men överlag är säkerhetskonceptets grundprinciper numera i stort sett standard för en vägtunnel som konstrueras av Trafikverket. Det finns även väletablerade brandsäkerhetsåtgärder som numera förväntas användas i majoriteten av framtida tunnelprojekt. En översiktlig bild av detta illustreras i Figur 2.



Figur 2 Trafikverkets säkerhetskoncept för vägtunnlar. Bild från Trafikverket (u.å.–a), används med godkännande av Trafikverket.

För varje tunnel finns en trafikledningscentral, även benämnd VTC, som ansvarar för tunnelns dagliga drift. De säkerställer att säkerhetskonceptet fungerar som planerat, samtidigt som de kontinuerligt övervakar tunneln för att identifiera avvikelser och följaktligen implementerar relevanta åtgärder. Oftast är flera tunnlar kopplade till en och samma VTC.

Branddetektionen sköts i huvudsak med hjälp av kameror som automatiskt registrerar avvikande händelser, så kallade incidentkameror. Ifall ett stillastående fordon upptäcks av en incidentkamera skickas en signal till VTC, som sedan tar beslutet om vad som orsakat det stillastående fordonet och hur incidenten bör hanteras. VTC är ständigt bemannad och tunneln är under konstant kameraövervakning vilket gör att det alltid finns personal på plats som kan ta beslut om vilka åtgärder som bör vidtas (Eklöf et al., 2012). VTC har möjlighet att aktivera en brandskyddsplan, vilket är en rad automatiska åtgärder som implementeras vid händelse av brand för att begränsa potentiella konsekvenser. En sådan åtgärd är att styra om trafiken i händelse av en brand för att leda trafikanter på ett sådant sätt att de inte utsätts för fara. Detta kan exempelvis göras genom att meddela trafikanter att tunneln är stängd genom de elektroniska skyltarna som finns monterade på en synlig höjd ovanför körbanan i tunnelrören (H. Modig, personlig kommunikation, 5 december 2025). Ytterligare åtgärder som ingår i brandskyddsplanen är exempelvis larm, ventilation och, ifall sådant finns, aktivering av sprinklersystem.

2.4.2 Ventilation

Trafikverkets tunnlar utrustas i regel med längsventilation, både som miljöventilation och brandgasventilation. Med hjälp av jetfläktar monterade i taket transporteras luftflödet längs med tunnelröret. Luftutbyte sker via särskilda luftutbytesstationer placerade längs med tunnelsträckan, där även brandgaser hanteras. På grund av systemet med längsventilation

transporteras brandgaser nedströms brandkällan, vilket gör att den delen av tunnelröret som är uppströms branden blir rökfri, förutsatt att backlayering ej förekommer, se efterkommande stycke. Således får trafikanter som befinner sig uppströms branden i tunnelröret goda möjligheter att utrymma (Trafikverket, 2010b). Detsamma gäller dock inte för de personer som befinner sig nedströms brandkällan. En förutsättning för att konceptet med långsgående ventilation ska fungera bra vid händelse av brand är att dessa trafikanter har möjlighet att utrymma tunneln omgående i sina fordon (Ingason et al., 2015). För att förbättra dessa trafikanters chanser att utrymma på ett säkert vis är ventilationssystemet designat med ett brandläge, vilket går i gång när den tidigare nämnda brandskyddsplanen aktiveras. I samband med detta stängs ventilationen av momentant ifall en brand skulle uppstå. Syftet är att inte accelerera brandförloppet, samt att fördröja transporten av rök nedströms branden och således ge trafikanter som befinner sig där bättre förutsättningar att utrymma. Efter det kortvariga avbrottet startar fläktarna upp igen för att transportera brandgaser bort ifrån brandkällan och därmed skydda personer som befinner sig uppströms branden (Trafikverket, 2010b).

Vid användning av långsgående ventilation i tunnlar är det viktigt att beakta kritisk ventilationshastighet på grund av risken för backlayering, se avsnitt 2.3. Därmed är det viktigt vid denna typ av ventilationslösning, som bygger på att skydda personer uppströms branden, att bibehålla en lufthastighet som överstiger den kritiska (Trafikverket, 2010b). Dock är det även viktigt – som Trafikverket (2010b) nämner – att inte ha en så hög lufthastighet att brandgasspridningen nedströms brandkällan sker för fort, så att trafikanterna där har en chans att utrymma. Enligt Trafikverket (2010b) tar det cirka fem minuter från det att brandläget har aktiverats till dess att luftflödet minskas från de 8 m/s som råder i normalläge till de 3 m/s som ska gälla i brandläge. Denna hastighet ligger över den kritiska hastigheten och således förhindrar backlayering (Ingason et al., 2005).

2.4.3 Utrymning och räddningsinsats

Säkerhetskonceptet bygger på att samtliga trafikanter ska kunna utrymma tunneln på egen hand. Utrymningsstrategin skiljer sig beroende på var de olika trafikanterna befinner sig när branden förekommer. Själva strategin bygger på att vid händelse av brand ska de trafikanter som är belägna nedströms brandkällan kunna köra direkt ut ur tunneln. För de personer som befinner sig uppströms branden ska dessa kunna utrymma via utrymningsvägar in till det andra tunnelröret, se Figur 2. Utrymningsvägarna är placerade med jämna mellanrum längs med tunnelsträckan och är designade för att vara lätta att upptäcka, då de är försedda med blyxtljus, genomlysta skyltar samt målade i en färg som gör att de är lätta att identifiera. Själva utrymningsvägarna är uppdelade i tre separata utrymmen, där de utrymmen som vetter mot tunnelrören är utrustade med handbrandsläckare, hjälptelefoner och utrymningsplaner. För att se till att utrymningsvägarna kan stänga ute en brand och säkerställa att det är säkert för personer att vistas där eller utrymma genom dessa, utförs de med brandslussar. Varje utrymningsväg är även larmad och har ett specifikt nummer och namn för att VTC ska kunna identifiera vilken utrymningsväg som används (Eklöf et al., 2012).

VTC blir även larmade om en handbrandsläckare tas från sin hållare eller när en hjälptelefon används. I samband med detta blir de också varse om exakt vilken utrymningsväg,

handbrandsläckare eller hjälptelefon i vägtunneln som används. Detta innebär att VTC blir varse om i vilket område i tunneln incidenten har inträffat och var det kan förväntas finnas utrymmande individer. Personen som använder hjälptelefonen kan även verbalt informera VTC om var i tunneln incidenten har inträffat, ifall det skulle behövas. Varje hjälptelefon är försedd med ett specifikt namn som personen kan meddela till VTC (H. Modig, personlig kommunikation, 5 december 2025).

Utrymningsvägarna utgör även angreppspunkter för räddningspersonal. Dessutom finns det digitala skyltar som används för att informera personer om hur de bör agera för att utrymningen ska ske på ett så säkert sätt som möjligt (H. Modig, personlig kommunikation, 5 december 2025).

2.4.4 Brandbekämpning

Utifrån Trafikverkets säkerhetskoncept finns handbrandsläckare placerade i utrymningsvägarna mellan tunnelrören och i tunnelmynningarna. Handbrandsläckarnas huvudsakliga syfte är att ge personer i tunneln en möjlighet att släcka en brand som har uppstått i tunneln i det tidiga skedet då chansen är som störst att påverka brandförloppet utveckling. Handbrandsläckarna är vanligtvis av typen 6 kg ABC-pulver. Vid val av handbrandsläckare följer Trafikverket de krav som ställs i TSFS 2019:93 . Där specificeras det att handbrandsläckarna ska vara 6 kg pulversläckare som uppfyller standarden SS-EN 3–7 och har en effektivitetsklass på minst 43A 233B C. En sådan effektivitetsklass innebär att handbrandsläckaren är testad för att kunna släcka bränder i fibrösa material med dimensionerna 0,5 x 0,5 x 4,3 m, samt vätskebränder upp till 233 liter. Den är även lämplig för gasbränder (MSB, 2025a).

I tunneln sitter handbrandsläckarna kopplade till sensorer på väggarna där de hänger. Dessa sensorer agerar både i syfte att förhindra stöld och för att larma VTC om att en handbrandsläckare har använts, vilket kan nyttjas både som ytterligare ett sätt att detektera en brand samt en indikation på var branden är belägen. När en brand identifierats i en tunnel med denna typ av säkerhetssystem ska VTC aktivera sprinklersystemet, även kallat brandbekämpningssystem (BBS), förutsatt att det finns ett sådant installerat (H. Modig, personlig kommunikation, 5 december 2025).

Huruvida ett vattenbaserat fast släcksystem i form av BBS ska installeras i en tunnel är situationsberoende. Ifall en tunnel byggs i landsbygdsmiljö, där risken för köbildning är låg och ifall det endast förväntas ”normal” godstrafik, brukar det vanligtvis inte anses lönsamt att investera i installation av BBS. Skulle tunneln däremot byggas i urban stadsmiljö, blir risken för problematik kring köbildning mer påtaglig (H. Modig, personlig kommunikation, 19 december 2025).

Den typ av BBS som är att föredra i vägtunnlar är ett sprinklersystem av typen torrörssystem. Detta innebär att rören som leder till sprinklerhuvudena inte är fyllda med vatten och löper således inte den risk som normalt finns i traditionella sprinklersystem att vattnet i sprinklerledningarna fryser till is. Vattnet släpps på i rören först då systemet aktiveras.

Sprinklerhuvudena som används i systemet är specifikt designade för tunnlar, med extra lång kastlängd och täckningsyta, vilket gör att endast ett sprinklerrör behöver dras längs med tunneln. Olikt traditionella sprinklerhuvuden har dessa inga värmekänsliga ampuller, utan aktiveringen sker genom att VTC bekräftar en brand i tunneln och sedan aktiverar systemet (H. Modig, personlig kommunikation, 5 december 2025). Systemet är indelat i sektioner och aktiveringen sker sektionsvis. Skulle en brand starta mitt emellan två sektioner finns möjligheten att aktivera båda sektionerna samtidigt. Ifall brand detekteras och personalen på VTC inte gör någon invändning aktiveras BBS i den sektion där detektionen skedde, och tunneln stängs även av. Det finns även möjligheten att manuellt aktivera sprinklersystemet. Syftet med BBS är inte att släcka branden utan snarare att begränsa brandens effektutveckling och därmed förhindra spridning till närliggande fordon (H. Modig, personlig kommunikation, 5 december 2025).

2.5 Brandfrekvens för vägtunnlar

I en rapport av MCF (2025) presenteras antalet brandtillbud i vägtunnlar under åren 2007 – 2025. Brandtillbuden är presenterade för de flesta kommunerna i Sverige. Bland kommunerna är det Stockholm som har flest brandtillbud under åren, med ett beräknat medelvärde på ungefär en brand per år oavsett fordon.

Både Ingason et al. (2005) och Ingason och Lönnemark (2004) uppger frekvenser för antalet bränder per transportkilometer i vägtunnlar i sina rapporter. Brandfrekvenserna för båda rapporterna är framtagna baserat på statistik av PIARC (Technical Committee 5 Road Tunnels, 1999). PIARC, World Road Association (tidigare: Permanent International Association of Road Congresses), är ett forum där ett 120-tal länder delar kunskap och erfarenhet om transport inom vägtunnlar. Technical Committee 5 Road Tunnels (1999) har i sin rapport tagit fram brandfrekvenser för olika länder baserat på statistik från respektive land. En uppdaterad version av statistiken uppgavs i samband med en annan rapport som släpptes 2016 (Technical Committee 3.3 Road Tunnel Operation, 2016). I rapporten är statistiken för brandfrekvens presenterad för ett antal olika länder och uppdelad mellan lätta och tunga fordon. Tabell 2 visar statistiken för de europeiska länderna som inkluderats i rapporten.

Tabell 2 Brandfrekvens i vägtunnlar för lätta och tunga fordon för de länder som tillhör Europa i rapporten från Technical Committee 3.3 Road Tunnel Operation (2016).

Land	Lätta fordon (Incidenter per 10 ⁹ transportkilometer)	Tunga fordon (Incidenter per 10 ⁹ transportkilometer)
Norge	15,0	22,5
Nederländerna	3,2	1,5
Österrike	6,5	25,0
Tyskland	25,7	-
Italien	5,7	-
Spanien	3,5	2,0
Frankrike	10,6	28,8
Tjeckien	21,0	-

2.6 Människors beteende vid brand i vägtunnlar

Forskning visar att människor oftast följer ett visst beteendemönster under ett brandförlopp (Shields, 2011). Sådana mönster går även att identifiera vid händelse av brand i en vägtunnel. Shields (2011) lyfter fram i sin rapport att det finns en tendens hos människor att utrymma genom en bekant väg i stället för en som är bättre placerad men inte känd. Detta beteende kan vara mer relevant i vägtunnlar än i andra konstruktioner eftersom bilister aldrig vistas i tunnlar mer än när de kör igenom dem. Detta innebär att bilister i händelse av en brand i en vägtunnel medvetet och omedvetet oftast utrymmer mot en mynning i stället för en närmare placerad utrymningsväg eftersom det är en känd väg som de vet leder ut till det fria (Shields, 2011). Ingason et al. (2005) beskriver att detta beteende också drivs av behovet av att inte vilja lämna egendom att förstöras av branden.

I vissa fall har det visats att människor tenderar att sitta kvar i sina fordon i stället för att utrymma (Fraser-Mitchell & Charters, 2005). Oftast är det dessa människor som omkommer i samband med tunnelbränder (Shields, 2011). Anledningen till att personer stannar i sina fordon är att de upplever att deras egna fordon är en tryggare och mer bekant miljö än ute i tunneln. Ifall branden orsakat en bilkö kan personer även vara obenägna att lämna sina fordon eftersom de antingen i stället tror att kön orsakats av hög trafikmängd eller hoppas att trafiken snart flyter på så att de kan utrymma med sina fordon. Det kan även vara fallet att kön de sitter i orsakats av hög trafikmängd i stället för en brand, då detta blir alltmer vanligt (Fraser-Mitchell & Charters, 2005).

Ingason et al. (2005) skriver att en ytterligare orsak till att personer stannar i sina fordon kan även vara att de är omedvetna om branden på grund av att de själva befinner sig nedströms branden och inte kan se den. Ingason et al. (2005) påstår att det endast är vid starka signaler av att en brand har uppstått som bilister väljer att lämna sina fordon och börja utrymma. Digitala och verbala notiser från tunnelpersonal, andra människor som utrymmer eller stark rök- och brandgasbildning är exempel på sådana signaler. Det har även dokumenterats flera fall där människor uppmärksammar att det uppstått en brand men väljer att stanna kvar och filma eller vänta på räddningstjänst. Anledningen till detta är att de inte uppfattar branden som allvarlig då de antingen befinner sig långt ifrån den eller att branden är i ett tidigt skede (Ingason et al., 2005).

Ytterligare ett beteendemönster som har observerats i samband med incidenter är att människor faktiskt är villiga att hjälpa andra att utrymma. De bär äldre uppför trappor, stannar för att meddela andra om faran och är även villiga att krossa fönster för att få ut människor ur deras fordon (Fraser-Mitchell & Charters, 2005).

En problematik med att försöka ta lärdom av tunnelbränder är att de sällan inträffar. Martens och Jenssen (2012) anser att detta kan leda till att personalen som ansvarar för tunnelns drift och säkerhet sällan får chansen att träna på sådana situationer. Detta medför en högre sannolikhet att agera fel när en brand väl inträffar. Martens och Jenssen (2012) belyser även att det är särskilt viktigt att system som ska larma tunnelpersonal om en avvikelse fungerar eftersom avvikelser annars måste upptäckas manuellt. Manuell detektion kräver en hög

koncentration och vakenhet, vilket är begränsat eftersom det inte inträffar många avvikelser i tunnlar under daglig drift.

2.7 Utrymningsprocessens tidskomponenter

Martens och Jenssen (2012) beskriver utrymningsförlopp i en vägtunnel med hjälp av tre steg: varseblivningstid, beslutstid och förflyttning. Varje steg tar hänsyn till de mänskliga beteendena som påverkar utrymningen i en vägtunnel.

Varseblivningstid är tiden det tar för trafikanter att uppfatta att en brand har uppstått. Tiden påverkas av flera faktorer kopplade till individens erfarenheter och förmågor. Oftast är det med hjälp av andras reaktioner som en individ uppfattar att en brand har uppstått, snarare än att hen själv upptäcker branden.

Beslutstid är tiden det tar för en individ att tänka ut möjliga angreppssätt för att bemöta situationen tills ett beslut har tagits. Tiden beror på ett flertal faktorer, men främst på hur allvarlig en brand uppfattas vara. Är branden liten eller långt ifrån, kan personer välja att inte agera eftersom de inte inser situationens allvar och är omedvetna om hur snabbt branden kan eskalera.

Förflyttningstid är tiden det tar för personer att utrymma till en säker plats när de väl har tagit ett beslut om att börja utrymma. Här spelar vilken väg personen väljer att ta och hur trafiksituationen ser ut en stor roll. Personer tenderar att välja vägar som de vet leder till en säker plats och är bekanta med, vilket i vägtunnlar leder till att personer väljer att gå längs med tunneln mot en av mynnningarna i stället för till en närliggande utrymningsväg.

Detta sätt att förklara utrymningsprocessen liknar hur Frantzich et al. (2016) definierar ett karakteristiskt utrymningsförlopp. Frantzich et al. (2016) använder begreppen varseblivning, förberedelse och förflyttning, men i övrigt är processen väldigt lik. Varseblivning är tiden det tar för en person att upptäcka branden, förberedelse är den tid som går åt till andra aktiviteter innan påbörjad utrymning efter att personen har uppmärksammat branden och förflyttning är tiden det tar för personen att ta sig till en säker plats.

Merparten av det som finns skrivet kring varseblivningstid och förberedelsetid i relation till bränder handlar om brand i bostäder, se exempelvis rapporten av Frantzich et al. (2016). I Boverkets BFS 2013:12 ges ingen rekommendation för varseblivningstid för utrymning vid bostadsbränder. Dock rekommenderas ett minimivärde på 30 s. Gällande förberedelsetid finns flera värden rekommenderade baserat på rådande omständigheter vid brandsituationen. Av alla de scenarier som beskrivs i BFS 2013:12 är det som mest liknar en person i ett fordon som börjar brinna det scenario där personer visuellt kan se branden. Detta motsvarar en förberedelsetid på en minut i en bostadsbrand (BFS 2013:12).

I rapporter som publicerats av den norska haverikommissionen, Statens Havarikommisjon for Transport (SHT), återges händelseförlopp i olyckssammanhang. Gällande fordonsbränder i

tunnlar är det vanligaste tidsspannet från brandstart till dess att trafikanten stannat sitt fordon cirka två till tre minuter.

När det gäller förflyttningshastighet finns inget särskilt värde på denna kopplad till hämtning av handbrandsläckare i tunnelbrandsammanhang dokumenterat. Det närmaste ett sådant värde som finns att tillgå, med hänsyn till sammanhanget samt syftet med förflyttningen, är data över hur snabbt personer brukar utrymma en tunnel i händelse av brand. Technical Committee 5 Road Tunnels (1999) uppger att förflyttningshastigheten för utrymmande personer i tunnlar ligger mellan 0,5 m/s och 1,5 m/s. Enligt Ingason et al. (2024) är förflyttningshastigheten för utrymmande i tunnlar cirka 1,5 m/s.

2.8 Underlag för konsekvensuppskattning

Bergmeister och Francesconi (2004) har gjort en sammanställning av konsekvenser av bränder i vägtunnlar över hela världen, baserad på ett flertal källor.

MSB har sammanställt data om antalet omkomna i bränder i svenska tunnlar mellan åren 2008 och 2024 (MSB, 2024). Baserat på denna data har ingen omkommit i sådana bränder inom detta tidsspann.

Enligt TSFS 2019:93 är det lagstadgat att tunnelhållaren vid projektering av en ny tunnel behöver genomföra en riskanalys där samtliga risker utvärderas. Detta arbete har fått tillgång till en riskanalys som genomfördes av Trafikverket vid projektering av Förbifart Stockholm. I riskanalysen gjordes bedömningar om antalet dödsfall för flera olika typer av incidenter, därav brand i fordon och olyckor med farligt gods. Som underlag till riskanalysen utfördes en konsekvensanalys där ett flertal simuleringar i FDS och STEPS gjordes för att uppskatta konsekvenserna av förlopp från olika brandkällor (Trafikverket, 2010b).

2.9 Bränder i elektriska fordon

Enligt Trafikanalys (2025) utgjorde elbilar uppemot 13 % av alla personbilar i trafiken under 2024, vilket är en ökning på två procentenheter jämfört med 2023. Detta är en betydande andel med en ökande trend som detta arbete måste ta hänsyn till, då elbilar ger upphov till mer oförutsägbara och svårkontrollerade brandförlopp jämfört med bränslebilir (EV Firesafe, u.å.–b).

Energikällan hos ett elfordon är i dagsläget ett system av ett eller flera batteripaket som består av flera moduler, där varje modul är uppbyggd av ett flertal sammanlänkade battericeller. Den vanligaste cellen som används i elfordon är litiumjonbatterier (EV Firesafe, u.å.–a).

Processen för hur elfordon antänds kallas för termisk rusning. Processen inleds med att en av battericellerna kortsluts, exempelvis genom överhettning eller genom att det sker en fysisk påfrestning. Resultatet av en kortslutning blir att batteriet börjar värmas upp och att det skapas toxisk och brännbar rök. Värmen och röken skapar tillsammans ytterligare påfrestningar på batteriet och närliggande celler som i sin tur leder till vidare värme- och rökutveckling (EV Firesafe, u.å.–c).

Elfordon kan utgöra en större risk för vägtunnlar på grund av de svårigheter som förekommer vid att försöka släcka en brand som har uppstått i batteripaketet. Rosmuller och van Barneveld (2025) beskriver att problemet med att försöka släcka en brand i ett elfordon är de svårigheter som finns med att nå brandkällan, det vill säga genomtränga batteripaketet med släckmedlet. Ett annat större problem som framläggs av författarna är att en battericell kan återantändas, även flera dagar efter släckinsatsen. Anledningen till detta är termisk rusning, vilket innebär att en liten påfrestning på ett batteri som inte åtgärdas kan växa och återigen leda till hög värme- och rökutveckling.

Wang et al. (2025) har studerat förmågan hos olika släckmedel att släcka en pågående brand i ett litiumbatteri. Studien gick ut på att tvinga ett flertal litiumjonbatteripaket gå till termisk rusning för att sedan försöka släcka dessa med olika typer av handbrandsläckare. Varje handbrandsläckare fick 20 sekunder på sig att försöka släcka branden och förhindra återantändning. Pulversläckare är ett av de medel som testades, vilket är högst relevant då pulversläckare är den typen av handbrandsläckare som ingår i Trafikverkets säkerhetskoncept. Wang et al. (2025) kunde genom sin studie konstatera att pulver inte effektivt kan släcka en brand i ett litiumjonbatteri utan att det återantänds.

2.10 Historisk användning av hjälptelefoner vid bränder i vägtunnlar

I arbetet gör analysen och diskussionen kopplingar till verkliga incidenter för att kunna bedöma vilken nytta hjälptelefoner har i vägtunnlar. Nedan presenteras vilka källor som används för detta i arbetet.

Statens Haverikommission (SHK) och Statens Havarikommission for Transport (SHT) är myndigheter som utreder allvarliga olycksfall som har inträffat i Sverige respektive Norge. I samband med varje utredning publiceras rapporter som utförligt beskriver varför olyckan inträffade, hur den utspelade sig, vilka åtgärder som vidtogs och vilka åtgärder som bör vidtas för att förhindra att olyckan inträffar igen. När det gäller just bränder i vägtunnlar har inte SHK publicerat några rapporter kring detta, medan SHT har utrett och publicerat många händelser kopplade till ämnet.

SHT redovisar flera allvarliga brandincidenter där VTC främst har uppmärksammat bränder genom att någon har ringt in med sin mobiltelefon. Av de åtta vägtunnelbränder som SHT publicerat utredningsrapporter om, och där det framgår hur larmningen initierades, användes mobiltelefon i sex av dessa (Statens Havarikommission for Transport, 2013, 2015, 2016a, 2016b, 2018, 2019, 2020, 2022). I två av fallen användes även tunnelns hjälptelefon, dock först efter att mobiltelefon hade använts. I ett av de två fall då mobiltelefonen ej användes framgår det dock att det saknades täckning i tunneln och därmed inte var ett alternativ.

Technical Committee 3.3 Road Tunnel Operation (2016) har i sin rapport sammanställt ett flertal olyckshändelser från ett flertal länder specifikt kopplade till vägtunnlar. Varje händelseförlopp beskrivs övergripande och inkluderar exempelvis orsaken bakom olyckan och hur den utspelade sig. De detaljer i rapporten som är av särskild vikt för detta arbete är

hur olyckan detekterades och användningen av hjälptelefoner. Av de 34 brandrelaterade händelser som presenterades i sammanställningen var det i åtta av fallen som en individ använde en hjälptelefon för att kontakta VTC. I de övriga fallen hade branden blivit uppmärksammas genom en incidentkamera, manuell detektion av VTC eller genom att någon använt sin mobiltelefon och ringt till räddningstjänst.

2.11 Effektivitet av handbrandsläckare

Centralt för analysen för att bestämma den nytta som handbrandsläckare kan bidra med är att kvantifiera hur effektiva dessa är på att reducera konsekvenserna av vägtunnelbränder. Mängden litteratur som finns att tillgå kring detta är dessvärre begränsad. I syfte att täcka upp för denna brist på applicerbara studier kring ämnet redovisas användandet av handbrandsläckare vid ett antal olika bränder som inträffat nedan. Detta följs av statistik och studier gällande handbrandsläckares kapacitet att släcka fordonsbränder samt folks generella kunskap kring förekomsten av handbrandsläckare i vägtunnlar.

2.11.1 Historisk användning av handbrandsläckare vid brand i vägtunnlar

Nedan följer en sammanställning av diverse tunnelbränder som inträffat runt om i världen, i syfte att lyfta fram flertalet exempel som visar på handbrandsläckares effektivitet vid tunnelbränder. Urvalet av fall har gjorts med hänsyn till huruvida det fanns tillräckligt med detaljerad och relevant information tillgänglig gällande användning av handbrandsläckare i det aktuella fallet.

Enligt Martens och Jenssen (2012) finns det en del som tyder på att trafikanter överlag saknar den kompetens som krävs för att använda handbrandsläckare ordentligt och pekar på ett antal bränder i vägtunnlar som visar på detta. Bland de tunnelbränder som Martens och Jenssen (2012) hänvisar till nämns bland annat Mont Blanc-incidenten 1999, där lastbilsföraren vittnar om att inte ha använt sin egen handbrandsläckare, trots att han visste om att den fanns tillgänglig. Anledningen till detta påstås i rapporten vara att föraren helt enkelt inte hade tid att hämta handbrandsläckaren. Vidare skriver Martens och Jenssen (2012) om en händelse i Huguenottunneln 1994 som involverade en brand i en buss. Varken föraren eller någon av passagerarna ombord tänkte på att leta efter eller för den delen använda handbrandsläckaren som fanns ombord på bussen. De gjorde heller inte något försök att använda någon av dem som fanns i tunneln, där några till och med fanns inom ett avstånd på 50 m.

Då de exempel som framläggs av Martens och Jenssen (2012) inte nödvändigtvis visar på att trafikanter inte är kompetenta nog att använda handbrandsläckare på ett effektivt sätt, visar de dock att de sällan används i dessa situationer av olika anledningar. Utredningsrapporter från SHT visar snarare på tillfällen där trafikanter har förhållandevis god kunskap gällande både förekomst och användning av handbrandsläckare i vägtunnlar.

I Oslofjordtunneln i Norge uppstod en brand 2011, där föraren försökte släcka branden med den handbrandsläckare som fanns ombord på lastbilen. När denna handbrandsläckare var tom använde han sig av ytterligare två som fanns monterade i tunneln. Detta var dock inte tillräckligt och släckningsförsöket misslyckades, varpå föraren var tvungen att utrymma.

Enligt händelserapporten hade det endast gått tre minuter från det att lastbilen körde in i tunneln tills dess att branden upptäcktes, och då branden inte hade börjat innan lastbilen körde in i tunneln, innebär detta att branden inte kan ha pågått längre än så. I uppførsbacken på väg ut ur tunneln uppmärksammade föraren ett mekaniskt ljud från lastbilen och valde därmed att stanna fordonet, vilket troligtvis orsakades av det motorhaveri som SHT tror att branden har uppstått på grund av. Således hade branden endast pågått i någon enstaka minut innan släckningsförsöket påbörjades (Statens Havarikommisjon for Transport, 2013).

År 2012 uppstod en brand i Mastrafjordtunneln i Norge och även där gjordes ett försök av föraren att släcka branden med brandsläckaren som var ombord på lastbilen. Efter en förhållandevis lyckad släckning flammade dock branden upp igen och föraren hämtade fler släckare och använde även dessa, dock utan att lyckas (Statens Havarikommisjon for Transport, 2013).

Under en tunnelbrand i Gudvangatunneln 2015 använde sig busschauffören av både fordonets egna släckare och en släckare från tunneln. Efter att den första släckaren var tom hade branden till synes dämpats, men flammade sedan upp igen. Föraren hämtade därefter en släckare från tunneln, men detta var heller inte tillräckligt för att bekämpa branden (Statens Havarikommisjon for Transport, 2016a).

Två år tidigare, det vill säga 2013, hade en annan brand uppstått i Gudvangatunneln, denna gång i en lastbil. Även under denna brand gjorde föraren ett försök att släcka branden med den handbrandsläckare som fanns ombord. Försöket misslyckades, vilket ledde till att föraren försökte få tag i ytterligare handbrandsläckare från andra trafikanter i närheten, utan framgång. Föraren gjorde inget försök att springa och hämta någon av de handbrandsläckare som fanns monterade i tunneln, troligtvis på grund av att det var långt till närmaste handbrandsläckare, då lastbilen hade stannat mitt emellan två handbrandsläckare (Statens Havarikommisjon for Transport, 2015).

I den tidigare nämnda Oslofjordtunneln skedde även en brand 2017 och likt händelsen 2011 gjorde föraren ett försök att släcka branden med sin egen handbrandsläckare. Försöket påbörjades redan två minuter efter brandstart och hade en dämpande effekt på branden. Dock flammade den snabbt upp igen efter att släckaren var tom och resulterade därmed i ett misslyckat försök (Statens Havarikommisjon for Transport, 2018). Ytterligare handbrandsläckare fanns monterade på tunnelväggarna, men olik i incidenten 2011 gjorde föraren inget försök att använda någon av dessa för att bekämpa branden (Statens Havarikommisjon for Transport, 2018). I Måbøtunneln uppstod en brand 2016 som eskalerade så pass snabbt att föraren inte kunde släcka branden med de handbrandsläckare som fanns tillgängliga (Statens Havarikommisjon for Transport, 2017).

Sammanfattningsvis har utredningsrapporterna från SHT endast behandlat bränder i större fordon, såsom lastbilar och en buss. De handbrandsläckare som i första hand användes vid dessa brandincidenter var de som fanns ombord på fordonen, dock utan någon större framgång.

2.11.2 Handbrandsläckares kapacitet att släcka en fordonsbrand

En handbrandsläckares släckningskapacitet mäts vanligen med hjälp av standardiserade tester där dess förmåga att släcka bränder i exempelvis fibrösa material, vätskor och gaser utvärderas (MSB, 2025a). I dessa tester klassas brandsläckare efter deras kapacitet att släcka bränder i staplade träbalkar och vätskor i plåtkärl. De bränder som är relevanta i tunnelsamhang förväntas dock ske i fordon och således krävs studier och tester kopplade till denna typ av bränder. Bland de få tester som gjorts gällande handbrandsläckare i relation till fordonsbränder finns de som utförts av Stensaas och Jacobsen (2001). Dessa tester gjordes just på grund av att det fanns skepsis gällande huruvida en 6 kg pulversläckare faktiskt är tillräcklig för att släcka en brand som uppstår exempelvis i ett fordon bromsar och sprids vidare till däck. Testerna utfördes på ett sådant sätt att ett flertal tvillingdäck antändes, och när en brandeffekt på runt 500 kW uppnåddes påbörjades ett försök till att släcka branden med diverse handbrandsläckare. I studien testades bland annat pulverhandbrandsläckare, både av typen ABC och BC. Stensaas och Jacobsen (2001) fann att 6 kg pulversläckare i allmänhet är ett bra alternativ för släckning av denna typ av brand av alla de olika släckarna som testades. Det konstaterades att denna typ av släckare är fördelaktig på grund av att den är lätthanterlig och släcker branden effektivt samtidigt som den klarar kalla temperaturer väl.

Stensaas och Jacobsen (2001) påpekar även att den viktigaste egenskapen hos en handbrandsläckare inte är hur effektivt den släcker en brand, utan snarare ifall släckningen är permanent eller ej. Stensaas och Jacobsen (2001) menar på att risken för återantändning var påtaglig vid bränder med en effektutveckling på över 500 kW både med pulversläckare av typen ABC och BC. Denna problematik speglas i de verkliga händelserna som tidigare nämnts, särskilt under bränderna i Mastrafjordtunneln, Gudvangatunneln och Oslofjordtunneln. På grund av risken för återantändning rekommenderar Stensaas och Jacobsen (2001) att minst två pulversläckare bör finnas tillgängliga för att säkerställa att branden verkligen kan släckas ordentligt och för att förhindra att branden eventuellt flamar upp igen. Det konstateras dock att en effektutveckling som överstiger 500 kW är osannolik i en däckbrand, och således borde två pulversläckare vara tillräckliga för en lyckad släckningsinsats (Stensaas & Jacobsen, 2001).

2.11.3 Kunskap om handbrandsläckare, dess användning och riskminskningseffekt

Oavsett om själva handbrandsläckaren är tillräcklig för att släcka en fordonsbrand eller ej, har detta ingen inverkan ifall de individer som ska använda den inte vet om att den finns eller hur den ska användas. Enligt en studie av Frantzich och Nilsson (2003) var enbart 36 % av de tillfrågade försökspersonerna bekanta med det faktum att det finns brandtekniska installationer, såsom exempelvis hjälptelefoner och handbrandsläckare, att tillgå i tunnlar. Vidare har Potier och Marsaul (2018) utfört en jämförelse mellan två studier som utfördes i syfte att undersöka människors beteende vid just säkerhet i tunnlar. Båda studierna som hänvisas till i rapporten gjordes med europeiska försökspersoner, där majoriteten av deltagarna bestod av fransmän. Enligt den ena studien som utfördes 2004 visste endast 45 % av de tillfrågade personerna att tunnlar brukar vara utrustade med handbrandsläckare, en siffra som är aningen högre än den som redovisats av Frantzich och Nilsson (2003). I den efterföljande studien som gjordes 2015 visste 65 % att tunnlar är utrustade med

handbrandsläckare (Potier & Marsaul, 2018). I studien av Frantzich och Nilsson (2003) som gjordes i Sverige kunde det konstateras att 62 % av deltagarna hade tidigare erfarenhet av att släcka en kontrollerad brand under en organiserad brandövning.

2.11.4 Tillväxthastighet för fordonsbränder

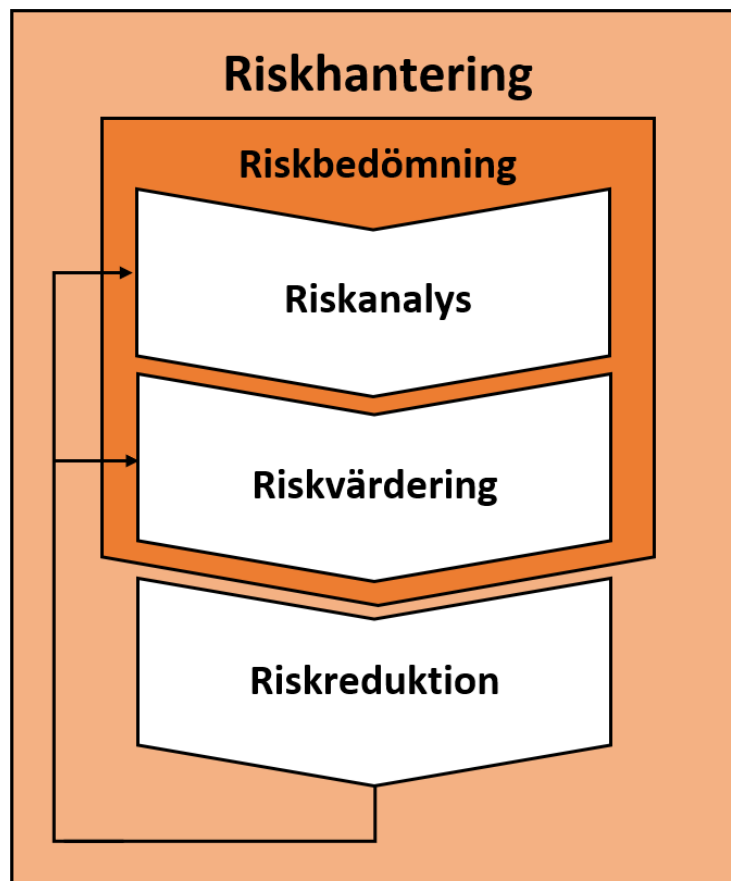
Xu et al. (2024) har gjort en sammanställning av flertalet tester som utträttats inom olika fordonsbränder. Sammanställningen inkluderar även materialtyper som kan väntas ingå i respektive brand och rekommenderade värden inom branschen för karakteristiska variabler associerade med denna typ av bränder. Baserat på värden från de sammanställda testerna har Xu et al. (2024) tagit fram rekommenderade nyckelvärden för karakteristiska egenskaper hos fordonsbränder under tillväxtfasen. Den maximala effektutvecklingen och tillväxthastigheten för olika fordonsbränder ur rapporten av Xu et al. (2024) presenteras i Tabell 3.

Tabell 3 Maximal effektutveckling och tillväxthastighet för olika typer av fordonsbränder.

Fordonstyp	Effektutveckling (MW)	Tillväxthastighet (kW/s ²)
Personbil	2 – 10	0,003 – 0,13
Buss	10 – 50	0,05 – 0,15
Tunga fordon	50 – 200	0,2 – 0,3

3 Riskbedömning

I samband med kostnads-nytto-analysen utvärderas och kvantifieras risker kopplade till bränder i vägtunnlar, vilket speglar metoden som Nilsson (2003) benämner som ”riskhantering”. Riskhantering är en process som används i flera industrier för att utreda vilka risker som hotar en verksamhet och därmed vilka beslut som ska tas för att hantera dessa. Enligt Nilsson (2003) består riskhanteringsprocessen av tre delar: riskanalys, riskvärdering och riskreduktion, se Figur 3.



Figur 3 Översikt över riskhanteringsprocessens olika delar.

3.1 Riskanalys

Nilsson (2003) berättar hur det i praktiken finns tre huvudsakliga metoder för att utföra en riskanalys: kvalitativ, semi-kvalitativ och kvantitativ. I samtliga metoder är målet att på något sätt kvantifiera risker, både hur sannolika de är och vad som kan bli konsekvenserna.

I den kvalitativa metoden beräknas inte sannolikhet och konsekvens för riskerna utan endast grovt uppskattas och rangordnas i förhållande till varandra i syfte att jämföra dem och identifiera de värsta. Nivån som riskerna rangordnas i är inte ett numeriskt mått utan kvalitativ, exempelvis liten risk, medelstor risk, stor risk etcetera.

Den semi-kvantitativa metoden liknar metoden ovan där riskerna inte beräknas detaljerat utan endast grovt uppskattas för att kunna jämföras med varandra. Skillnaden är att nivåerna i

rangordningen är mer numeriska och presenteras oftast i intervaller, exempelvis att den oönskade konsekvensen är 1 – 10 dödsfall, 10 – 20 dödsfall, 20 – 30 dödsfall, etcetera.

Den tredje metoden går ut på att beskriva risken kvantitativt och sätta värden på sannolikhet och konsekvens för varje risk. Resultatet blir en punktskattning av skadans storlek. Verktyg som används för att beräkna frekvensen för ett riskscenario är händelseträd och felträd. Ett problem med metoden är att varje beräkningsmodell och indata till kvantifieringen av variabler präglas av osäkerheter som kan komma att påverka beslutsunderlaget. Dessa osäkerheter behöver utredas för att identifiera hur stor påverkan de har på resultatet, exempelvis genom en känslighetsanalys.

I detta arbete kommer underlag för att kunna dra en slutsats kring hjälptelefoner utgöras av kvalitativa och semikvantitativa resonemang då det inte finns tillräckligt med data för att kunna värdera nyttan med dem kvantitativt. Risker kopplade till handbrandsläckare kommer däremot värderas kvantitativt. Motiveringen till detta är att kvalitativa och semikvantitativa resonemang inte är tillräckliga som underlag för att utreda problemformuleringarna. Vidare skapas händelseträd för att ta hänsyn till alla möjliga scenarier.

3.2 Riskvärdering

Nästa steg i riskhanteringsprocessen enligt Nilsson (2003) är riskvärdering, vilket innebär att ett beslut tas om riskerna kan tolereras eller ej, och en analys av åtgärder som eventuellt bör implementeras utförs. I samband med direktivet 2004/54/EG går det att konstatera att riskerna i en vägtunnel inte kunde tolereras. Därför infördes direktivet och därav kraven på hjälptelefoner, handbrandsläckare och andra riskreducerande åtgärder. I dagsläget har andra riskreducerande åtgärder än hjälptelefoner och handbrandsläckare utvecklats markant i förhållande till hur de presterade när beslutet togs. Därför krävs det att utreda på nytt vilka risker som begränsas av användandet av hjälptelefoner och handbrandsläckare.

3.3 Riskreduktion

Nästa steg inom riskhanteringsprocessen är beslutsfattande och genomförande av beslutet (Nilsson, 2003). Här ska varje åtgärd utvärderas med hänsyn till de risker som den begränsar och de kostnader som krävs för att införa den. Om en åtgärd kostar mer än nyttan den bidrar med kan slutsatsen dras att åtgärden inte är lönsam. Oftast står beslutet mellan flera åtgärder, vilket således kräver ett tydligt mått på hur lönsam respektive åtgärd faktiskt är för att det ska kunna jämföras. Det finns ett flertal metoder för att få fram ett sådant mått. Metoden som används i detta arbete är en kostnads-nyttö-analys. Mer om metoden beskrivs i avsnitt 4.1.

3.4 Monetär värdering av ett statistiskt liv

En kostnads-nyttö-analys utförs för att jämföra nyttan med kostnaderna och därav utvärdera lönsamheten med hjälptelefoner och handbrandsläckare. Eftersom kostnaden representeras av ekonomiska termer krävs det utifrån metodiken att nyttan ska representeras i samma enhet. Detta medför en omvandling av de konsekvenser som inte mynnar ut till direkta ekonomiska värden, vilket inkluderar dödsfall, till statistiska mått. Ett statistiskt liv används ofta som

underlag vid beslut om huruvida en säkerhetshöjande åtgärd är ekonomiskt försvarbar (Hultkrantz & Svensson, 2008).

När begreppet statistiskt liv började användas gick uppskattningen ut på att beräkna en individs förväntade livsinkomst, vilket då ansågs vara en "förlorad" inkomst för samhället. Detta kritiserades eftersom det inte togs hänsyn till personers preferenser gällande säkerhet samt att en persons förväntade återstående livslängd inte är densamma för alla vid den stund de omkommer. På grund av detta utvecklades nya metoder som gick i stället ut på att utreda vad människor är villiga att betala för att öka sin egen säkerhet. Utredningen går ut på att antingen studera vad personer gör i verkliga valsituationer för att öka sin egen säkerhet, eller att personer får svara på enkäter som innehåller frågor om hypotetiska valsituationer kring säkerhet (Hultkrantz & Svensson, 2008).

En metod som Trafikverket använder för att uppskatta ett statistiskt liv är att räkna på hur mycket en population är villig att betala för att rädda ett anonymt liv som tillhör den populationen (Trafikverket, 2024a). Metoden går ut på att alla individer i en population får svara på hur mycket de är villiga att betala för att minska risken för dödsfall, och sammanlagt ger detta svar på populationens betalningsvilja för att rädda ett liv. Exempelvis i en population på 100 personer är genomsnittet villigt att betala 100 kr för att minska risken för ett dödsfall med 1%. Sammanlagt är populationen då villig att betala 10 000 kr för att undvika ett dödsfall, vilket blir värdet på ett statistiskt liv i detta fall. En potentiell problematik med metoden är att den bygger på ett genomsnitt för alla svarsenkäter (Hultkrantz & Svensson, 2008). En förmögen person kan betala mer än en person som inte är likaså, vilket kan spegla värdet av ett statistiskt liv till det mindre eller högre. Människan är oftast säkerhetspaternalistisk, vilket innebär att individ A bryr sig mer om individ B:s säkerhet än individ B:s ekonomi, det vill säga, individ A vill att individ B ska lägga mer pengar på säkerhet än vad B själv önskar.

Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden (ASEK) är rapporter publicerade av Trafikverket som tar fram relevanta värden som används i transportsektorns samhällsekonomiska kostnads-nyttanalyser (Trafikverket, 2024b). Trafikverket kontrollerar rapporterna regelbundet så att alla värden förblir relevanta och statistiskt liv är ett av de värdena som Trafikverket kontinuerligt uppdaterar. Den betalningsvilja som tidigare nämndes är inte ett fast tal utan ett värde i ständig variation, och eftersom Trafikverket löpande kontrollerar och uppdaterar sina värden anses deras värde för ett statistiskt liv rimligt att använda. Vidare är det värdet specifikt uppskattat för dödsfall kopplade till vägtrafikolyckor (Trafikverket, 2024a).

I den senaste upplagan av ASEK, ASEK 8.0, har värdet på ett statistiskt liv uppskattats till 46,4 miljoner kr för 2019-prisnivå och 62,5 miljoner kr för 2045-prisnivå (Trafikverket, 2024a). Med interpolering kan värdet av ett statistiskt liv för 2026-prisnivå beräknas till 50,7 miljoner kr.

4 Förutsättningar för analys

Nedan följer en beskrivning av analysens tillvägagångssätt och samtliga relevanta teoretiska och normativa utgångspunkter som analysen kopplar till.

4.1 Analysmetod

Metodiken för att utvärdera lönsamheten med hjälptelefoner och handbrandsläckare i tunnelbränder baseras på en kostnads-nyttö-analys (Cost-Benefit Analysis, CBA). Kostnaden för hjälptelefoner och handbrandsläckare beräknas som totala kostnader per tunnel och år och jämförs med de förväntade nyttorna av dessa. Ifall nyttan överstiger kostnaderna för åtgärden anses den vara lönsam (Trafikanalys, 2012). Förhållandet mellan nytta och kostnader beskrivs med hjälp av en nyttokostnadskvot, där nyttan för åtgärden divideras med kostnaderna. En nyttokostnadskvot på över ett betyder att nyttan överstiger kostnaderna och att åtgärden är ekonomiskt lönsam (Pearce et al., 2006).

Olika metoder används för uppskattning av nyttan som de båda åtgärderna bidrar med för hjälptelefoner respektive handbrandsläckare. Detta beror på att den inverkan de kan ha på situationen i samband med en tunnelbrand skiljs åt inom flertalet aspekter och således är det även lämpligt att använda olika tillvägagångssätt för dem. Anledningen är variationen i mängden data och statistik som finns tillgängliga för hjälptelefon respektive handbrandsläckare.

Nyttan med hjälptelefoner utvärderas kvalitativt med hjälp av resonemang. Detta innebär att samtliga nyttor som hjälptelefoner kan tänkas bidra med inkluderas och jämförs med verkligheten för att sedan utvärdera om funktionen uppfylls i förhållande till vad det kostar att installera och underhålla.

Nyttan med handbrandsläckare analyseras kvantitativt med hjälp av ett händelseträd som konstrueras baserat på underlag från den utförda litteraturgenomgången. Med händelseträdet kartläggs möjliga utfall som kan följa av en tunnelbrand. Händelseträdet mynnar ut i ett antal riskscenarier, där varje scenario får en årlig brandfrekvens och ett mått på konsekvenser bestående av omkomna, samhällskostnader och skador på tunnelkonstruktionen uttryckt i monetära enheter. Sammantaget ger detta ett riskmått i form av uteblivna kostnader per år tack vare ingrepp med handbrandsläckare (Nystedt, 2000).

Då kostnader för inköp och installering av handbrandsläckare är engångskostnader som ej återkommer årligen, behöver dessa fördelas över produktens livslängd för att få en rättvisande årlig kostnad att jämföra med den förväntade årliga nyttan. Den totala förväntade nyttan med handbrandsläckare divideras sedan med de totala sammanlagda kostnaderna per tunnel och år, vilket ger en nyttokostnadskvot (Trafikanalys, 2012). Detta utgör resultatet för handbrandsläckare i analysen. Baserat på de beräknade nyttokostnadskvoterna för handbrandsläckare kan lönsamheten med dessa utvärderas.

4.2 Generisk tunnel

De variabler som ingår i analysen samt analysens förutsättningar och resultat beror på hur tunneln i fråga är utformad. Totalkostnaden för installation av hjälptelefoner och handbrandsläckare beror exempelvis på hur många utrymningsvägar det finns i tunneln, vilket är direkt korrelerat med hur lång tunneln är. De konsekvenser som olika bränder kan leda till beror på tunnelns geometri, ventilationssystem, trafiktäthet, närvaro av farligt gods, vilken typ av brandskyddsåtgärder som finns installerade i tunneln, med mera. Således finns det ett stort antal olika tänkbara kombinationer av tunnlar och brandscenarier som kan uppstå, och att undersöka var och en av dessa anses opraktiskt och utanför gränserna för detta arbete. Därmed används en hypotetisk generisk tunnel i detta arbete för att representera en sorts typtunnel. Egenskaperna hos denna generiska tunnel har tagits fram i samarbete med H. Modig på Trafikverket (personlig kommunikation, 19 december 2025), med hänsyn till hur de anser att en genomsnittlig tunnel som byggs i Sverige utformas.

4.2.1 Geometrisk utformning

Längden på tunneln påverkar antalet utrymningsvägar, där en längre tunnel innebär fler utrymningsvägar, vilket leder till fler hjälptelefoner och handbrandsläckare och således även högre kostnader. Den generiska tunneln som används i analysen är 3 km lång. Tunneln har dubbla tunnelrör utan andra anslutande tunnlar, där trafiken är enkelriktad i vardera tunnelröret och går i motsatt riktning relativt varandra. Respektive tunnelrör innehåller två enkelriktade körfält som är cirka 3,5 m breda. Dessutom tillkommer vägrenar på vardera sidan, en till vänster på 1 m och en till höger på 2 m. Den totala bredden på tunnelröret med körfält och vägrenar blir således 10 m per tunnelrör. Tunneln har en takhöjd på 7 m. I tunneln antas en trafikmängd på cirka 60 000 årsdygnstrafik (ÅDT). I den generiska tunneln förväntas både elektriska och bränsledrivna fordon passera. Även transporter med farligt gods förväntas förekomma.

4.2.2 Säkerhetskoncept

Skyddsåtgärderna i den generiska tunneln tar avstamp i det säkerhetskoncept som tagits fram av Trafikverket och som beskrevs i avsnitt 2.4. De aspekter av den generiska tunnelns säkerhetssystem som ej beskrivs i detalj nedan speglas därmed av de som angivits i avsnitt 2.4.

4.2.3 Brandskyddsåtgärder

I tunneln sker branddetektion i form av rök- och värmedetektorer, samtidigt som den är under konstant kameraövervakning av den typ där stillastående fordon detekteras. Vid detektion meddelas VTC, som sedan kan aktivera brandskyddsplanen där ventilationsstrategin samt sprinkler aktiveras. Förekomsten av sprinkler i den generiska tunneln motiveras med att farligt gods förväntas transporteras där.

4.2.4 Ventilation

Ventilationshastigheten i den generiska tunneln är 7 – 10 m/s i normalläge. Ventilationen i den generiska tunneln förväntas följa ventilationsstrategin som förklaras i avsnitt 2.4.2, vilket innebär att vid händelse av brand sänks lufthastigheten genom att stänga av och sätta på

ventilationen. För enkelhetens skull sätts lufthastigheten i den generiska tunneln till 3 m/s i brandläge. En lufthastighet på 3 m/s är över den kritiska hastigheten och därmed undviks backlayering. Då den generiska tunneln är en relativt kort tunnel antas inga luftutbytesstationer förekomma längs tunnelsträckan, utan luft och brandgaser transporteras ut i det fria via tunnelmynningarna.

4.2.5 Utrymningsvägar

Utrymningsvägar är placerade med jämna mellanrum på 150 m längs tunnelsträckan. Dessa är utformade med trekammarlösningar, där de utrymmen som vetter mot tunnelrören utgör brandslussar och är utrustade med en hjälptelefon och två handbrandsläckare, vardera. Vidare är hjälptelefoner och handbrandsläckare även placerade vid tunnelmynningarna, specifikt en hjälptelefon och två handbrandsläckare för vardera tunnelmynningen för respektive tunnelrör. Totalt är 42 hjälptelefoner och 84 handbrandsläckare utplacerade i den generiska tunneln.

4.3 Kostnader för hjälptelefoner och handbrandsläckare

I följande avsnitt redogörs för de kostnader som följer av installation och underhåll av hjälptelefoner och handbrandsläckare i vägtunnlar. Kostnadsuppskattningar och motiveringar till dessa har tagits fram i samarbete med H. Modig (personlig kommunikation, 12 januari 2026) på Trafikverket. I större investeringsprojekt såsom nybyggnation av tunnlar ingår kostnader för både hjälptelefoner och handbrandsläckare vanligtvis som en mindre del i en större avtalssumma vilket gör att det är svårt att tillskriva dessa några specifika kostnader (H. Modig, personlig kommunikation, 22 december 2025). Därmed är dessa svåra att uppskatta med någon form av exakthet och på grund av detta presenteras de i form av två olika scenarier, där ett lågt och ett högt antaget värde för respektive kostnadskategori används.

Beräkningen av kostnaderna för respektive åtgärd delas in i investeringar som görs i det initiala skedet samt kostnader som fortlöper under tiden som tunneln är i drift. Dessutom delas kapitalinvesteringen in i kostnader som påverkas marginellt av antalet hjälptelefoner och handbrandsläckare som installeras i tunneln – det vill säga fasta kostnader – och kostnader som ökar mer eller mindre proportionerligt med antalet enheter, som benämns rörliga kostnader. Detta i syfte att ge en verklighetsanpassad och rättvisande representation av de kostnader som förväntas resultera av installation och underhåll av hjälptelefoner och handbrandsläckare i tunnlar.

De beräkningar som utförts baserat på de ingångsvärden som erhållits av Trafikverket har genomförts med full numerisk precision, men med hänsyn till att ingångsvärdena har baserats på översiktliga uppskattningar redovisas resultaten av beräkningarna i detta avsnitt som avrundade till närmaste tusental kronor. Detta för att inte ge en missvisande bild av noggrannheten.

4.3.1 Annuitet

Många av kostnaderna kring hjälptelefoner och handbrandsläckare tillkommer aldrig samtidigt och vissa förekommer inte förrän senare, exempelvis kostnader för drift och underhåll. Analysen utgår för samtliga indata ifrån en årlig basis, vilket innebär att samtliga

kostnader för hjälptelefoner och handbrandsläckare måste fördelas lika över åren som de är operationella, det vill säga över deras livslängd. Engwall et al. (2020) belyser ett flertal tillvägagångssätt för att göra detta med hänsyn till prisindex. Annuitetsmetoden är en av de metoder som Engwall beskriver. Metoden utgår ifrån en kalkylränta som används för att räkna om samtliga kostnader för ett objekt till ett årligt belopp under en specifik tidpunkt. Man säger att framtida betalningar ”diskonteras” till nutid med hjälp av kalkylräntan. Metoden bedöms därmed vara relevant och med den tillkommer *ekvation 1*, tagen från Engwall et al. (2020) som används för att beräkna en annuitetsfaktor (ANN). ANN multipliceras med summan av alla förväntade och estimerade kostnader för att beräkna en årlig avgift diskonterad till nutid.

$$ANN = \frac{r}{1-(1+r)^{-n}} \quad (\text{ekvation 1})$$

Ekonomisk livslängd n är den förväntade livslängden hos produkten som studeras. Trafikverket (2024a) beskriver vilken kalkylränta r som Trafikverket förväntas använda vid genomförandet av kostnads-nyttö-analyser kopplade till trafiksektorn. Den senaste framtagna kalkylräntan för när detta arbete skrivs är 5,0 % och det är även denna som används i detta arbete. Samtliga kostnader som används i analysen belastar just Trafikverket någon gång i framtiden. Därför anses det vara lämpligt att använda Trafikverkets uppskattade kalkylränta vid beräkning av ANN (Trafikverket, 2024a).

4.3.2 Hjälptelefoner

De inledande kostnaderna för hjälptelefoner vid nybyggnation av en tunnel är de som uppstår i projekteringsstadiet, där upplägget med hjälptelefoner i tunneln ska bestämmas och dokumenteras. Inom detta stadie måste ett stort antal aktörer samordnas och projektets omfattning, komplexitet och kravställningsnivån har stor inverkan på tidsramarna. Vissa projekt blir färdiga på ett par timmar, medan andra kan sträcka sig över en längre tidsperiod, beroende på de tidigare nämnda omständigheterna. Således kan även kostnaderna för detta arbete variera, men ett värde för lågkostnadsscenarioet på 8 000 kr och 25 000 kr för högkostnadsscenarioet anses vara lämpligt för den aktuella analysen.

Själva hjälptelefonen i fråga kan variera i pris beroende på exempelvis vilken typ av telefon det är, vilka tekniska specifikationer den har, vilken leverantör som väljs, med mera. En produktkostnad på 5 000 respektive 15 000 kr per hjälptelefon för låg- och högkostnadsscenarioet antas för att ta hänsyn till detta.

När projekterings- och dokumentationsarbetet är färdigt och inköp av produkter har utförts, kan arbetet med att installera själva hjälptelefonerna i den aktuella tunneln påbörjas. Hjälptelefonerna placeras i tunnelns utrymningsvägar och kablar måste dras för att förse dem med ström. Arbetet med detta sköts av tekniker och kostnaden för detta beror på hur lång tid själva arbetet tar, vilket i sin tur är relaterat till hur komplex installationsprocessen och kabeldragningen är. Detta varierar från fall till fall, men för det aktuella fallet anses det rimligt att räkna med en arbetstid på 8 – 15 timmar per telefon för kabeldragning från huvudledning

till inkopplingspunkt. Timpriset för en tekniker kan även det variera i Sverige, där allt från 450 – 800 kr per arbetstimme är vanligt. Baserat på de ovannämnda faktorerna anses 4 000 kr för lågkostnadsscenario och 12 000 kr för högkostnadsscenario per hjälptelefon vara lämpligt för analysens syfte.

När kabeldragningen är färdig och hjälptelefonen har installerats i tunneln tillkommer även kostnader för uppkopplingsarbetet. Hjälptelefoner behöver även testas och driftsättas, där allt dokumenteras. Sammantaget ansätts en kostnad på 1 000 respektive 3 000 kr för detta arbete, per hjälptelefon.

Ytterligare kostnader inkluderar den löpande årliga kostnaden för de kontroller som måste utföras för att underhålla hjälptelefonerna. Enligt H. Modig (personlig kommunikation, 12 januari 2026) är det vanligt att räkna med en kostnad som motsvarar 2 – 5 % av inköpspriset för den utrustning som ska kontrolleras, dock bör denna procentsats i detta fall ökas på grund av den rådande komplexiteten i tunnlar jämfört med mer standardiserade byggnader. Detta beror exempelvis på att det inte är möjligt att komma åt hjälptelefonerna i en tunnel under den tid då denna är i drift, utan kontrollen behöver göras under en tunnelstängning. Således uppgår kostnaden för detta underhåll troligtvis till närmare 5 – 10 % av nypriset för en hjälptelefon (H. Modig, personlig kommunikation, 12 januari 2026). Kostnaden för kontrollen motsvarar 250 kr respektive 1 500 kr per år baserat på dessa procentsatser, där prissättningarna gäller per hjälptelefon.

När det kommer till indelning i fasta och rörliga kostnader för hjälptelefoner anses kostnader som tillkommer i projekteringsstadiet och som har att göra med ritning, dokumentation och design av hjälptelefonernas upplägg påverkas minimalt av antalet telefoner som ska installeras. Skillnaden i tid och således även i arbetskostnad bedöms vara så pass liten att denna – för analysens syfte – praktiskt kan anses vara en fast kostnad. Vidare anses produktkostnaden vara rörlig. Bortsett från eventuella mängdrabatter som återförsäljare kan tänkas ge inköparen påverkas dessa kostnader per telefon inte av antalet som installeras i tunneln, utan totalkostnaden ökar mer eller mindre linjärt vid inköp av ett större antal hjälptelefoner. Även kostnader som tillkommer för den årliga kontrollen av telefonerna antas vara proportionella mot antalet hjälptelefoner, då majoriteten av prissättningen för denna tjänst baseras på antalet telefoner som behöver kontrolleras. Detsamma gäller för kostnader för själva monteringen av hjälptelefonerna samt kabeldragning och elinstallation, som även ökar ju fler telefoner som ska installeras, då arbetet tar längre tid. Troligtvis kommer ökningen av dessa kostnader inte vara helt linjär, men det är en av de förenklingar som görs i denna analys för alla dessa kostnader.

För att beräkna den årliga kostnaden för hjälptelefonerna diskonteras totalkostnaderna med den tidigare nämnda annuitetsfaktorn. För denna beräkning krävs en uppskattning av livslängden för en hjälptelefon. I TRVINFRA-00233 (2025) rekommenderas en livslängd på 20 år, vilket är det som används i denna kalkyl.

Vid beräkning av den totala kostnaden för hjälptelefoner behöver antalet telefoner som ska köpas in uppskattas. Antalet telefoner (42) multipliceras med summan av de rörliga kostnaderna, vilket ger en kostnad på 420 000 för lågkostnadsscenarioet och 1 260 000 kr för högkostnadsscenarioet. Dessa summeras med de fasta kostnaderna på 8 000 och 25 000 kr, vilket gör att den totala investeringen uppgår till 428 000 respektive 1 285 000 kr för den aktuella generiska tunneln.

För att beräkna den årliga kostnaden per tunnel slås kostnaderna ut över livslängden för en hjälptelefon, vilket görs genom diskontering med hjälp av en kalkylränta. Baserat på livslängden på 20 år och en kalkylränta på 5 % kan en annuitetsfaktor på 0,08 tas fram med hjälp av *ekvation 1*. När totalkostnaderna multipliceras med denna fås en årlig kapitalkostnad på cirka 34 000 respektive 103 000 kr.

Slutligen tillkommer kostnader för den årliga kontrollen, som även den multipliceras med antalet telefoner som ska kontrolleras vid varje tillfälle. För 42 hjälptelefoner uppgår dessa kostnader till cirka 11 000 och 63 000 kr per år som adderas till de totala kostnaderna. Detta ger en årlig kostnad per tunnel för hjälptelefonerna på 45 000 kr för lågkostnadsscenarioet och 166 000 kr för högkostnadsscenarioet. En sammanställning av samtliga kostnader för hjälptelefoner visas i Tabell 4.

Tabell 4 Sammanställning av kostnader för hjälptelefoner i en generisk tunnel.

Typ av kostnad	Låg uppskattning (kr)	Hög uppskattning (kr)
Fasta kostnader		
Projektering och dokumentation	8 000	25 000
Rörliga kostnader (per hjälptelefon)		
Produktkostnad	5 000	15 000
Kabeldragning och installation	4 000	12 000
Inkoppling och testning	1 000	3 000
Summa rörliga kostnader, 42 hjälptelefoner	420 000	1 260 000
Summering		
Summa total investering	428 000	1 285 000
Årlig kapitalkostnad	34 000	103 000
Årlig kontroll av 42 hjälptelefoner	11 000	63 000
Total årskostnad per tunnel	45 000	166 000

4.3.3 Handbrandsläckare

Majoriteten av kostnadstyperna för handbrandsläckare är snarlika de för hjälptelefoner. Dock finns det ett antal aspekter som skiljer dem åt, vilket gör det nödvändigt att även beskriva de kostnader som handbrandsläckare bidrar till på ett utförligt vis.

Kostnader för handbrandsläckare utgörs både av initiala kostnader i form av kapitalinvesteringar och löpande årliga kostnader. Bland initialkostnaderna kommer först och

främst de kostnader som uppstår i projekteringsskedet. Detta arbete innefattar allt från att ta fram de tidiga handlingarna i tunnelbyggets projekteringsstadium där strategin kring handbrandsläckare samt dess utplaceringar formuleras, till att de slutliga relationshandlingarna tas fram. Dessa kostnader kan komma att variera beroende på projektets omfång, men efter en överläggning med Trafikverket anses en kostnad på 8 000 respektive 25 000 kr för låg- och högkostnadsscenarioet vara lämplig för både projektering och framtagande av dokument.

Vidare följer sedan kostnader för inköp av själva släckaren samt hållaren som släckaren ska monteras på. Kostnaden för dessa kan bero på flertalet faktorer, såsom exempelvis vilken typ av handbrandsläckare som ska köpas och vilken metod som används för upphängning av släckarna. För inköp av handbrandsläckare bedöms ett lägre pris på 700 kr och ett högre pris på 1 200 kr vara rimliga. Utöver släckare krävs även inköp av en närvarogivare, det vill säga en sensor som kopplas till tunnelns larmsystem så att VTC kan få reda på ifall en handbrandsläckare har plockats från sitt väggfäste. Kostnadsspannet för en sådan bedöms vara 300 respektive 1 000 kr per styck.

Det tillkommer även kostnader för montering av närvarogivare och släckare på väggarna i utrymningsvägarna. På grund av närvarogivaren dras även kablar för elektricitet där handbrandsläckaren ska sitta. Detta gör att det tillkommer kostnader för tekniker som utför detta arbete. Det anses rimligt att detta totala sammanlagda arbete bör motsvara cirka 8 – 15 timmars arbetstid per släckarpar och med ett timpris på 600 – 700 kr mynnar detta ut i en kostnad på 8 000 respektive 12 000 kr per släckarpar, vilket motsvarar 4 000 och 6 000 kr per handbrandsläckare. Dessutom tillkommer även kostnader för att installera närvarogivaren och utföra ett test som ser till att den fungerar, är rätt kopplad och agerar som den ska när en handbrandsläckare lyfts bort. Den sammantagna kostnaden för en sådan installation samt funktionskontroll kan uppgå till 1 000 kr för lågkostnadsscenarioet och 2 000 kr för högkostnadsscenarioet, per släckare. Det tillkommer även, likt för hjälptelefonerna, löpande årligt underhåll. Kostnaden för denna är lika svår att uppskatta som den för hjälptelefoner, men samma metod och procentsats anses även vara rimliga att använda för handbrandsläckare, det vill säga 5 – 10 % av produktkostnaden. Här motsvarar detta en kostnad på 35 respektive 120 kr per släckare, vilket för 84 handbrandsläckare motsvarar cirka 3 000 respektive 10 000 kr per år.

För detta arbetes syfte används en livslängd på 5 år eftersom samtliga handbrandsläckare i vägtunnlar byts ut vart femte år. Således summeras kostnaderna för handbrandsläckarna och fördelas över livslängden på 5 år med annuitetsfaktorn för att få den årliga kostnaden. När den slutliga beräkningen ska göras för att bestämma den totala årskostnaden för installation av handbrandsläckare i en tunnel behöver de kostnader som nämnts ovan delas in i två olika kategorier. Anledningen till detta är att vissa av kostnaderna är beroende av antalet släckare som köps in och andra är inte det.

Precis som för hjälptelefoner påverkas kostnaderna för handbrandsläckare på olika sätt baserat på hur många som installeras och om kostnaderna är rörliga eller fasta. Bland de rörliga

kostnaderna, som ökar allteftersom fler handbrandsläckare installeras, återfinns kostnader för inköp av själva släckaren samt närvarogivare, kabeldragning, installationskostnader, inkoppling- och funktionstester samt kostnader för de regelbundna kontrollerna. Anledningen till detta är, likt för hjälptelefoner, att arbetet tar längre tid ju fler släckare som ska monteras. Förenklingen att dessa ökar linjärt med antalet produkter som installeras görs även här för alla rörliga kostnader. Likt fallet med hjälptelefoner finns även de fasta kostnaderna som inte påverkas markant av antalet telefoner, det vill säga kostnader för projekteringsarbetet.

Beräkningsgången för handbrandsläckarna är snarlik den för hjälptelefonerna. Summan för de rörliga kostnaderna multipliceras med antalet handbrandsläckare, vilket ger 504 000 kr för lågkostnadsscenariot och 857 000 kr för högkostnadsscenariot. Efter att dessa adderats till de totala fasta kostnaderna på 8 000 och 25 000 kr, fås en total investeringskostnad på 512 000 respektive 882 000 kr. Baserat på livslängden på 5 år och en kalkylränta på 5 % kan en annuitetsfaktor på 0,23 tas fram med hjälp av *ekvation 1*, som används för att diskontera summan av de fasta och rörliga kostnaderna. Detta ger en årlig kapitalkostnad på 118 000 respektive 203 000 kr. Efter att kostnader för den årliga kontrollen på 3 000 respektive 10 000 kr adderats blir den slutliga kostnaden per tunnel och år för handbrandsläckarna 121 000 kr för lågkostnadsscenariot och 213 000 kr för högkostnadsscenariot. En sammanställning av samtliga kostnader för handbrandsläckare visas i Tabell 5.

Tabell 5 Sammanställning av kostnader för handbrandsläckare i en generisk tunnel.

Typ av kostnad	Låg uppskattning (kr)	Hög uppskattning (kr)
Fasta kostnader		
Projektering och dokumentation	8 000	25 000
Rörliga kostnader (per släckare)		
Produktkostnad	700	1 200
Närvarogivare	300	1 000
Kabeldragning och installation	4 000	6 000
Inkoppling och testning	1000	2 000
Summa rörliga kostnader, 84 handbrandsläckare	504 000	857 000
Summering		
Summa total investering	512 000	882 000
Årlig kapitalkostnad	118 000	203 000
Årlig kontroll av 84 släckare	3 000	10 000
Total årskostnad per tunnel	121 000	213 000

5 Analys och resultat av hjälptelefoner

I detta kapitel redogörs för samtliga resonemang kopplade till hjälptelefoners nytta, vilka kopplas till rådande och relevant regelverk.

5.1 Värdering av nyttan med hjälptelefoner

Hjälptelefoner kan möjliggöra att räddningstjänsten blir informerad om att en olycka har inträffat, och var i tunneln, i ett tidigt skede och därmed får bättre förutsättningar att kunna utföra en effektiv räddningsinsats. Exempelvis är det fördelaktigt vid händelse av brand. Enligt Ingason et al. (2005) är bränder som inte har nått maximal effektutveckling gynnsammare att släcka eftersom det både är lättare att komma i kontakt med brandkällan, på grund av att det inte har bildats skadliga förhållanden i form av höga temperaturer och stora mängder brandgaser, samt att branden kräver mindre släckmedel för att bekämpas. Det bedöms också att ifall räddningstjänsten anländer i ett tidigare skede under händelseförloppet kan de hjälpa till med utrymning för de personer som fortfarande vistas i miljöer där de kan utsättas för kritiska förhållanden.

Problemet med att bedöma nyttan med hjälptelefoner, som att användning av dem ger räddningstjänsten bättre möjlighet att anlända tidigare till olycksplatsen, är att det även gäller för mobiltelefoner. Mobiltelefoner bedöms också kunna användas för att kontakta berörd aktör och meddela VTC om att en olycka har inträffat. Enligt H. Modig (personlig kommunikation, 5 december 2025) var teknologin inom mobiltelefoner när direktivet för hjälptelefoner publicerades 2004 inte lika utvecklad som i nutid. Direktivet gavs ut på grund av begränsad täckning i vägtunnlar och att det därmed var svårt att få kontakt med VTC. Dock visar de incidentrapporter som redogjorts för i litteraturgenomgången att mobiltelefoner används mer frekvent än hjälptelefoner i samband med att larma om att en olycka har inträffat i en vägtunnel. Även i många av fallen där en person har valt att använda en hjälptelefon har en mobiltelefon också använts. Detta tyder på en förändring i tillförlitligheten hos mobiltelefoner. Vidare konstaterar H. Modig (personlig kommunikation, 5 december 2025) att framtida tunnlar som projekteras kommer kunna förse teleoperatören med goda förutsättningar för att ge sina kunder pålitlig täckning i vägtunnlar, främst genom utökad kabeldragning. Till följd av detta bedöms sannolikheten för att någon använder sin mobiltelefon för att meddela VTC i dagsläget vara hög, och förväntas öka i framtiden. Mobiltelefoni och hjälptelefoner är inte heller det enda sättet för VTC att bli informerade om att en olycka har inträffat. Baserat på de incidentrapporter som beskrevs i avsnitt 2.10 förekommer det även att incidentkameror uppfattar incidenten innan en hjälptelefon används och då automatiskt larmar VTC.

En fördel med hjälptelefoner som kan bidra med en viss nytta är att enligt säkerhetskonceptet blir VTC larmad när en hjälptelefon används. De blir då också varse om exakt vilken hjälptelefon i vägtunneln som används. Detta innebär att VTC även blir varse om var i tunneln incidenten kan ha inträffat och var det kan förväntas finnas utrymmande personer. Vidare kan personen som använder hjälptelefonen verbalt informera VTC om var i tunneln en incident har inträffat eftersom varje hjälptelefon är försedd med ett specifikt namn som

förmedlar denna information. Dock är tunnlar i dagsläget försedda med utrymningsvägar som är tydligt märkta med specifika namn och numreringar, vilket gör att någon som använder sin mobiltelefon kan använda denna information för att förmedla var i tunneln olyckan har inträffat utan att använda en hjälptelefon. Varje utrymningsväg är även larmad, vilket innebär att om en används vet VTC vilken och därmed fastställer positionen för incidenten. Incidentkameror ger också information om var olyckan är placerad och i vilken omfattning.

Ytterligare ett användningsområde för hjälptelefoner är att de är användbara när det behöver förmedlas relevant information angående en incident som inträffat. I avsnitt 2.6 beskrivs enligt litteraturen att en del människor inte vet hur de ska agera vid händelse av brand eller olycka. Genom att ta kontakt med VTC kan de ge relevant information som berör hur människor ska agera eftersom de är både utbildade och har översyn över hela situationen. Det finns även fall där personer har tagit sig till en utrymningsväg men har valt att stanna och invänta vidare instruktioner. Här fyller hjälptelefoner en funktion genom att ge personerna direkt kontakt med VTC, som då kan förmedla viktig information som berör de drabbade personerna. Den generiska tunneln som detta arbete utgår ifrån är dock utrustad med digitala skyltar. Dessa kan kommunicera till utrymmande personer hur de ska agera under de givna förhållandena och därmed ersätta hjälptelefoner när det kommer till funktionen ”förmedla information”. Dock har det enligt H. Modig (personlig kommunikation, 5 december 2025) förekommit övningar med räddningstjänst i vägtunnlar där de medverkande personerna har befunnit sig i utrymningsvägarna under en lång tid utan att kommunikation etablerats mellan dem och räddningspersonalen. De behövde använda en hjälptelefon för att ta kontakt med VTC och efterlysa information. Detta är ett tecken på en funktion som hjälptelefoner fortfarande fyller trots närvaron av modern teknologi. Möjligtvis kan hjälptelefonerna ersättas ifall utrymningsvägarna i stället är utrustade med informationsskyltar som berättar hur personer där ska gå tillväga för att kontakta VTC, exempelvis i bästa fall ett nummer direkt till VTC, alternativt hänvisa till SOS Alarm eller polisen. Ytterligare en begränsning med exempelvis digitala skyltar är att dessa bygger på att olyckan detekteras. Detta ställer höga krav på tunnelns detektionssystem för att kunna argumentera för att digitala skyltar tillsammans med mobiltelefoner ska kunna ersätta hjälptelefoner.

5.2 Kopplingar till regelverk

I 2004/54/EG artikel 2 är det skrivet att vägtunnlar ska vara försedda med hjälptelefoner på ett intervall som inte får överstiga 150 m. Direktivet är funktionsbaserat, vilket innebär att om andra lösningar än hjälptelefoner ger likvärdig eller bättre riskreducerande effekt går det att i stället implementera dessa. Specifikt använder direktivet termen ”undantag för innovativ teknik”, vilket öppnar upp för förändring mot motiveringen att den nya tekniken ger likvärdiga eller bättre riskreducerande effekter. Baserat på detta direktiv går det att argumentera för att den nya tekniken i vägtunnlar kan ersätta hjälptelefoner i den funktion de fyller. Mobiltelefoni, incidentkameror, detektionssystem och ständig kameraövervakning kommer med högsta sannolikhet, baserat på observationer från incidenter, att kunna detektera olyckor i ett tidigare skede än hjälptelefoner. Kabeldragning för mobiltelefoni ökar även denna sannolikhet genom att förse mobilanvändare med bättre täckning. Vidare kan digitala skyltar och mobiltelefoner ge likvärdiga eller bättre kommunikationsmedel mellan trafikanter

och tunnelpersonal. BBS sänker även risken för att kritiska förhållanden uppstår, vilket kan komma att begränsa hjälptelefoners funktion till att endast utgöra en bekvämlighetsfaktor för utrymmande.

5.3 Resultat

Genom de beräkningar som utfördes i avsnitt 4.3.2 uppgår kostnaderna per år för en 3 km lång tunnel med 150 m mellan utrymningsvägar och två hjälptelefoner i varje utrymningsväg och mynning till 45 000 kr för lågkostnadsscenarioet och 166 000 kr för högkostnadsscenarioet.

Jämfört med kostnaderna för installation och underhåll erhålls resultatet från de kvalitativa resonemangen i kapitel 5 att nyttan med hjälptelefoner är minimal på grund av dagens omfattande användning av mobiltelefoner, pålitlig täckning och nya tekniska innovationer som fyller de funktioner som hjälptelefoner är ämnade för.

6 Analys och resultat av handbrandsläckare

Analysen ämnar kvantifiera nyttan med handbrandsläckare genom att identifiera brandscenarier där en fordonsbrand kan släckas i ett tidigt skede med en handbrandsläckare. Detta genomförs med hjälp av ett händelseträd där möjliga händelseförlopp och tillhörande konsekvenser modelleras. För varje gren i händelseträdet identifieras vilka konsekvenser som begränsas vid en lyckad släckinsats samt vilka kostnader som därmed undviks. Hela händelseträdet redovisas i en separat PDF-fil.

6.1 Antaganden och systemavgränsningar

I följande avsnitt presenteras de efterföljande delhändelserna som kan följa av den initiala händelsen att en brand startar i ett fordon i en vägtunnel, samt de antaganden som gjorts gällande dessa. Kvantifieringen av sannolikheten för dessa utreds i kapitlet som följer.

6.1.1 Fordonstyp

Även om både elektriska och bränsledrivna fordon förväntas färdas genom den generiska tunneln antas dock att varje släckinsats med handbrandsläckare för en brand i batteriet i ett elfordon misslyckas. Antagandet motiveras av det faktum att det är svårt att tränga igenom ett batteripaket med en handbrandsläckare för att nå de drabbade cellerna. Motiveringen görs också på resultaten från Wang et al. (2025) som visar att pulversläckare inte är tillräckligt effektiva för att släcka en batteribrand utan att den återantänds. Till följd av detta tas en sannolikhet att branden har startat i ett elfordon fram för att ta hänsyn till detta i händelseträdet.

6.1.2 Brandtyp

Vägtunnlar kan variera mycket i utformning och de eventuella händelseförloppen som kan ske till följd av en brand är många. Därför anses det viktigt att identifiera representativa bränder som täcker in samtliga konsekvenser en brand i en vägtunnel kan leda till. Bedömningen bakom detta är att om ännu fler bränder skulle studeras hade omfattningen blivit för stor och händelseträdet alldeles för detaljerat.

Med hänsyn till statistik och vilka typer av bränder som utreds i Trafikverket (2010c) kategoriseras samtliga konsekvenser som liten, medelstor eller stor brand. Kategorierna är baserade på om det är en personbilsbrand, bussbrand eller lastbilsbrand. Vidare antas de huvudsakliga anledningarna till att en brand uppstår vara en fordonsdefekt eller en trafikolycka. Kategorierna antas täcka in majoriteten av brandeffekter och konsekvenser som kan tänkas ske i en vägtunnel.

Bränder som involverar flera fordon utöver de som inkluderas i ursprungsolyckan studeras inte i detta arbete. Bedömningen görs med konsekvensanalysen från Trafikverket (2010c) som underlag. I konsekvensanalysen görs antagandet att det generellt är i det tidiga skedet av ett brandförlopp som utrymning är möjlig. Därmed är brandens utveckling i det tidiga skedet avgörande för vilka konsekvenser som följer. Bränder som inkluderar flera fordon når sin maximala effektutveckling efter 1 – 3 timmar, vilket då motsvarar den ungefärliga tiden det

tar för branden att sprida sig till andra fordon. Då utrymning måste ske i det tidiga skedet av brandförloppet och det tar flera timmar för branden att spridas till övriga fordon bör spridningen inte göra någon skillnad för de utrymmande och därav konsekvenserna ifall branden sprids till övriga fordon eller inte. Baserat på detta resonemang beaktas inte ytterligare konsekvenser till följd av bränder som sprids till flera fordon i analysen, utan konsekvenserna av dessa anses motsvara de som följer av en stor brand och inkluderas i detta scenario i analysen.

Vidare anses det relevant att beakta scenarier där det har börjat brinna i ett fordon som transporterar farligt gods och vilka konsekvenser som undviks med ett lyckat ingrepp med en handbrandsläckare. När en brand uppstår i ett fordon som transporterar farligt gods finns det risk för att mer extrema händelseförlopp inträffar. Trafikverket (2010c) utreder vilka konsekvenser som skulle kunna förekomma i vägtunnlar kopplade till olyckor som involverar farligt gods. De har i samråd med Försvarets forskningsanstalt (FOA) enbart undersökt klasserna 1 – 5 eftersom det är endast dessa som antas kunna leda till dödsfall i en olycka med farligt gods i vägtunnlar. Av konsekvenserna som går att koppla till människor utreds endast dödsfall i detta arbete och inte personskador. Därför anses konsekvenserna som kvantifieras i Trafikverket (2010c) rimliga att använda som underlag för att kvantifiera konsekvenserna av en vägtunnelbrand med farligt gods.

Olycksförlopp till följd av en olycka som involverar farligt gods i klasserna 1 – 5 som utreds av Trafikverket (2010c) är:

- Explosion
- Pölbrand
- Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE)
- Gasmolnsexplosion
- Jetflamma
- Gasutsläpp
- Brand
- Brandpåverkad tank

Trafikolyckor bedöms vara den primära anledningen till att det uppstår en pölbrand, BLEVE, gasmolnsexplosion, jetflamma eller gasutsläpp i brandens tidiga skede. Motiveringen är att det är endast när en tank som transporterar farligt gods utsätts för fysiska påfrestningar som det antas leda till något av de nämnda utfallen. Motiveringen har sin grund i MSBFS 2024:10 där det är kravställt att tankcontainrar som innehåller specifika farliga ämnen ska under en viss tid kunna motstå en brand. Vidare bedöms därmed brand till följd av en fordonsdefekt inte leda till något av de nämnda utfallen, i alla fall inte i det tidiga skedet där trafikanter ännu inte har utrymt. Trafikolyckor som bedöms kunna leda till någon av de nämnda utfallen anses även vara så pass resurskrävande att ett ingrepp med en handbrandsläckare antingen redan är för sent eller inte är en prioritering för de inblandade under det givna händelseförloppet. Med detta i åtanke studeras endast explosion, brand och brandpåverkad tank i detta arbete.

Tabell 6 nedan redovisar samtliga bränder och riskklasser med tillhörande konsekvenser som utreds.

Tabell 6 Samtliga typer av bränder som studeras.

Brandtyp	Utfall
Personbilsbrand	Liten brand
Bussbrand	Medelstor brand
Lastbilsbrand	Stor brand
Klass 1 – Explosiva ämnen	Explosion
Klass 2 – Giftiga och brandfarliga gaser	Brandpåverkad tank
Klass 3 – Brandfarliga vätskor	Brandpåverkad tank
Klass 4 – Brandfarliga fasta ämnen	Kraftig brand
Klass 5 – Oxiderande ämnen	Explosion

6.1.3 Trafiktäthet

Konsekvenserna till följd av en brand kan komma att vara beroende av om det råder låg eller hög trafiktäthet under incidenten. Bedömningen baseras på Technical Committee 3.3 Road Tunnel Operation (2016) och H. Modig (personlig kommunikation, 20 november 2025) som samtliga har uppmärksammat flera händelser där bilister har valt att köra förbi det brinnande fordonet och ut mot mynningen. Bedömningen baseras även på att incidentkameran, enligt H. Modig (personlig kommunikation, 18 november 2025), fungerar bättre när det är lågtrafik. Vid högtrafik kan den låga hastigheten som fordonen färdas i tolkas som stillastående, vilket leder till att incidentkameran inte kan urskilja mellan om det har inträffat en incident eller om det är kö. Resultatet blir att incidentkameran missar att larma om incidenten eller felrapporterar fordon som endast är stillastående på grund av köbildning. På grund av detta väljer VTC att ibland blockera larm från incidentkameran vid högtrafik.

Underlaget visar på att bilister vid lågtrafik väljer att köra förbi det brinnande fordonet och vid lågtrafik är sannolikheten för att incidentkameran uppfattar incidenten högre, vilket ger bättre förutsättningar för att säkerhetssystemen och brandskyddsplanen ska fungera som planerat. Baserat på föregående antas inga omkomma vid brand i en vägtunnel när det är låg trafiktäthet. Till följd utreds endast timmarna då hög trafiktäthet råder.

6.1.4 Släckningssannolikhet

Vilken nytta som genereras av handbrandsläckare i tunneln är beroende av vilka typer av bränder som går att släcka och om släckinsatsen är lyckad.

Baserat på litteraturgenomgången är forskningen kring handbrandsläckares kapacitet att släcka fordonsbränder överlag tämligen begränsad och sällan entydig. Den kunskap som finns att tillgå gällande detta är inte heller alltid väl anpassad för den typen av tunnel som analysen bygger på, vilket framhäver ett behov av att kvantifiera sannolikheten för en lyckad släckinsats med en handbrandsläckare som är särskilt anpassad för detta arbete. På grund av detta behövs ett matematiskt samband tas fram för att kvantifiera sannolikheten för lyckad

släckning av en fordonsbrand i en vägtunnel. Ett sådant samband har tagits fram som en del av detta arbete och beskrivs i avsnitt 6.2.4.

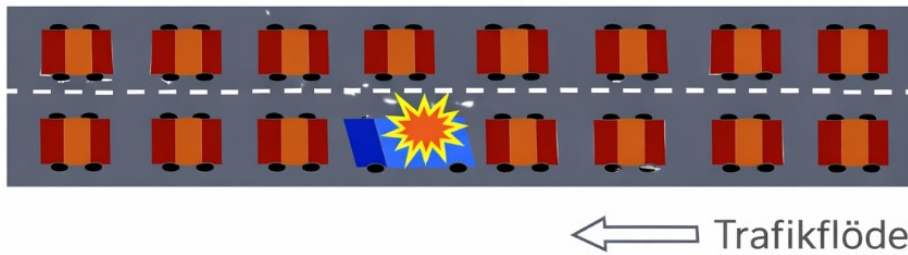
6.1.5 Sprinkleraktivering

Sprinkler förväntas ha en omfattande inverkan på brandförloppet i en vägtunnel. Enligt litteraturen och H. Modig (personlig kommunikation, 5 december 2025) förväntas sprinkler begränsa brandeffekten och sannolikheten för att branden sprids till närliggande fordon. Det innebär att sprinkler också förväntas begränsa konsekvenserna. Till följd av detta antas konsekvenserna av en brand i en vägtunnel vara beroende av sprinkleraktivering och inkluderas därför i händelseträdet.

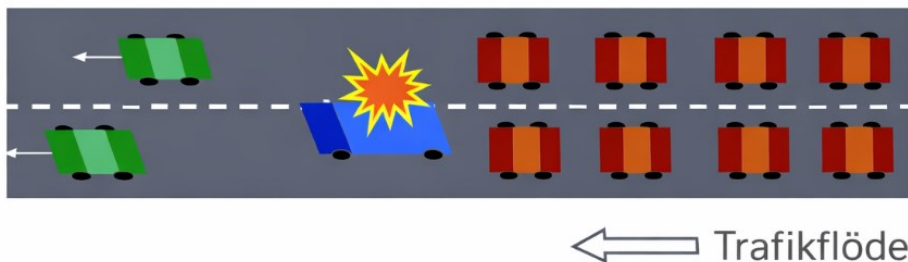
6.1.6 Köbildning

En urskiljning mellan kö och ingen kö anses rimlig att göra. Kö är definierat i detta arbete som att det är stopp både uppströms och nedströms branden, se Figur 4. Denna urskiljning görs eftersom det inte är kö nedströms branden antas trafikanter som befinner sig där kunna utrymma tunneln innan kritiska förhållanden nås. Kö uppstår exempelvis om det sker en upphinnandeolycka – det vill säga en olycka där ett fordon kör in i ett annat fordon bakifrån – nedströms branden, vägarbete eller extrema trängselförhållanden som förhindrar fordon från att köra. Bedömningen stöds av Trafikverket (2010b) som också antar att inga omkommer till följd av en brand i en vägtunnel om det inte är någon kö. Fordon som är nedströms branden förväntas kunna utrymma innan de utsätts för kritiska nivåer. Till följd av detta gjordes inga simuleringar för de utfall där det inte är kö. Observera att begreppen köbildning och trafiktäthet inte är synonyma i analysen. Köbildning innebär att fordonen står helt eller nästintill stilla, medan de fortfarande är i rörelse när det råder hög trafiktäthet. Konsekvenserna är därför beroende av om det är kö eller inte under det givna brandförloppet. Specifikt antas inga dödsfall till följd av brand i en vägtunnel när det inte är kö.

Kö



Ej kö



Figur 4 Illustration över hur kö är definierat. Blåa bilar är olycksdrabbade fordon, röda bilar är stillastående fordon och gröna bilar är fordon i rörelse.

6.1.7 Ventilationsstrategi

Enligt brandskyddsplanen i den generiska tunneln ska ventilationshastigheten minska vid händelse av brand för att undvika att brandgaserna forceras nedströms. Skulle ventilationsstrategin inte fungera under ett brandförlopp kan konsekvenserna variera enormt. Brandgaser trycks i ett sådant scenario i hög hastighet mot utrymmande personer nedströms branden i de fall då kö förekommer. Samtidigt begränsas brandgasernas färd mot personerna som vistas uppströms. Sammanfattningsvis är det därför intressant att utreda konsekvenser till följd av en brand i en vägtunnel för både scenariot när ventilationsstrategin fungerar och när den inte fungerar i de fall då kö förekommer.

I riskanalysen och konsekvensanalysen som gjorts för Förbifart Stockholm antas allvarliga konsekvenser endast förekomma om köbildning råder (Trafikverket, 2010b, 2010c). Till följd av detta har ett högt ursprungsventilationsflöde på ungefär 8 m/s antagits i simuleringarna eftersom vid kö förväntas det naturliga luftflödet vara lågt och behöver kompenseras med mekanisk ventilation. Vidare har det i konsekvensanalysen antagits att vid händelse av brand justeras ventilationshastigheten ner till 3 m/s. Detta speglar ventilationsstrategin som används i den generiska tunneln, vilket medför att resultatet av simuleringarna skulle kunna användas och inte anpassas. En begränsning är att simuleringarna endast utreder brandförlopp där ventilationsstrategin fungerar. I riskanalysen utreds även brandförlopp när ventilationsstrategin inte fungerar, men som i stället uppskattas utifrån deras egna bedömningar med simuleringarna endast som underlag. Således blir konsekvenserna för brandförlopp när ventilationsstrategin inte fungerar mindre pålitliga. Dock anses bedömningarna tillräckligt motiverade. Därför används riskanalysen som underlag för att

kvantifiera vilka konsekvenser som uppstår när ventilationsstrategin fungerar och inte fungerar. En vidare utredning med specifika beräkningar och simuleringar gällande brandförlopp när ventilationsstrategin inte fungerar rekommenderas att utföras för att kunna argumentera emot eller för de slutsatser som dras i detta arbete.

Ytterligare problem som skulle kunna förekomma är om ventilationen ändrar riktning under brandförloppet. Under ett brandförlopp är det enligt H. Modig (personlig kommunikation, 30 mars 2026) oftast en strategi att ändra riktningen på ventilationen i det opåverkade tunnelröret med en lufthastighet på 1 m/s. Detta för att skapa ett övertryck över utrymningsdörrarna och förhindra brandgasspridning mellan tunnelrören via tunnelmynningarna. Skulle det dock ske ett felagerande av VTC-personalen där dessa i stället ändrar ventilationsriktningen i det drabbade tunnelröret kan detta komma att påverka konsekvenserna. Om ventilationen ändrar riktning är trafikanter uppströms branden inte längre skyddade från brandgaser och kan därmed bli utsatta för kritiska nivåer. För att ta hänsyn till detta bedöms denna typ av problematik ingå i förgreningen där ”ventilationsstrategin inte fungerar”, då konsekvenserna i båda fallen blir värre till följd av spridning av brandgaser. Den stora skillnaden är om det är trafikanter uppströms eller nedströms branden som blir mest påverkade.

6.2 Kvantifiering av frekvens och sannolikhet för delhändelser i händelseträdet

Sammanfattningsvis från ovanstående analyser är händelseträdet uppbyggt av följande delhändelser, se Figur 5. Det kompletta händelseträdet tillhandahålls i separat PDF-fil.

Inledande händelse (brand)	Fordonstyp	Brandtyp	Trafiktäthet	Släckningssannolikhet	Sprinkleraktivering	Köbildning	Ventilationsstrategin fungerar	Brandscenario nr.
Brand i fordon	EV	Liten brand	Låg	Släckt	Ja	Ja	Ja	1
				0		Nej	2	
				Släckt		Ja	3	
				Nej		4		
				Nej		5		
				Nej		6		
				Nej		7		
				Nej		8		
				Ej släckt				

Figur 5 Urklipp av händelseträdet i separat PDF-fil. Specifikt ett urklipp på händelsen liten brand vid låg trafiktäthet. Förgreningarna för hög trafiktäthet är desamma som för låg. Vidare är alla förgreningarna likadana för alla typer av bränder vid låg och hög trafiktäthet.

Figur 5 börjar med den inledande händelsen brand i fordon, vilket är den övergripande händelsen enligt problemformuleringarna som ska utredas för att bedöma nyttan med handbrandsläckare.

Den första delhändelsen är om det brinnande fordonet är eldriven eller bränsledriven. Den här indelningen tar hänsyn till hur ett släckningsarbete kan variera beroende på vilken typ av fordon branden har startat i. I enlighet med tidigare diskussion i detta arbete är sannolikheten för lyckad släckning med pulversläckare i en batteribrand i ett elfordon nästintill obefintlig. Därmed genererar handbrandsläckare inte någon nytta i samband med dessa bränder, vilket gör att denna delhändelse inte förgrenas vidare.

Den andra delhändelsen är brandtyp. Det är viktigt att veta vilka typer av fordon som kan börja brinna i en vägtunnel eftersom det påverkar huruvida det är möjligt att släcka branden och vilka konsekvenser som till följd av det undviks. Förgreningarna är baserade på Tabell 6.

Den tredje delhändelsen är om det råder låg eller hög trafiktäthet under det givna brandscenariot. Trafiktätheten förväntas ha en stor påverkan på antalet dödsfall som varje brandscenario kan leda till.

Den fjärde delhändelsen berättar om hur personen lyckas släcka branden eller inte baserat på brandtyp och rådande förhållanden. Delhändelsen är viktig eftersom om branden inte släcks genereras ingen nytta och beaktas inte i beräkningen.

Den femte delhändelsen är om sprinkleraktivering sker eller inte, eftersom sprinkler antas begränsa brandeffekten och därav också begränsa konsekvenserna.

Den sjätte delhändelsen berättar om det råder köbildning eller inte under det givna brandförloppet. Det tar hänsyn till om bilister förväntas kunna utrymma nedströms branden i sina fordon och därmed begränsa konsekvenserna för dödsfall.

Den sjunde och sista delhändelsen är om ventilationsstrategin fungerar eller ej vilket beaktar hur konsekvenserna för dödsfall förväntas öka skulle ventilationsstrategin inte fungera vid händelse av brand.

Varje kombination av förgreningar mynnar ut i ett brandscenario. I avsnitten nedan kvantifieras sannolikheten för samtliga delhändelser som sammantaget ger frekvensen för varje brandscenario.

6.2.1 Fordonstyp

Andelen elektriskt drivna fordon i Sverige var 13 % under året 2024 (Trafikanalys, 2025). Eftersom det antas att släckning av batteribränder inte är möjlig i denna fordonstyp kommer 13 % av alla fordon som förväntas färdas i tunneln inte studeras. Enligt MSB (2025b) finns det dock fall där en brand i ett elfordon under färd inte har startat i batteriet, utan i andra delar av bilen där det kan finnas större möjlighet till att kunna släcka. Detta innebär att det finns en

andel av bränder i elfordon som faktiskt går att släcka. Denna andel är utmanande att kvantifiera eftersom det är svårt att på förhand veta vart i fordonet branden har sitt ursprung och om batteriet blir påverkat. I en rapport av MSB (2025b) ges en beskrivning av bränder som uppstått i elfordon under åren 2020 – 2024. I 25 av 38 bränder var batteriet delaktigt i branden. Baserat på detta antas 66 % av andelen elfordon (13 %) ingå i ett brandförlopp som ej kan släckas med en handbrandsläckare i tunneln. Detta innebär att cirka 9 % av alla bränder ej går att släcka enbart baserat på fordonstyp.

Det är viktigt att poängtera att enligt Trafikanalys (2025) finns det en ökande trend för antalet elfordon i trafiken. En omfattande ökning av antalet elbilar skulle kunna påverka värdet på 9 %, då detta innebär fler batteridrivna fordon i omlopp som ej går att släcka. Dock enligt MCF (2025) brinner även elfordon mer sällan än bränsledrivna fordon, vilket gör att den totala brandfrekvensen kan minska. Resultatet blir en lägre total brandfrekvens, men med en större andel bränder som ej går att släcka med handbrandsläckare. Totalt sett bör detta leda till färre bränder som handbrandsläckare kan släcka, och därmed även en lägre total nytta dessa bidrar med.

6.2.2 Brandtyp

För att bestämma brandfrekvensen i svenska vägtunnlar användes statistik från PIARC:s databas. I deras statistik är brandfrekvensen uppskattad per transportkilometer och därmed går att anpassa för den generiska tunneln. Vidare är brandfrekvensen uppdelad för lätta och tunga fordon vilket är en viktig faktor eftersom i detta arbete utreds olika typer av fordonsbränder. För att utgå ifrån uppdaterade data används den senaste versionen som släpptes 2016 för att bestämma brandfrekvenser i vägtunnlar (Technical Committee 3.3 Road Tunnel Operation, 2016), se Tabell 2. Problematiken blir att bestämma vilket land som är representativt för Sverige. Det bedöms svårt att definiera kriterier för vad som är representativt för Sverige eftersom alla länder skiljer sig åt på olika vis. I stället används statistiken från varje land som tillhör Europa för att beräkna ett medelvärde. Motiveringen är majoriteten av europeiska länder, inklusive Sverige, lystrar till EU:s lagstiftning och direktiv vid projektering av vägtunnlar och då även följer ett likartat säkerhetsperspektiv. Tabell 7 redovisar beräknat medelvärde av Tabell 2 för lätta och tunga fordon.

Tabell 7 Beräknad medelfrekvens för brandincidenter per miljard transportkilometer för lätta och tunga fordon.

Fordonstyp	Incidenter/10 ⁹ fordonskilometer
Lätta fordon	11,39
Tunga fordon	15,96

Kostnader för installation och underhåll av handbrandsläckare är beräknade i en årlig enhet. Till följd av detta beräknas brandfrekvenserna i Tabell 7 om till en årlig enhet. För detta krävs det att veta hur många fordon som förväntas passera den generiska tunneln om året. I avsnitt 4.2.1 nämns det att i den generiska tunneln förväntas 60 000 fordon passera per dag (H. Modig, personlig kommunikation, 19 december 2025). Antalet behöver delas in i tunga och lätta fordon för att kunna kvantifiera specifika brandfrekvenser för respektive fordonskategori. Enligt Trafikanalys (2025) står tunga fordon för 14 % av all trafik i Sverige. Utifrån en ÅDT

på 60 000 fordon förväntas 51 600 lätta fordon och 8 400 tunga passera den generiska tunneln dagligen. Tillsammans med antagandet att den generiska tunneln är 3 km lång beräknas antalet transportkilometer per år för lätta och tunga fordon. Därefter omvandlas brandfrekvensen för lätta och tunga fordon i Tabell 7 till en årlig brandfrekvens. Resultatet redovisas i Tabell 8 nedan.

Tabell 8 Beräknad brandfrekvens per år för lätta och tunga fordon.

Fordonstyp	Antal bränder per år
Lätta fordon	0,64
Tunga fordon	0,15

Jämfört med statistik från MCF (2025) som visar att brandfrekvensen för tunnlar i Stockholm är ungefär en per år, anses detta vara ett representativt värde som är lämpligt att använda vidare i analysen.

Frekvenserna behöver delas upp i liten, medelstor och stor brand samt brand i fordon med farligt gods. Lätta fordon, såsom en personbil, bedöms motsvara fallet med liten brand. Av de 14 % som Trafikanalys (2025) tar fram för tunga fordon är 6 % av den siffran lastbil utan släp/buss och lastbil med släp 8 %. Genom att ta respektive siffra och dividera med 14 beräknas procentantalet av tunga fordon som lastbil utan släp/buss samt lastbil med släp motsvarar. Indelningen görs på så vis att lastbil utan släp/buss motsvarar en medelstor brand och lastbil med släp motsvarar en stor brand och farligt gods. Enligt Trafikverket (2010c) står farligt gods för ungefär 2,5 % av all tung trafik i Sverige. Tung trafik bedöms motsvara ”lastbil med släp” och till följd beräknas sannolikheten för att det är en stor brand respektive farligt gods utifrån 2,5 %. Tabell 9 nedan redovisar sannolikheten för respektive grupp som ingår i tunga fordon.

Tabell 9 Sannolikheten för respektive fordonstyp som ingår i ”tunga fordon”.

Fordonstyp	Sannolikhet (%)
Lastbil utan släp/buss	43,0
Lastbil med släp	57,0
Stor brand	55,6 (97,5 % av 57)
Farligt gods	1,43 (2,5 % av 57)

Slutligen multipliceras sannolikheten för respektive fordonstyp med brandfrekvensen för bränder i tunga fordon, se Tabell 8. Resultatet för samtliga frekvenser redovisas i Tabell 10 nedan.

Tabell 10 Brandfrekvens per år för respektive brandkategori.

Brandtyp	Antal bränder per år
Liten	0,640
Medelstor	0,065
Stor	0,083
Farligt gods	0,002

I riskanalysen för Förbifart Stockholm utreds vilka faktorer som påverkar att samtliga konsekvenser inträffar ifall en brand skulle starta i ett fordon som transporterar farligt gods (Trafikverket, 2010c). Främst är det vad som transporteras och om branden faktiskt når lasten som påverkar. Trafikverket (2010c) har till följd av detta tagit fram sannolikheter för respektive faktor, se Tabell 11 nedan.

Tabell 11 Sannolikhet och typ av konsekvens för riskklass 1 till 5.

Farligt gods-klass	Sannolikhet för klass (%)	Sannolikhet att branden når lasten (%)	Konsekvenstyp
Klass 1	2,0	50	Explosion
Klass 2	8,0	5	Brandpåverkad tank
Klass 3	83,0	5	Brandpåverkad tank
Klass 4	0,5	50	Brand
Klass 5	0,6	50	Explosion

I riskanalysen utreds sedan sannolikheten för att en brand i klass 1 och 5 leder till en explosion tillsammans med Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI). I riskanalysen delas klass 1 in i grupper baserat på mängden farligt gods som transporteras. Deras motivering är att ju högre mängd farligt gods av klass 1 som transporteras desto kraftigare blir explosionerna och likaså konsekvenserna. Grupperna är baserade på existerande grupper för klass 1, nämligen 1.1 – 1.6. Gruppen 1.1 som är gruppen med störst explosionsrisk antas transporteras i mängder som motsvarar 60 – 5000 kg och grupperna 1.2 – 1.6 antas ske i transporter om 16 ton.

Samtliga sannolikheter för respektive riskklass multipliceras med brandfrekvensen för farligt gods i Tabell 10 för att ta fram en frekvens för respektive klass. Resultatet redovisas i Tabell 12 nedan.

Tabell 12 Sannolikheter och frekvenser för riskklass 1.1 till 5.

Riskklass	Sannolikhet för denna klass (%)	Sannolikhet att branden når lasten (%)	Sannolikhet för explosion (%)	Antal incidenter per år
Klass 1.1	1,8	50	100,0	$1,93 \cdot 10^{-5}$
Klass 1.2 – 1.6	0,2	50	60,0	$1,29 \cdot 10^{-7}$
Klass 2	8,0	5	X	$8,58 \cdot 10^{-6}$
Klass 3	83,0	5	X	$8,90 \cdot 10^{-4}$
Klass 4	0,5	50	X	$5,36 \cdot 10^{-6}$
Klass 5	0,6	50	0,1	$6,43 \cdot 10^{-9}$

6.2.3 Trafiktäthet

Sannolikheten för lågtrafik bedöms utifrån schablonvärden från Trafikverket (u.å.–b) över trafiken i Sverige. I rapporten redogör Trafikverket för hur trafiken varierar över timmarna på dygnet, se Tabell 13. För att bestämma vid vilka tidpunkter det kan förväntas vara högtrafik beräknas ett medelvärde för både personbilar och lastbilar. Under timmarna med ett högre antal fordon än medelvärdet antas högtrafik råda. Vid en jämförelse med värdena går det att urskilja att trafiken mellan klockan 8 – 19 är högre än medelvärdet. Det bedöms att högtrafik inträffar under dessa timmar och sannolikheten för högtrafik blir därmed ungefär 46 % och sannolikheten för lågtrafik blir 54 %.

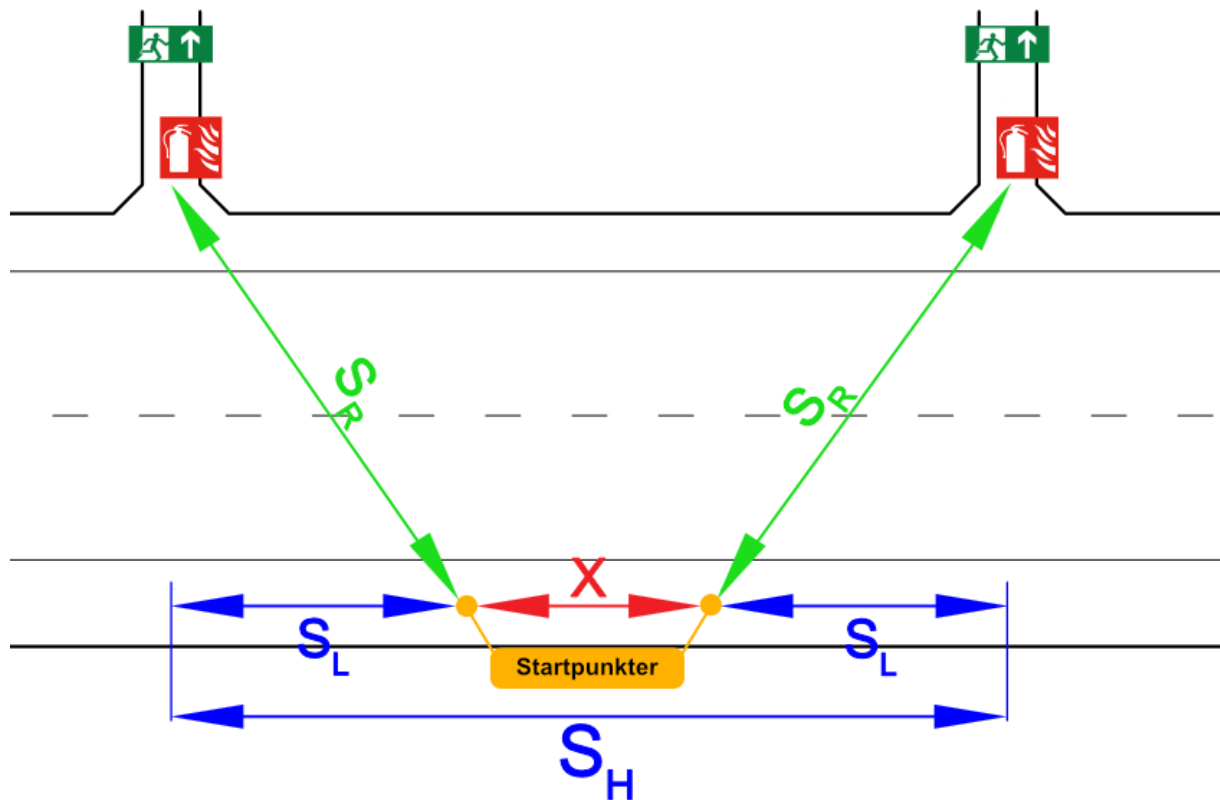
Tabell 13 Andel personbilar och lastbilar som passerar tunneln under varje timme av dygnet.

Timme	Personbilar	Lastbilar
1	16,2	29,1
2	10,3	23,3
3	7,2	19,3
4	6,2	19,2
5	10,5	29,7
6	32,1	60,9
7	89,0	110,2
8	122,8	137,2
9	116,4	151,7
10	118,1	150,3
11	135,6	158,8
12	149,6	163,2
13	159,6	159,7
14	167,2	164,9
15	174,9	167,0
16	192,2	162,7
17	225,5	148,7
18	195,0	126,0
19	150,3	106,6
20	105,3	89,1
21	81,4	74,5
22	64,5	61,1
23	44,2	48,9
24	26,1	37,9

6.2.4 Släckningssannolikhet

Sannolikheten för en lyckad släckinsats P , definieras som sannolikheten att en trafikant hinner hämta en handbrandsläckare efter att ha stannat sitt brinnande fordon i vägrenen och påbörja släckning innan branden överskrider handbrandsläckarens kapacitet. Figur 6 visar en schematisk skiss av en tunnelsektion mellan två utrymningsvägar. När en trafikant upptäcker branden i sitt fordon behöver hen stanna fordonet för att hämta en handbrandsläckare, vilket

görs på en position mellan två utrymningsvägar då dessa är placerade med jämna mellanrum längs tunnelröret, se sträckan S_H i Figur 6.



Figur 6 Schematisk skiss över beräkningsuppställningen. Bilden visar ett tunnelrör ovanifrån, med utrymningsvägar och handbrandsläckare utmarkerade. Gröna pilar visar de sträckor trafikanter kan förväntas förflyttas längs med från fordon till handbrandsläckare och tillbaka. Röd pil visar den sträcka inom vilken det är för långt till närmaste handbrandsläckare för att en trafikant ska hinna hämta en sådan i tid. Blå pilar visar längsgående avstånd i tunneln.

Sannolikheten P bygger på tre faktorer:

- Mängden tid som finns tillgänglig för släckning baserat på brandens tillväxthastighet.
- Trafikantens geometriska sannolikhet, det vill säga sannolikheten att en trafikant stannar på ett ställe i tunneln där de hinner nå en handbrandsläckare i tid.
- En mänsklig faktor, baserad på mänskliga förutsättningar som påverkar släckningen, såsom vetskap om förekomsten av handbrandsläckare i tunnlar.

6.2.4.1 Tillgänglig tid

Enligt litteraturen från avsnitt 2.11.2 behöver släckning påbörjas innan branden når en effektutveckling på 500 kW. Baserat på de värden som presenterats i avsnitt 2.11.4 beräknas medelvärden för brändernas tillväxthastigheter. Detta ger en tillväxthastighet för en personbilsbrand på $0,008 \text{ kW/s}^2$, för en bussbrand på $0,1 \text{ kW/s}^2$ och för en lastbilsbrand på $0,25 \text{ kW/s}^2$. Med antagandet att dessa bränder följer en αt^2 -kurva under tillväxtfasen, vilket rekommenderas av Ingason et al. (2005), innebär detta att en effektutveckling på 500 kW nås efter 250 s, 71 s respektive 45 s.

För att beskriva tiden det tar för en trafikant att upptäcka en brand i sitt fordon, stanna fordonet och börja röra sig mot en handbrandsläckare anses det mest lämpligt att, baserat på de källor som behandlas i avsnitt 2.7, använda modellen för varseblivningstid samt förberedelsetid i analysen. För att få ett värde på detta tidsspann att använda i analysen ansätts ett värde på 120 s, vilket representerar ett slags medelvärde för de tidsspann som redovisades i avsnitt 2.7.

När det gått 120 s från brandstarten återstår 130 s i personbilsfallet för trafikanten att hämta en handbrandsläckare. För bussar och tunga fordon tar det 71 respektive 45 s att nå 500 kW, vilket är kortare än varseblivnings- och förberedelsetiden på 120 s. Således finns det inte någon tid för en trafikant att hinna släcka bränder i bussar och tunga fordon. Detta leder till att sannolikheten för lyckad släckning blir 0 vid brand i dessa fordonstyper. Den fortsatta beräkningen i detta avsnitt kommer därmed endast behandla personbilar.

6.2.4.2 Geometrisk sannolikhet

För att kvantifiera sannolikheten för att en trafikant stannar på en plats i tunneln där hen hinner nå en handbrandsläckare i tid beräknas en geometrisk sannolikhet P_{GS} , baserat på en trafikants förflyttningshastighet och geometriska räckvidd. Med en förflyttningshastighet på 1,5 m/s, baserat på tidigare litteraturgenomgång, och en tillgänglig tid på 130 s, hinner en trafikant förflytta sig 195 m. Denna sträcka ska räcka för att ta sig från fordonet till en handbrandsläckare och tillbaka. Den maximala radiella sträckan S_R som trafikanten kan befinna sig på från en handbrandsläckare för att ha möjlighet att hinna är därmed hälften av den totala förflyttningssträckan, det vill säga 97,5 m.

På väg till och från handbrandsläckaren antas trafikanten färdas den kortaste vägen, det vill säga diagonalt över vägbanan, se S_R i Figur 6. Därmed beror trafikantens maximala geometriska räckvidd på tunnelns bredd. Med en tunnelbredd på 10 m kan den maximala längsgående sträckan längs tunnelväggen beräknas med Pythagoras sats:

$$S_L = \sqrt{97,5^2 - 10^2} = 97 \text{ m.}$$

Längs sträckan där fordonet stannat har trafikanten möjlighet att hämta en handbrandsläckare i båda riktningarna, se Figur 6. Därmed blir trafikantens geometriska räckvidd två gånger 97 m, det vill säga 194 m. Förhållandet mellan denna sträcka och det totala avståndet mellan utrymningsvägar S_H ger den geometriska sannolikheten P_{GS} att stanna fordonet på en plats där trafikanten hinner nå en handbrandsläckare, genom *ekvation 2*:

$$P_{GS} = \frac{2 S_L}{S_H} \quad (\text{ekvation 2})$$

Med ett avstånd mellan utrymningsvägar S_H i grundscenariot på 150 m täcks hela sträckan $2 S_L$ (194 m) in av trafikantens geometriska räckvidd. Därmed finns det ingen sträcka X , det vill säga ingen ”död zon” där trafikanten inte hinner hämta en handbrandsläckare. Till följd av

detta blir den geometriska sannolikheten för en trafikant att befinna sig inom räckhåll det maximala värdet 1,0. Betydelsen av detta blir att oavsett var trafikanten stannar i tunneln under de givna förutsättningarna kommer hen hinna nå en handbrandsläckare i tid.

Det är värt att nämna att trots att sträckan X i grundscenariot med 150 m blev lika med noll, kommer detta koncept att behållas i den generella modellen i syfte att möjliggöra beräkningar för scenarier då avståndet mellan handbrandsläckare eventuellt är så pass stort att det uppstår en ”död zon”. Detta kommer exempelvis användas i känslighetsanalysen.

6.2.4.3 Mänsklig faktor

För att ta hänsyn till hur mänskliga egenskaper kan påverka förloppet används den mänskliga faktorn P_{MF} . Värdet på denna faktor utgörs av sannolikheten att en trafikant vet att det finns handbrandsläckare att tillgå i tunnlar, vilket, som tidigare nämnts, uppgår till 0,65.

Användningen av denna procentsats i detta sammanhang bör ej tolkas som att det finns en garanti för att kunna släcka en brand med en handbrandsläckare bara för att man vet att det finns en sådan att tillgå. Snarare anses detta vara en grundförutsättning för att lyckas släcka branden. Ifall ytterligare aspekter av mänskliga egenskaper inkluderas i faktorn, såsom exempelvis sannolikheten att trafikanter vet hur man använder handbrandsläckare, minskar sannolikheten för lyckad släckning. Därmed blir det konservativt, till fördel för nyttan med handbrandsläckare, att endast beakta trafikantens vetskap om att handbrandsläckare förekommer i tunnlar i beräkningen.

6.2.4.4 Slutlig sannolikhet

Den slutliga sannolikheten P beräknas som produkten av den geometriska sannolikheten och den mänskliga faktorn ($P_{GS} \cdot P_{MF} = P$). Den totala sannolikheten för en lyckad släckinsats P för personbilar blir därmed:

$$P = P_{GS} \cdot P_{MF} = 1,0 \cdot 0,65 = 0,65$$

6.2.5 Sprinkleraktivering

Sprinklersystemet, även kallat BBS, bedöms i samråd med H. Modig (personlig kommunikation, 4 februari 2026) vara tillförlitligt baserat på att det är väl projekterat samt underhålls och testas kontinuerligt. Baserat på detta antas en sannolikhet på 99 % att sprinkler fungerar.

6.2.6 Köbildning

För att bedöma sannolikheten för förekomsten av kö används data från Trafikverket (2010c). I rapporten har statistik över antalet fordon som förväntas passera Förbifart Stockholm under dygnet i timintervall sammanställts. Det högsta antalet fordon som förväntas passera under ett timintervall är 2600. För att göra bedömningen av när det förväntas vara kö i tunneln görs antagandet att det råder kö under timmarna som har en belastning på 80 % eller högre av toppbelastningen, det vill säga 2600 fordon. Resultatet blir att under två timmar om dagen förväntas det vara kö i vägtunneln. Baserat på det tidigare antagandet att det är hög

trafiktäthet 11 timmar om dygnet blir sannolikheten för kö 18 % (2/11), eftersom kö endast antas inträffa när det är högtrafik.

6.2.7 Ventilationsstrategi

Trafikverket (2010c) har utrett sannolikheten för att ventilationsstrategin fungerar. Enligt utredningen bedöms denna vara beroende av:

- Om detektion av branden inträffar.
- Om VTC agerar korrekt.
- Om själva ventilationssystemet fungerar.

Bedömningen anses rimlig baserat på hur den generiska tunnelns säkerhetskoncept är utformat. Att branden detekteras är avgörande för att ventilationsstrategin ska fungera. Antingen uppmärksammas branden av tunnelns detektorsystem och brandskyddsplanen aktiveras, eller uppmärksammas branden manuellt av VTC som till följd aktiverar brandskyddsplanen. Det krävs även att VTC agerar korrekt eftersom de meddelas när systemet detekterar en incident och får under ett tidsspann möjligheten att avvisa ventilationsstrategin. Väljer personalen att avvisa strategin trots närvaron av brand kommer snabbare brandgasspridning att fortgå, särskilt vid förekomsten av kö då ventilationshastigheten då är högre. Även vid manuell detektion kan VTC bortse från att aktivera ventilationsstrategin, vilket ger samma utfall.

För kvantifiering av ingående sannolikheter för att ventilationsstrategin fungerar används data från Trafikverket (2010c) som underlag eftersom det finns brist på data över hur tillförlitliga systemen faktiskt är. Sannolikheterna är:

- 98 % för att branden detekteras.
- 93 % att VTC agerar korrekt givet att branden detekteras och 0 % om branden inte detekteras.
- 99 % att ventilationsstrategin fungerar givet att VTC agerar korrekt och 0 % när VTC inte agerar korrekt, som båda bygger på att branden detekteras eller inte.

För att ta hänsyn till osäkerheterna genomförs en känslighetsanalys för att utreda vilka skillnader som skulle uppstå i resultatet om värdet på sannolikheterna ändras.

Ventilationsstrategin är beroende av att VTC agerar korrekt och VTC är i sin tur beroende av att branden detekteras. Sannolikheten för att VTC agerar korrekt blir därmed produkten av alla positiva faktorer:

$$\text{Ventilationsstrategin fungerar} = 0,99 \cdot 0,93 \cdot 0,98 \approx 0,9$$

Tabell 14 nedan visar en sammanställning av samtliga analyserade sannolikheter i avsnitt 6.2 och som används i händelseträdet.

Tabell 14 Sannolikheter som ingår i händelseträdet vid ett avstånd på 150 m mellan handbrandsläckare.

Delhändelse	Sannolikhet för ”ja” (%)	Sannolikhet för ”nej” (%)
Bränsledrivna fordon	91	9
Hög trafiktäthet	46	54
Släckningssannolikhet för en liten brand	65	35
Släckningssannolikhet för medelstor och stor brand	0	100
Sprinkleraktivering	99	1
Köbildning	18	82
Ventilationsstrategin fungerar	90	10

6.3 Kvantifiering av konsekvenser för varje brandscenario

I detta avsnitt utreds vilka konsekvenser som olika bränder i vägtunnlar kan leda till. Specifikt utreds vilka konsekvenser som är relevanta att inkludera i analysen samt hur dessa kan kvantifieras utefter förgreningarna för varje brandscenario. Sammanfattningsvis är det vad som erhålls i Figur 5 som diskuteras, vilket är vad som kommer efter kolumnen ”Brandscenario nr.” i Figur 7.

[illegible]

Figur 7 visar vad som kommer efter kolumnen "Brandscenario nr." i Figur 5. Specifikt är det ett urklipp av händelsen liten brand vid låg trafiktäthet. Förgreningarna för hög trafiktäthet är desamma som för låg. Vidare är alla förgreningarna likadana för alla typer av bränder vid låg och hög trafiktäthet.

Först presenteras övriga konsekvenser, vilka är summan av kostnaderna till följd av egendoms- och tunnelskador samt samhällskostnader. Därefter presenteras antalet dödsfall utifrån antalet förväntade personer i tunneln baserat på ett minimumvärde, ett mest troligt värde och ett maximumvärde.

Vidare presenteras den totala kostnaden i tusentals kronor för varje scenario för respektive antal förväntade personer. Den totala kostnaden är baserad på summan av övriga kostnader och produkten av antalet döda och värdet av ett statistiskt liv.

I de sista förgreningarna redovisas produkten av frekvensen för varje brandscenario med den totala kostnaden för respektive förväntat antal personer, vilket resulterar i en ”årlig kostnad” som begränsas av användandet av en handbrandsläckare.

6.3.1 Övriga konsekvenser

I detta avsnitt kvantifieras samtliga konsekvenser som utgör ”övriga kostnader” i Figur 7. Med övriga kostnader avses kostnader som ej kopplas till personsäkerhet.

6.3.1.1 Skador på egendom

En konsekvens av tunnelbränder är egendomsskador i form av förstörda och förlorade fordon och ägodelar. För att kvantifiera kostnaderna för egendomsskador krävs kunskap om hur många fordon som tar skada under brandförloppet. En sådan uppskattning är svår att genomföra eftersom antalet fordon som tar skada av branden inte går att förutspå. Fordon kan antingen förstöras helt och behöva ersättas eller endast ta skada, till exempel genom sotdeponering, vilket ger varierande kostnader för att sanera och reparera.

Vid projektering av Förbifart Stockholm behövde Trafikverket utreda vilka typer och kombinationer av tekniska installationer som ger högst säkerhet i vägtunneln (Trafikverket, 2010a). I utredningen har Trafikverket gjort ett försök att kvantifiera vilka kostnader för egendomsskador som installationerna begränsar vid 5 MW, 30 MW och 100 MW:s bränder, se Tabell 15 nedan. På grund av brist på tillförlitliga data och svårigheterna med att försöka förutspå antalet drabbade fordon används utredningens uppskattade kostnader för respektive brand. Effekterna delas även in i liten, mellan och stor brand. Vidare antas det att egendomskostnaderna för en 100 MW-brand även är representativa för brand med farligt gods och används för respektive farligt gods-klass.

Tabell 15 Kostnader till följd av egendomsskador för en liten, medelstor och stor brand.

Typ av kostnad	Liten brand (5 MW)	Medelstor brand (30 MW)	Stor brand och farligt gods (100 MW)
Egendomskostnader	200 000 kr	1 000 000 kr	5 000 000 kr

6.3.1.2 Skador på tunneln

Bränder frigör sot och andra farliga ämnen som kan fastna på väggar, inredning och andra ytor (AAA Standard Services, u.å.). Om tunneln sätts i bruk innan de har åtgärdats kan dessa ämnen orsaka luftvägsproblem och andra skador på hälsan. Sotet kan även erodera i de ytor som det har samlats på och orsaka permanent röklukt i tunneln. Därför är det viktigt att sanera tunneln direkt efter att branden har bekämpats för att säkerställa att den återställs till en säker miljö för personer att vistas i (AAA Standard Services, u.å.). Kostnaden för ett saneringsarbete är svårt att kvantifiera på grund av brist på data. En begränsning är även att det är svårt att förutspå omfattningen av saneringsarbetet eftersom varje brand påverkar ytorna olika. Vissa bränder tar längre tid att bekämpa, vilket kan leda till mer sotdeponering och därmed ett längre och mer omfattande saneringsarbete.

Som tidigare beskrivet är tunnlar försedda med tekniska installationer vars syfte är att öka säkerheten för dem som vistas i tunneln. Vid förekomst av brand finns där en risk att installationerna tar skada och kan behöva bytas ut. Enligt H. Modig (personlig kommunikation, 12 december 2025) kan kostnaderna för att ersätta skadade säkerhetsinstallationer ligga mellan 50 000 och 500 000 kr.

En större kostnad som kan uppstå är om konstruktionen har tagit skada och kräver reparationsarbete. Betongen i en tunnel kan förväntas ta skada om den utsätts för en hög temperatur, uppemot 800 °C, och en snabb temperaturtillväxt (Jönsson & Herrera, 2010). Det förväntas därför att betongen kan behöva repareras när branden når en högre brandeffekt. Detta medför stora kostnader som också är svåra att kvantifiera och skulle kräva en omfattande utredning. Enligt H. Modig (personlig kommunikation, 12 december 2025) kan kostnaderna för att reparera en skada på konstruktionen ligga på 2 500 000 kr och uppåt.

Trafikverket (2010a) har försökt uppskatta kostnaderna för att ersätta förstörd tunnelinredning vid 5, 30 och 100 MW-bränder, se Tabell 16 nedan. Exakt vad som är klassificerat som tunnelinredning är inte definierat, men bedöms täcka in kostnader för sanering, ersättning av tekniska installationer och reparationsarbete för konstruktionen för samtliga bränder. Enligt Jönsson och Herrera (2010) genererar en 5 MW-brand troligtvis inte tillräckligt höga temperaturnivåer för att orsaka skador på tunnelkonstruktionen, dock kan en viss skada på installationer förväntas. Därför anses värdena som anges av Trafikverket representativa för en liten brand eftersom de ligger inom spannet för att åtgärda skador på säkerhetsinstallationer som angavs av H. Modig (personlig kommunikation, 12 december 2025). Likaså för medelstora och stora bränder. Båda förväntas generera höga saneringskostnader, omfattande skador på installationer och hög sannolikhet för kostnader till följd av skador på konstruktionen. Baserat på vad som angavs av H. Modig, det vill säga 2 500 000 och högre, anses kostnaderna i Tabell 16 rimliga för medelstora och stora bränder. En 100 MW-brand antas vara representativ för brand med farligt gods.

Tabell 16 Kostnader till följd av skador på tunneln för liten, medelstor och stor brand.

Typ av brand	Liten brand (5 MW)	Medelstor brand (30 MW)	Stor brand och farligt gods (100 MW)
Skador på tunneln	250 000 kr	2 500 000 kr	25 000 000 kr

6.3.1.3 Samhällskostnader

Efter ett brandförlopp har inträffat i en tunnel förekommer det oftast kostnader som inte är direkt kopplade till specifika individer eller till själva tunneln. En brand leder oftast till att tunnelns användning blir begränsad på grund av hög trängsel eller att tunneln stängs av i obestämmd tid för reparationsarbete. I båda fallen står trafiken antingen stilla eller behöver ta en annan väg. Stillastående trafik kan leda till förseningar till jobb eller andra viktiga aktiviteter, vilket leder till att samhället förlorar värde när de individer som sitter i kö inte kan generera vinster för samhället. Vid de fall där bilisterna tvingas använda en annan väg för att nå sin destination kan även förseningar förekomma, särskilt i storstäder där vägarna snabbt blir överbelastade. Det förekommer även i vissa fall, beroende på vilken väg som behöver tas, att personer tvingas köra en längre sträcka. Resultatet blir längre restid och högre kostnader för individen och samhället i form av högre bränsleförbrukning. De bilister som inte använder tunneln för att nå sin destination blir också drabbade av att deras väg nu används av dem som skulle använda tunneln men som inte längre kan (Trafikverket, 2010a).

Konsekvenserna ovan kan ge höga kostnader för samhället, dock är det svårt att kvantifiera eftersom det är näst intill omöjligt att bedöma skalan för varje konsekvens. Förseningarna är beroende av brandens storlek, hur snabbt branden och tunneln åtgärdas, vilka vägar som tas, vilken tid på dygnet olyckan har inträffat, etcetera. Vilken väg som tas, trafikbelastningen för vägen och de tillhörande kostnaderna är också beroende på vilken tid på dygnet olyckan har inträffat samt hur snabbt branden och tunneln åtgärdas. Skulle tunneln behöva vara stängd under en längre tid bedöms trafikanter efter ett tag vara tillräckligt medvetna om detta och kunna planera om sin färd i förväg. I dessa fall går det att argumentera för att det inte längre är en samhällskostnad. Merparten har nu troligen planerat om sin resväg och blir därmed inte försenade till sin aktivitet, och alla förseningar därpå går ej att koppla till tunnelns avstängning.

Trafikverket behövde utreda vilka konsekvenser en avstängd tunnel kunde leda till. Till följd av detta beräknade Trafikverket (2010a) vilka extra kostnader som förekommer av att folk behöver ta andra vägar till jobbet. Det är viktigt att notera att kostnaderna är projekterade för en storstad som Stockholm där trafiken enkelt kan bli överbelastad. Enligt H. Modig (personlig kommunikation, 5 december 2025) kan samma vägtunnel i en mindre stad resultera i väsentligt mindre kostnader till följd av en avstängning. Eftersom kostnaderna är projekterade för en storstad bedöms de vara konservativa och används därmed i detta arbete. Tabell 17 nedan redovisar kostnaderna för en avstängd i tunnel för en liten, medelstor samt stor brand och brand med farligt gods baserat på Trafikverket (2010a).

Tabell 17 Samhällskostnader för en liten, medelstor och stor brand.

Konsekvens	Liten brand (5 MW)	Medelstor brand (30 MW)	Stor brand och farligt gods (100 MW)
Samhällskostnader	35 500 000 kr	102 100 000 kr	121 400 000 kr

6.3.2 Dödsfall

Den typ av dödsfall som studeras i detta arbete är sådana som skulle kunna förhindras av en handbrandsläckare, det vill säga dödsfall till följd av effekter från en brand och inte exempelvis till följd av den initiala olyckan. Dödsfall till följd av den initiala olyckan kan inte begränsas med användandet av en handbrandsläckare och därmed genererar ingen nytta att ta i beaktning.

Efter en granskning av sammanställningen som redovisas av Bergmeister och Francesconi (2004) bedöms det att inget tydligt mönster går att fastställa för att kategorisera samtliga bränder till en liten, medelstor, stor brand och brand med farligt gods. Alla händelser skiljer sig från varandra och dess konsekvenser, trots en likartad brandstorlek, har både varit katastrofala med flera omkomna eller mindre med några skadade.

Samtliga konsekvenser som utreds i riskanalysen och konsekvensanalysen för Förbifart Stockholm, se avsnitt 2.8, går att sammanfoga i grupper om liten, medelstor, stor brand samt brand med farligt gods (Trafikverket, 2010b, 2010c). Konsekvenserna i detta arbete kvantifieras med dessa analyser som underlag. I konsekvensanalysen beaktades inte personskador, utan konsekvenserna för människor utgjordes uteslutande av dödsfall. På grund av detta avgränsas även denna analys att till att enbart omfatta dödsfall. För att inkludera personskador i analysen skulle ytterligare simuleringar krävs, vilket ligger utanför detta arbetes omfattning. Det rekommenderas dock att framtida studier av liknande karaktär innefattar personskador för att möjliggöra en så heltäckande och representativ konsekvensbedömning som möjligt, se avsnitt 9.2.

6.3.2.1 Liten, medelstor och stor brand

Trafikverket (2010b) kvantifierade antalet döda i konsekvensanalysen baserat på ett uppskattat personantal per 150 m, vilket beräknades genom att uppskatta antalet bussar, tunga fordon och personbilar i vägtunneln samt antalet personer i respektive fordon. Med hjälp av personantalet beräknades sedan ett minimumvärde, mest troligt, och ett maximumvärde för antalet förväntade personer i tunneln genom att multiplicera det uträknade antalet med 50 %, 80 % respektive 100 %. Det beräknade personantalet för varje förväntat värde blir 50, 88 respektive 118 personer per 150 m tunnel. Personantalet antas vara representativt då det är estimerat utifrån de fordon som också förväntas vistas i den generiska tunneln och utifrån en variation i trafiktäthet.

Trafikverket (2010c) presenterar i riskanalysen två tabeller vardera för brand i buss och brand i lastbil baserat på om branden har orsakats av ett fordonsdefekt eller trafikolycka. Ett

medelvärde beräknas för båda där brand i buss och brand i lastbil representerar en medelstor respektive stor brand, se Tabell 19 och Tabell 20. Trafikverket (2010c) inkluderar inte en tabell som redovisar konsekvenser av en personbilsbrand eftersom de antar att inga förväntas omkomma vid sådana bränder baserat på simuleringarna i konsekvensanalysen. Statistik från MSB (2024) berättar sammanfattningsvis att under åren 2007-2024 har inga personer omkommit till följd av bränder i vägtunnlar i Sverige. Baserat på statistiken och resultatet från simuleringarna i konsekvensanalysen antas inga omkomma i vägtunnlar till följd av en personbilsbrand, vilket definieras som en ”liten brand”, se Tabell 18.

Tabell 18 Antalet dödsfall till följd av en liten brand när ventilationsstrategin fungerar respektive fungerar ej. Antalet dödsfall redovisas för antalet personer som förväntas vistas i vägtunneln utifrån ett minimumvärde, mest troligt och ett maximumvärde.

Personbil (liten brand)	Min	Troligast	Max
Kö/Ventilationsstrategin fungerar	0	0	0
Kö/Ventilationsstrategin fungerar ej	0	0	0

Tabell 19 Antalet dödsfall till följd av en medelstor brand när ventilationsstrategin fungerar respektive ej fungerar. Antalet dödsfall redovisas för antalet personer som förväntas vistas i vägtunneln utifrån ett minimumvärde, mest troligt och ett maximumvärde.

Buss (medelstor brand)	Min	Troligast	Max
Kö/Ventilationsstrategin fungerar	10	14	18
Kö/Ventilationsstrategin fungerar ej	14	18	22

Tabell 20 Antalet dödsfall till följd av en stor brand när ventilationsstrategin fungerar respektive ej fungerar. Antalet dödsfall redovisas för antalet personer som förväntas vistas i vägtunneln utifrån ett minimumvärde, mest troligt och ett maximumvärde.

Lastbil (stor brand)	Min	Troligast	Max
Kö/Ventilationsstrategin fungerar	10	26	42
Kö/Ventilationsstrategin fungerar ej	18	34	50

6.3.2.2 Farligt gods

I tabellerna 21 – 25 nedan redovisas samtliga konsekvenser för respektive farligt gods baserat på vad som utreds i detta arbete och av Trafikverket (2010c) bedömningar. Tabellerna är uppdelade utifrån antalet personer som förväntas vistas i tunneln baserat på ett minimum-, mest troligt- och maximumvärde. Det är viktigt att poängtera att konsekvenserna är baserade på om det är kö eller inte, förutom för riskklass 4. Konsekvenserna för de övriga klasserna är oberoende av om ventilationsstrategin fungerar eller ej eftersom alla har ett kort tidsspänn. Konsekvensen för riskklass 4 är en omfattande brand, likt en vanlig brand, med ett längre tidsförlopp i jämförelse. Därför antas inga dödsfall i denna klass om det inte är kö, och konsekvenserna är kvantifierade vid kö baserat på om ventilationsstrategin fungerar eller ej.

Tabell 21 Antalet dödsfall till följd av en explosion i ett fordon som transporterar klass 1.1-gods för när det är kö eller ej. Antalet dödsfall redovisas för antalet personer som förväntas vistas i vägtunneln utifrån ett minimumvärde, ett mest troligt värde och ett maximumvärde.

Klass 1.1 (60 kg - 5 ton)	Min	Troligast	Max
Ej kö	150	300	450
Kö	250	500	750

Tabell 22 Antalet dödsfall till följd av en explosion i ett fordon som transporterar klass 1.2–1.6-gods för när det är kö eller ej. Antalet dödsfall redovisas för antalet personer som förväntas vistas i vägtunneln utifrån ett minimumvärde, ett mest troligt värde och ett maximumvärde.

Klass 1.2 – 1.6 (16 ton)	Min	Troligast	Max
Ej kö	250	500	750
Kö	500	750	1 000

Tabell 23 Antalet dödsfall till följd av en brandpåverkad tank i ett fordon som transporterar antingen klass 2- eller klass 3-gods när det är kö eller ej. Antalet dödsfall redovisas för antalet personer som förväntas vistas i vägtunneln utifrån ett minimumvärde, ett mest troligt värde och ett maximumvärde.

Klass 2 och 3	Min	Troligast	Max
Ej kö	0	80	160
Kö	0	120	240

Tabell 24 Antalet dödsfall till följd av en brand i ett fordon som transporterar klass 4-gods vid kö när ventilationsstrategin fungerar respektive ej fungerar. Antalet dödsfall redovisas för antalet personer som förväntas vistas i vägtunneln utifrån ett minimumvärde, ett mest troligt värde och ett maximumvärde.

Klass 4	Min	Troligast	Max
Ventilationsstrategin fungerar	40	60	80
Ventilationsstrategin fungerar ej	56	80	112

Tabell 25 Antalet dödsfall till följd av en explosion i ett fordon som transporterar klass 5-gods för när det är kö eller ej. Antalet dödsfall redovisas för antalet personer som förväntas vistas i vägtunneln utifrån ett minimumvärde, ett mest troligt värde och ett maximumvärde.

Klass 5	Min	Troligast	Max
Ej kö	150	300	450
Kö	250	500	700

6.3.2.3 Inverkan av sprinkler

Vidare har Trafikverket (2010b) studerat hur förekomsten av sprinkler påverkar konsekvenserna. Trafikverket har beskrivit ett flertal sätt som sprinkler förväntas kunna bidra till att begränsa konsekvenserna, exempelvis förlänga effektutvecklingen och minska tillväxthastigheten, som därmed ger trafikanter en längre tid att utrymma innan kritiska nivåer nås. För att ta hänsyn till sprinkler har det i konsekvensanalysen antagits att vid aktivering planar effektutvecklingskurvorna ut och intar en långsam tillväxthastighet. De har även antagit att sprinkler begränsar och kontrollerar att ingen brand överstiger 30 MW, eftersom de anser att sprinkler förhindrar brandspridning till större laster och farligt gods. Baserat på litteraturen och det sprinklersystem som förutsätts finnas i tunneln bedöms tillvägagångssätten som används i konsekvensanalysen rimliga. Till följd används analysen av Trafikverket

(2010b) som underlag för att kvantifiera konsekvenserna vid förekomsten av sprinkler för respektive brand som utreds i detta arbete.

I konsekvensanalysen simuleras tre typer av bränder med olika brandeffekter och antalet dödsfall utreds med antagandet att sprinkler aktiveras efter en minut. Effekttutvecklingar på 1 – 10, 11 – 20 respektive 21 – 30 MW antas i rapporten. Tabell 26 –28 nedan visar resultatet från simuleringarna i konsekvensanalysen av Trafikverket (2010b) för de olika brandeffekterna.

Tabell 26 Antal dödsfall i en 1–10 MW-brand med sprinkler.

1 – 10 MW	Min	Troligast	Max
Antal överlevande	449,7	791,4	1 061
Antal döda	0,4	0,6	0,8

Tabell 27 Antal dödsfall i en 11–20-MW brand med sprinkler.

11 – 20 MW	Min	Troligast	Max
Antal överlevande	448,4	789,1	1 058
Antal döda	1,6	2,9	3,8

Tabell 28 Antal dödsfall i en 21–30-MW brand med sprinkler.

21 – 30 MW	Min	Troligast	Max
Antal överlevande	447,1	786,9	1 055
Antal döda	2,9	5,1	6,8

Brandeffekterna 11 – 20 MW och 21 – 30 MW bedöms representera händelseförloppet av medelstor respektive stor brand och brand i farligt gods som har begränsats av sprinkler. Resultatet för en 1 – 10 MW-brand bedöms inte representera en liten brand i det här fallet. Baserat på tidigare bedömningar antas inga omkomma i en liten brand. I samband med att litteraturen visar att sprinkler endast begränsar brandförloppen förväntas även inga omkomma i personbilsbränder med sprinkler. Anledningen till att simuleringarna av Trafikverket (2010b) ger dödsfall för en personbilsbrand med sprinkler och inga dödsfall utan sprinkler ligger troligtvis i vilka brandeffekter som används. I simuleringarna utan sprinkler används specifikt 5 MW, och i simuleringarna med sprinkler används 1 – 10 MW. Troligtvis är det vid 10 MW som dödsfall förekommer. Baserat på litteratur, simuleringar och antalet döda i verkliga personbilsbränder antas inga omkomma i personbilsbränder om sprinkler aktiveras.

6.4 Resultat

I händelseträdet summeras uteblivna konsekvenser uttryckta i monetära enheter som följd av användning av handbrandsläckare för respektive brandscenario. Summan multipliceras sedan med frekvensen för respektive brandscenario och produkten blir den årliga nyttan för respektive brandscenario. Samtliga produkter för varje brandscenario summeras och resultatet blev den sammanlagda årliga nyttan som handbrandsläckare genererar i samband med

vägtunnelbränder. Siffran blev samma för min, troligast och max-fallen och uppgick till cirka 14 000 kr per år och tunnel.

Kostnaden för installation och underhåll av handbrandsläckare i en 3 km lång generisk tunnel, där utrymningsvägarna är placerade med 150 m mellanrum och inrymmer fyra handbrandsläckare var, uppgick som tidigare redovisat till 121 000 kr för lågkostnadsscenarioet och 213 000 kr för högkostnadsscenarioet per år och tunnel.

Nyttokostnadskvoterna beräknades genom att dividera den sammanlagda årliga nyttan med den totala årliga kostnaden för att installera och underhålla handbrandsläckare. Eftersom kostnaderna är uppdelade i två olika kostnadsscenarioer presenteras även två olika beräknade nyttokostnadskvoter. Dessa uppgick till cirka 0,116 för lågkostnadsscenarioet och 0,066 för högkostnadsscenarioet.

I Tabell 29 nedan sammanfattas resultatet av den årliga nyttan, de årliga kostnaderna samt de beräknade nyttokostnadskvoterna och är uppdelat baserat på antalet förväntade personer i tunneln. Det är viktigt att poängtera att låga och höga kostnader är oberoende av antalet personer i tunneln, utan är desamma för respektive förväntat antal.

Tabell 29 Sammanställning av de beräknade enheterna ovan baserat på antalet förväntade personer i tunneln utifrån ett minimumvärde, ett mest troligt värde och ett maximumvärde.

Nytta	Min	Troligast	Max
Summa årlig nytta	14 000 kr	14 000 kr	14 000 kr
Låga kostnader	121 000 kr	121 000 kr	121 000 kr
Höga kostnader	213 000 kr	213 000 kr	213 000 kr
Nyttokostnadskvot, låga kostnader	0,116	0,116	0,116
Nyttokostnadskvot, höga kostnader	0,066	0,066	0,066

6.5 Känslighetsanalys

Målet med känslighetsanalysen är att utreda hur stor påverkan en variation i varje delhändelse i händelseträdet har på nyttokostnadskvoterna. I avsnittet förklaras anledningen till att det kan finnas en variation i indata och vilka variationer som väljs att analyseras. Resultatet av känslighetsanalysen presenteras även, vilket diskuteras vidare i avsnitt 7.2.2. Det är dock viktigt att poängtera att de värden som redan har ansatts till varje indata i analysen bedöms vara de troligaste. Värden som redovisas i kommande delar är extremfall.

6.5.1 Variering av indata

Nedan presenteras samtliga delhändelser och indata som väljs att studeras, med hänsyn till varför dessa valts att studeras vidare och hur de har använts i känslighetsanalysen.

6.5.1.1 Släckningssannolikhet

Det bestämdes att utreda hur en ökning eller minskning av sannolikheten att kunna släcka en brand med en av tunnelns handbrandsläckare påverkar nyttokostnadskvoterna. För att öka eller minska sannolikheten för ett lyckat släckningsarbete behöver nya värden antas för varseblivningstid, förberedelsetid, förflyttningshastighet och tillväxthastighet för respektive brand. Det bedöms att de nya värdena ska vara en ökning respektive minskning med 50 % av de satta värdena för att inkludera en relevant variationsgrad.

6.5.1.2 Skador på egendom och tunnelinredning

För att ta hänsyn till skador på egendom och tunnelinredningen har värden från Trafikverket (2010a) använts. Enligt H. Modig (personlig kommunikation, 12 december 2025) kan dessa siffror variera avsevärt. Det är därför relevant att undersöka hur stor påverkan på resultatet som dessa värden har. En ökning och en minskning på 50 % av kostnaderna utreds för en liten, medelstor och stor brand.

6.5.1.3 Samhällskostnader

Det insågs i samråd med H. Modig (personlig kommunikation, 2 februari 2026) att samhällskostnaderna kan variera avsevärt eftersom de är projekterade för Förbifart Stockholm, en kommande viktig trafikled för en storstad. En avstängd vägtunnel i en mindre stad bedöms inte resultera i lika höga samhällskostnader. För att utforska hur mycket dessa kostnader påverkar nyttokostnadskvoterna utreds en ökning och en minskning på 50 %.

6.5.1.4 Trafiktäthet

Värdet för när det är högtrafik är baserat på antalet fordon som förväntas vistas på en statlig väg under en given timme på dygnet. Siffran bedöms kunna variera markant beroende på var i nationen vägtunneln byggs samt om antalet fordon i trafiken i Sverige minskar eller ökar i framtiden. Det är därför intressant att utreda hur en variation i värdet påverkar nyttokostnadskvoterna. Vad som studeras är en ökning och en minskning på 50 %.

6.5.1.5 Statistiskt liv

Det finns olika värden publicerade när det gäller värdet av ett statistiskt liv, vilka allt som oftast är baserade på vad en person skulle vara villig att betala för att minska en viss typ av risk för sig själv eller andra. Eftersom värdet är baserat på individers preferenser kan det komma att ändras från år till år beroende på vem man frågar. Vidare kan samma person ge olika svar om frågan ställs igen fast i ett annat tidsskede och under andra omständigheter. Det är därför svårt att anta en siffra som alltid representerar en befolknings betalningsvilja. Skulle värdet antingen minska eller öka markant i framtiden kan slutsatsen om hjälptelefoner och handbrandsläckare är lönsamma vara eller inte vara densamma. Hultkrantz är ett exempel på en författare som har tagit fram olika värden för ett statistiskt liv. Hultkrantz och Svensson (2008) uppskattade värdet till 21 miljoner kr, och samma författare uppskattade i en annan rapport 12 år senare ett nytt värde på 44 miljoner kr (Hultkrantz, 2020). Detta är en påtaglig skillnad som visar att värdet på ett statistiskt liv inte är konstant genom åren. Således är det av intresse att genom en känslighetsanalys undersöka hur stor skillnad det blir i de resulterande

nyttokostnadskvoterna ifall olika värden på statistiskt liv ansätts. Trots att värdet på ett statistiskt liv har en ökande trend studeras både en ökning och en minskning med 50 % av det beräknade värdet för ett statistiskt liv utifrån Trafikverket (2024a), det vill säga 50,7 miljoner kr. Det görs för att studera osäkerheten i värdet samt för att kunna jämföra med variationer i andra delhändelser.

6.5.1.6 Resterande delhändelser

Specifika sannolikheter har ansatts för de resterande delhändelserna som ingår i händelseträdet. Delhändelserna utgörs av:

- Sprinkleraktivering.
- Köbildning.
- Ventilationsstrategin fungerar.

Siffrorna som ansätts för dessa delhändelser kan med hög sannolikhet vara beroende av hur och när de är framtagna. Trots att siffrorna är rimliga är det därför fortfarande intressant att utreda vad ändringar gör för skillnad i resultatet. En ökning och en minskning på 1 och 2 % används för varje delhändelse i syfte att utreda hur detta påverkar resultatet. Sannolikheten för sprinkleraktivering går inte att öka med 2 % eftersom då blir sannolikheten högre än 100 %. I stället utreds endast en ökning på 1 %.

6.5.1.7 Avståndet mellan handbrandsläckare

I grundscenariot är avståndet 150 m mellan utrymningsvägarna och således mellan handbrandsläckarna. Ett ökat avstånd leder förmodligen till en minskad sannolikhet för släckning eftersom det är mindre sannolikt att ett fordon börjar brinna i närheten av installationerna, och vice versa om avståndet i stället minskar. För att utreda detta används olika avstånd för att beräkna nya nyttokostnadskvoter. Specifikt undersöks 50, 100, 250, 500 och 750 m.

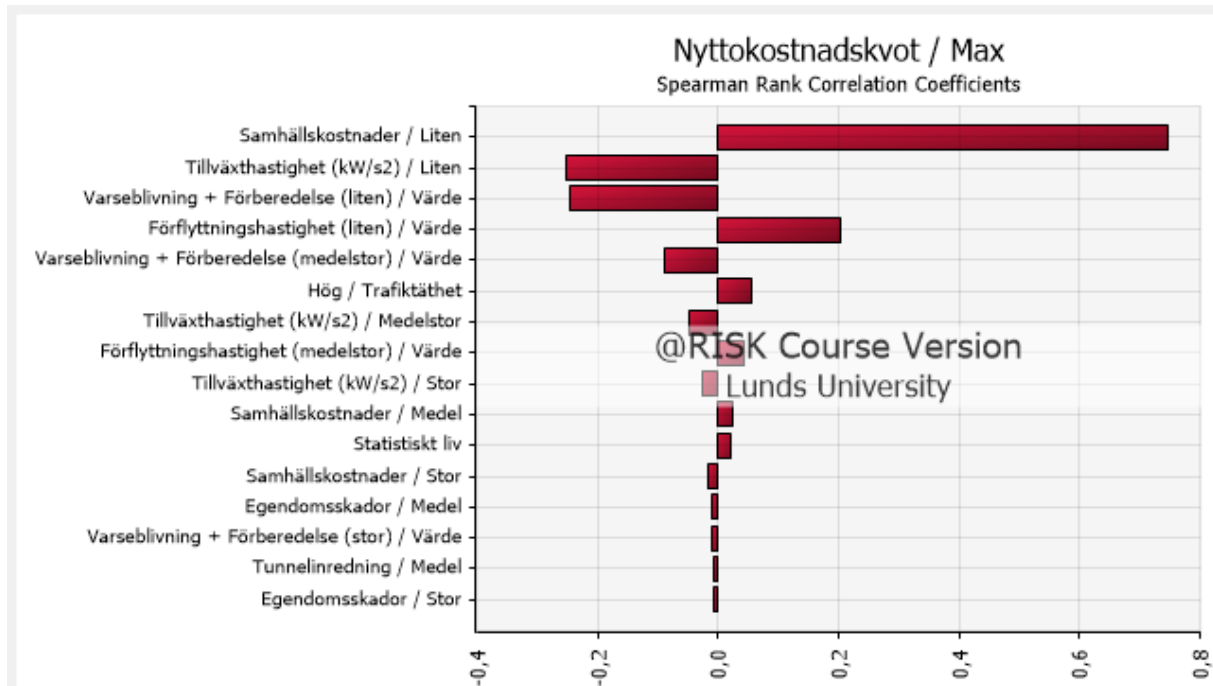
6.5.1.8 Dödsfall

En stor bidragande faktor till resultatet är antagandet att inga dödsfall sker i personbilsbränder. Därför görs ytterligare beräkningar för att undersöka vad resultatet skulle bli ifall dessa faktiskt skulle leda till dödsfall. I beräkningarna görs antagandet att en person dör i samband med varje personbilsbrand när det råder hög trafiktäthet, köbildning och när sprinkler inte aktiveras. De resulterande nyttokostnadskvoterna till följd av detta framgår i Tabell 30.

6.5.2 Resultat av känslighetsanalys

Det fullständiga resultatet av känslighetsanalysen redovisas i Tabell 31 i Bilaga A. Sammantaget visar känslighetsanalysen att variationer i tillväxthastighet för medelstor brand, tillväxthastighet för stor brand, sprinkleraktivering, ventilationsstrategin fungerar, köbildning, trafiktäthet och värde på statistiskt liv inte ger några förändringar i nyttokostnadskvoterna. Dessa variabler inkluderas därmed inte i Tabell 31, utan hanteras vidare i diskussionskapitlet.

För att tydligt redovisa vilken av delhändelserna som påverkar resultatet mest skapas ett tornadodiagram. Tornadodiagrammet är baserat på varje variabel och tillhörande ändring i Tabell 31. Resultatet redovisas i Figur 8 nedan. Bredden på staplarna visar storleksordningen för vilken parameter som har störst påverkan på resultatet. Tolkning av tornadodiagrammet ges i avsnitt 7.2.2.



Figur 8 Tornadodiagram som visar på hur stor inverkan olika delhändelser har på resultatet.

Tabell 30 nedan redovisar nya nyttokostnadskvoter med antagandet att en personbilsbrand leder till dödsfall.

Tabell 30 nya beräknade nyttokostnadskvoter baserat på antagandet att personer dör i personbilsbränder om det råder.

Nytta	Min	Troligast	Max
Nyttokostnadskvot, låga kostnader	0,25	0,25	0,25
Nyttokostnadskvot, höga kostnader	0,14	0,14	0,14

7 Diskussion

Följande kapitel ägnas åt att diskutera resultatet och hur detta kan tolkas. Resultatet av känslighetsanalysen diskuteras även, samt hur osäkerheter och externa effekter har beaktats i arbetet.

7.1 Hjälptelefoner

Kvantifiering av nyttan med hjälptelefoner bedömdes tidigt utmanande att genomföra. Bedömningen baserades på utmaningarna med att beräkna antalet dödsfall och skador som begränsas med hjälptelefoner eftersom det inte finns en tydlig korrelation mellan användning och vilka konsekvenser som undviks eller reduceras. Möjligtvis kan användningen av hjälptelefoner leda till att räddningstjänsten ingriper tidigare och därmed begränsar konsekvenser och till följd även kostnader för samhället. Ingen studie har genomförts inom detta vilket innebär att omfattande undersökningar skulle ha krävts för en utförlig kvantitativ bedömning av detta, se avsnitt 9.2. Analysen och antagandena som då behövs skulle vara baserade på litteratur kopplad till hjälptelefoner inom andra områden än vägtunnlar, samt att en fältstudie genomförs i samverkan med räddningstjänsten. En sådan analys ansågs ej vara genomförbar med hänsyn till arbetets tidsram, samtidigt som kvalitativa resonemang ansågs tillräckliga för att bedöma nyttan med hjälptelefoner i detta sammanhang.

Det är svårt att förutse hur framtiden ser ut. Baserat på skillnaderna i teknologi från dagsläget och när EU-direktivet publicerades går det att argumentera för att hjälptelefoner i nuläget inte bidrar med någon större nytta. Beräkningen av den årliga kostnaden för att installera och underhålla hjälptelefoner i en generisk vägtunnel resulterade i summor på 45 000 och 166 000 kr per år. Detta är kostnader som inte går åt till att öka säkerheten markant i vägtunnlar då incidentrapporter och statistik visar på att hjälptelefoner inte är det primära kommunikationsmedlet för att meddela att en brand har inträffat. Tekniska avancemang och den integration av dessa som numera sker i tunnlar tyder även på att antalet personer som väljer att använda en hjälptelefon i stället för sin egen mobiltelefon minskar i framtiden. Moderna svenska vägtunnlar byggs med goda förutsättningar för att mobiltelefoner ska kunna användas i nödsituationer såsom en brand. Avancerade detektionsmetoder som introduceras mer och mer i tunnlar, såsom exempelvis incidentkameror, förser även tunnlar med snabba detektionsmetoder. I kombination med bättre förutsättningar för mobiltelefoner skapar dessa åtgärder förhållanden där hjälptelefoner inte fyller någon större funktion.

Det går att argumentera för att hjälptelefoner fyller en funktion genom att personer som vistas i utrymningsvägarna i väntan på räddningstjänst kan ha direktkontakt med VTC, som då kan ge dem information om hur situationen ser ut och hur de ska agera. Även i utrymningsvägarna ger tekniska installationer för mobiltelefoni god möjlighet att få täckning, vilket innebär att dessa personer kan ta kontakt med berörda aktörer för information. Dock ställer detta krav på att utrymningsvägarna är försedda med informationsskyltar med relevant information som förklarar hur personerna tar kontakt med VTC samt allmän information om säkerhet och hur personerna ska agera, exempelvis ”Stanna i utrymningsvägen tills vidare information ges av VTC eller räddningstjänst”. Skyltar av denna typ i utrymningsvägar fyller då den tidigare

nämnda funktionen gällande direktkontakt med VTC, samtidigt förväntas kostnaderna minska drastiskt.

För att bedöma rimligheten i resultatet kan en uppskattning göras för att bedöma vad som skulle krävas för att hjälptelefoner ska anses vara lönsamma. Jämfört med de årliga kostnaderna på 45 000 – 166 000 kr samt värdet av ett statistiskt liv på 50,7 miljoner kr kan det konstateras att för att väga upp för kostnaderna behöver hjälptelefoner användas för att rädda cirka 0,0009 – 0,0033 liv per år. Detta motsvarar ett liv räddat vart 303:e – 1 111:e år. Alltså skulle hjälptelefoner behöva vara den avgörande faktorn i räddningen av ett liv ungefär vart 300:e till 1 100:e år i en specifik tunnel för att de ska väga upp för kostnaderna de medför. Siffrorna låter inte omöjliga, men de behöver sättas i sitt sammanhang för att bedöma hur sannolikt det är att hjälptelefoner skulle vara den avgörande faktorn till dessa räddade liv. Som presenterat i resultatavsnittet fås den nytta som hjälptelefoner bidrar med redan av system som fyller samma funktion och som antingen är gratis eller redan förväntas finnas i moderna svenska vägtunnlar. Incidentkameror, detektionssystem, digitala skyltar och mobiltelefoner är system som förväntas uppfylla samma funktion, vilket gör det mindre troligt att hjälptelefoner uteslutande skulle vara huvudfaktorn till att dessa liv räddas, samtidigt som de har en stor tillhörande kostnad. Därmed kvarstår den generella bedömningen att hjälptelefoner ej är samhällsekonomiskt lönsamma under dessa förutsättningar. Denna överslagsberäkning är dock endast en grov uppskattning, och det rekommenderas att en mer detaljerad studie görs för att mer utförligt bedöma nyttan som hjälptelefoner genererar för att säkerställa att beslutet om att inte installera hjälptelefoner i vägtunnlar är väl motiverat och inte bekostar säkerheten. För förslag på vidare studier, se avsnitt 9.2.

7.2 Handbrandsläckare

I avsnittet nedan diskuteras analysens resultat med avseende på handbrandsläckare, följt av en tolkning av känslighetsanalysen och en diskussion kring hur osäkerheter har hanterats. Slutligen diskuteras arbetets validitet.

7.2.1 Tolkning av resultat

Resultatet som erhålls i avsnitt 6.4 berättar sammanfattningsvis att handbrandsläckare inte är samhällsekonomiskt lönsamma. En nyttokostnadskvot mindre än ett innebär att nyttan är lägre än kostnaderna. Nyttokostnadskvoterna som redovisas i Tabell 29 och Tabell 31 är mindre än ett oavsett antal personer som vistas i tunneln, kostnaderna för handbrandsläckare och variationen i indata.

Anledningen till de låga nyttokostnadskvoterna ligger främst hos den låga nyttan som handbrandsläckare genererar. Den låga nyttan beror på att i de fall där det finns en chans för personer att kunna släcka en brand, nämligen under små bränder som uppstår i personbilar, inte resulterar i några dödsfall. Således blir det inga större konsekvenser av detta och därmed inte heller någon större nytta. I de fall där medelstora och stora bränder sker, vilka i synnerhet kan resultera i flertalet dödsfall och omfattande skador på egendom och tunnel, blir nyttan även här låg. Detta beror på att den beräknade sannolikheten för lyckad släckning i dessa

scenarier, enligt beräkningsgången i avsnitt 6.2.4, är 0 %. Bränderna har för hög tillväxthastighet för att en person ska hinna hämta en handbrandsläckare monterad i en närbelägen utrymningsväg och släcka branden. Den största möjligheten som finns för en lyckad släckningsinsats i ett sådant fall skulle vara om denna person använder den handbrandsläckare som finns ombord på fordonet. Dock bidrar detta inte till nyttan som de tunnelmonterade handbrandsläckarna tillför och är därmed inte relevant för detta arbete.

Vidare är nyttokostnadskvoterna desamma för både låga och höga kostnader oavsett antalet personer som vistas i tunneln. Anledningen är att nyttan endast är baserad på kostnader för skador på egendom och tunnelinredning samt samhällskostnader för en liten brand, vilket då är relativt oberoende av antalet personer som vistas i tunneln. Detta beror på att en liten brand inte antas leda till några dödsfall samt att handbrandsläckare inte kan släcka medelstora och stora bränder, vilket resulterar i att handbrandsläckare inte har någon inverkan på antalet omkomna i dessa scenarier och således inte heller leder till någon nytta med avseende på dödsfall. Anledningen till att handbrandsläckare inte kan släcka medelstora och stora bränder är att deras tillväxthastighet är för hög. En djupare förklaring ges i avsnitt 7.2.2.2.

7.2.2 Känslighetsanalys

Nedan utvärderas och diskuteras resultatet av känslighetsanalysen och vad detta säger om analysen samt de slutsatser som kan dras från denna.

7.2.2.1 Tolkning av känslighetsanalys

I Figur 8 går det att utläsa att de variabler som påverkar resultatet mest är varseblivningstid, förberedelsetid, förflyttningshastighet, tillväxthastighet och samhällskostnader, specifikt för en liten brand. Resterande variabler har en liten påverkan på nyttokostnadskvoterna i jämförelse. För alla bränder är värdena för varseblivningstid, förberedelsetid samt förflyttningshastighet desamma. Dock är värdena för tillväxthastighet och samhällskostnader baserade på brandtyp och därmed skiljer sig mellan bränderna. En liten brand genererar minst samhällskostnader av alla bränder och har därmed minst spridning när den varieras med 50 %. Baserat på detta bör samhällskostnader för en medelstor och stor brand ha större påverkan på nyttokostnadskvoterna, men utifrån Figur 8 är så inte fallet. Det går därmed att konstatera att tillväxthastigheten för en liten brand är faktorn som påverkar resultatet mest och till följd även anledningen till att varseblivningstid, förberedelsetid, förflyttningshastighet och samhällskostnader för en liten brand också får en större påverkan.

7.2.2.2 Problematiken kring tillväxthastigheten för medelstora och stora bränder

Utifrån Figur 8 kan det konstateras att tillväxthastigheten för medelstora och stora bränder, till skillnad från små bränder, inte har någon betydande inverkan på nyttokostnadskvoterna. Anledningen till detta är att den beräknade sannolikheten för en lyckad släckning i dessa fall är 0 % på grund av att bränderna växer för fort för att kunna släckas. Förhållandet mellan tillväxthastigheten och personers sammanlagda varseblivningstid och förberedelsetid är avgörande för möjligheten till en lyckad släckinsats för de medelstora och stora bränderna. Baserat på de bedömda varseblivnings- och förberedelsetiderna når dessa bränder den kritiska

effektutvecklingen på 500 kW långt innan föraren hinner bli varse branden och agera. Därav är det av största vikt att både varseblivningstid och förberedelsetid som använts i beräkningarna samt tillväxthastigheter för bränderna är representativa för verkligheten. Det blir därmed relevant att diskutera hur väl de värden på tillväxthastigheter som använts i analysen verkligen stämmer in på verkligheten och ifall det går att utesluta fall där medelstora och stora bränder växer långsammare än vad som antagits i analysen. I en sådan situation skulle en person hinna hämta en handbrandsläckare från en utrymningsväg och således ha en chans att släcka både medelstora och stora bränder innan de eskalerar. Detta skulle leda till en ökad total nytta för handbrandsläckare och därmed även en högre nyttokostnadskvot.

Det finns dock inte mycket som talar för att sådana långsamtväxande bränder för medelstora och stora fordon förekommer i praktiken. De värden som använts i analysen är medelvärden som har baserats på värden som tagits fram av Xu et al. (2024) baserat på flertalet vetenskapliga analyser och experiment. Baserat på de värden som har använts för varseblivningstid, förberedelsetid samt förflyttningshastighet, visar känslighetsanalysen i avsnitt 6.5 att variation i tillväxthastighet inte ger någon förändring i nyttokostnadskvoterna eftersom det ändå inte är tillräckligt för att personer ska hinna släcka medelstora och stora bränder. Ännu lägre tillväxthastigheter behöver antas för att det ska vara möjligt att släcka dessa bränder med en handbrandsläckare, men sådana värden speglar inte verkligheten och studeras därför inte vidare. Det beräknade värdet på 0 % sannolikhet att släcka medelstora och stora bränder som användes i denna analys bör dock inte tolkas som att det inte finns någon chans alls att kunna släcka en sådan brand med handbrandsläckare i verkligheten. Detta bör ses som en indikation på att sannolikheten för detta är väldigt låg, snarare än lika med noll.

7.2.2.3 Inverkan av samhällskostnader

Resultatet av att öka och minska samhällskostnaderna med 50 % är att nyttokostnadskvoterna också ökade och minskade med liknande procentsatser, se Tabell 31. Det visar att nyttokostnadskvoten är starkt beroende av storleken på samhällskostnaderna. Således ställer detta ett stort krav på att de värden som används är representativa och verklighetsförankrade. Värden som används i arbetet är dock anpassade efter Förbifart Stockholm, vilket är en stor tunnel placerad i Sveriges huvudstad och förväntas leda till omfattande samhällskostnader ifall den stängs ner. Därmed blir dessa värden konservativa för denna analys där en mycket mindre generisk tunnel analyseras. Trots konservativa värden till fördel för nyttan med handbrandsläckare genereras inga nyttokostnadskvoter som är högre än ett, se Tabell 31.

7.2.2.4 Avstånd mellan handbrandsläckare

Genom att tolka resultatet i Tabell 31 är det tydligt att avståndet mellan handbrandsläckare har en påverkan på resultatet.

Vid ett lägre avstånd minskade nyttokostnadskvoterna med upp till ungefär 65 % jämfört med grundfallet. Förklaringen bakom detta är att ett minskat avstånd mellan utrymningsvägar leder till ett ökat antal handbrandsläckare som behöver monteras och underhållas i tunneln, vilket i sin tur leder till högre kostnader. Nyttan förblir oförändrad då släckningssannolikheten redan

har det maximala värdet på 0,65, vilket således inte kommer påverkas av ett minskat avstånd mellan handbrandsläckare. Samtidigt förblir sannolikheten att släcka medelstora och stora bränder noll då varseblivningstiden och förberedelsetiden fortfarande överstiger tiden det tar för branden att nå en kritisk effektutveckling. Sammantaget förblir nyttan densamma vid ett minskat avstånd och i samband med högre kostnader blir nyttokostnadskvoterna därav lägre.

Vid ett avstånd på 250 meter ökade nyttokostnadskvoterna med 24 %, för att sedan successivt minska i takt med att avståndet ökar, ner till grundvärdet som erhöles vid 150 m. Anledningen till detta är att enligt tillvägagångssättet som användes för att beräkna släckningssannolikheten i detta arbete kan avståndet mellan handbrandsläckare vara maximalt 194 m innan släckningssannolikheten för en personbilsbrand minskar. Därav genererar ett ökat avstånd från 150 m till 194 m inga lägre nyttor utan endast lägre kostnader och därmed högre nyttokostnadskvoter. Vid ett avstånd på 194 m blir nyttokostnadskvoterna ungefär 27 % högre, för att sedan successivt minska till grundvärdet som erhöles vid 150 m i takt med det ökade avståndet.

Sammanfattningsvis har ett ändrat avstånd mellan handbrandsläckare en betydande påverkan på nyttokostnadskvoterna men en liten påverkan på resultatet i helhet, då nyttokostnadskvoterna förblir lägre än ett.

7.2.2.5 Personbilsbränder och dödsfall

Ett antagande som görs i analysen och som bidrar avsevärt till att handbrandsläckare inte utgör någon större nytta är att det inte sker några dödsfall i samband med personbilsbränder. Antagandet anses vara både rimligt och representativt för verkligheten eftersom både simuleringar och verkliga händelser visar på att bränder i personbilar inte leder till några dödsfall. Enligt nyttokostnadskvoterna som återfinns i Tabell 30 har antagandet en betydande inverkan på resultatet, då nyttokostnadskvoterna lite mer än fördubblas som följd av att anta att en personbilsbrand leder till dödsfall. Dock kvarstår det faktum att nyttan med handbrandsläckare inte överstiger kostnaderna och därmed förblir handbrandsläckare ej lönsamma.

7.2.3 Osäkerheter

Nedan beskrivs och diskuteras hur osäkerheter har hanterats i detta arbete. Avsnittet inleds med en diskussion kring de svårigheter som finns när det gäller att dra prediktiva slutsatser om framtiden baserat på historiska data, följt av en diskussion kring hur nyttjandegraden av handbrandsläckare kan variera samt hur data och rapportunderlag över lag har hanterats i arbetet.

7.2.3.1 Historiska antaganden i framtidssammanhang

Även om denna analys har utförts med hjälp av vedertagna analytiska modeller och metoder där argumenten bygger på en kombination av historiska händelser och vetenskapliga studier, är det viktigt att förstå de osäkerheter som resultatet bygger på. Givetvis är det viktigt att inse att flertalet av de argument som används för att styrka de antagandena som gjorts i denna

analys bygger på förutsättningen att framtida händelser i viss mån speglas av historiska händelser. Exempelvis är faktumet att ingen tidigare har dött i personbilsbränder i en svensk vägtunnel inte en garanti för att ingen någonsin kan komma att omkomma till följd av en sådan händelse i framtiden. Detta antagande har stor inverkan på nyttan som handbrandsläckare kan bidra med, och detsamma gäller även många av de andra bedömningarna som gjorts för att utföra analysen. Därmed är det viktigt att betona de inneboende osäkerheter som finns när det gäller antaganden och bedömningar som grundas på historiska händelser. Även om observerade utfall av en viss typ ger intrycket av att det följer ett särskilt mönster, är detta ingen garanti för att framtida liknande händelser också gör det. Vad gäller detta arbete anses resultatet av analysen utgöras av välgrundade antaganden och resonemang, där en blandning av observerade historiska händelser har kombinerats med vetenskapliga studier och data enligt vetenskaplig praxis för att generera ett så pålitligt resultat som möjligt. Detta betyder dock inte att resultatet är absolut och tolkningen av det bör göras varsamt och med analysens osäkerheter i åtanke.

7.2.3.2 Inverkan av osäkerheter i nyttjandegrad på nyttan

Nyttan som handbrandsläckare bidrar med i en tunnelbrand är starkt beroende av att personer som känner till att sådana finns att tillgå i tunnlar försöker släcka branden med dessa. Så behöver dock inte alltid vara fallet, då det kan förekomma scenarier där en person vet att det finns handbrandsläckare tillgängliga men väljer att inte påbörja ett släckningsarbete. Det kan finnas många olika anledningar till denna brist på handling, men troligtvis grundas det på att de antingen har en känsla av att inte lyckas eller att de oroar sig för sin egen säkerhet och i stället väljer att utrymma. Ifall detta hade tagits hänsyn till i analysen hade detta lett till en lägre sannolikhet att branden släcks och därmed även en lägre total nytta för handbrandsläckare. Följaktligen hade den totala nyttan fortfarande understigit kostnaderna och handbrandsläckare förblir samhällsekonomiskt olönsamma under de rådande omständigheterna.

Det finns även en stor sannolikhet att lastbilschaufförer har en egen handbrandsläckare i sitt fordon som de väljer att använda i stället. Sannolikheten bygger på att enligt MSBFS 2024:10 måste majoriteten av fordonen som transporterar farligt gods ha en egen handbrandsläckare nära till hands för att kunna släcka en brand. Det går även att anta att många av de lastbilar som inte transporterar farligt gods också har tillgång till en handbrandsläckare på grund av företagets policyer eller som krav från försäkringsbolag. Resultatet blir att vid händelse av brand använder lastbilschaufförer troligen fordonets egna handbrandsläckare i stället för de som finns i utrymningsvägarna eftersom handbrandsläckaren i fordonet är känd och närmare till hands. Händelser där en chaufför använder sin egen handbrandsläckare räknades inte med som en nytta i kalkylen eftersom detta inte har något att göra med den nytta som tunnelns handbrandsläckare bidrar med. Därmed bör egentligen en del av den nytta som tillskrivits tunnelns handbrandsläckare i analysen reduceras. Detta skulle exempelvis kunna vara fallet i lastbilsbränder, då en andel av handbrandsläckarnas nytta genereras av förarens egen handbrandsläckare. Dock är det svårt att kvantifiera hur ofta handbrandsläckaren i hytten används kontra en i tunneln, vilket gör det komplicerat att ta hänsyn till i analysen. Därav

inkluderades inte detta i analysen, vilket gör att den nytta som redovisats i resultatavsnittet egentligen borde vara lägre än vad den är. Detta skulle dock inte påverka analysens huvudresultat, det vill säga att nyttan för handbrandsläckare understiger kostnaderna, eftersom nyttan hade minskat medan kostnaderna förblivit desamma.

7.2.3.3 Datakällor och rapportering

En viktig källa för analyserna har varit incidentrapporter från SHT. På grund av SHT:s uppgift samt det sätt som information från denna används i analysen är det på sin plats att diskutera detta. Som tidigare nämnt ligger det i SHT:s intresse att endast utreda och rapportera om händelser då dessa är särskilt allvarliga. Sådana händelser utgörs sannolikt av bränder som är omfattande och får stora konsekvenser, såsom exempelvis svårsläckta bränder i större fordon. Det är till exempel inte särskilt troligt att en mindre personbilsbrand som släcks i ett tidigt skede av en handbrandsläckare genererar tillräckligt med intresse hos SHT för att utredas utförligt och skrivas om. Av alla de rapporter som SHT publicerat på sin hemsida som gäller bränder i vägtunnlar har inte en enda utrett en brand i en personbil. Således är rapporterna som publiceras av dem förmodligen vinklade mot att exempelvis endast redovisa bränder som inte har gått att släcka tidigt med en handbrandsläckare. Därmed kan detta ge en färgad bild och på så vis spegla hur otillräckliga handbrandsläckare är i dessa situationer. Sättet detta har hanterats på när det gäller indata till analysen eller kvalitativa argument är att information från incidentrapporter alltid kompletteras med ytterligare källor och data.

Ett betydande problem i utförandet av denna analys är de svårigheter som råder när det gäller att kvantifiera hur kapabla handbrandsläckare är på att släcka fordonsbränder. Detta gäller särskilt då en stor del av analysen bygger på den beräknade sannolikheten att kunna släcka en sådan brand. På grund av att det finns en brist på studier som undersökt detta blev analysen begränsad till att endast använda en enda källa som grund för att ansätta ett gränsvärde för när en fordonsbrand inte längre kan släckas med en handbrandsläckare. För att ytterligare förbättra validiteten i resultatet av denna analys hade arbetet behövt kompletteras med ytterligare tester av liknande sort och helst utförda på fullskaliga fordonsbränder, se avsnitt 9.2.

7.2.4 Externa effekter

I den slutliga bedömningen av lönsamheten gällande handbrandsläckare är det viktigt att inte bara beakta nyttokostnadskvoter utan även beakta externa aspekter som dessa kan bidra med som inte nödvändigtvis speglas på ett lämpligt sätt i den kvantitativa analysen. Enligt Trafikanalys (2012) uppstår externa effekter när åtgärden som analyseras har en inverkan på något som inte direkt påverkas eller studeras.

7.2.4.1 Upplevd trygghet och allmänhetens perspektiv

Hjälptelefoner kan bidra till en upplevd trygghetskänsla hos personer som vistas i nödutrymmena i tunnlar eftersom det ger en känsla av att kunna ha kontroll över oväntade

situationer. Detta kan i sin tur leda till att dessa håller sig lugnare och därmed fattar mer rationella beslut, både under vardaglig körning och under oönskade händelseförlopp.

Analysens resultat tyder på att handbrandsläckare ej är samhällsekonomiskt lönsamma i vägtunnlar. En tänkbar följd av detta fynd skulle rimligtvis kunna vara att antalet handbrandsläckare minskar i framtida svenska vägtunnlar. Dock kan ett sådant initiativ komma att väcka starka negativa känslor som riskerar att öka den redan befintliga oroligheten gentemot körning i vägtunnlar hos trafikanter. Enligt den litteraturstudie som utfördes i samband med detta arbete finns det en del människor som är oroliga över att köra i vägtunnlar eftersom det är en okänd miljö som många inte är bekanta med. Att ta bort handbrandsläckare kan stärka känslan av oro hos förare som vistas i tunnlar på grund av att de känner att de inte längre har kontroll över oönskade händelser. I samband med eventuella beslut om att ta bort handbrandsläckare från tunnlar kan en utredning behöva göras för att studera vilken effekt detta kan få på människors upplevda trygghet och vilja att fortsätta använda vägtunnlar.

7.2.4.2 Indirekta följder av ett brandförlopp

I synnerhet kan handbrandsläckare komma att få externa effekter utöver att just släcka bränder. Även om en brand inte släcks helt kan handbrandsläckare fortfarande bidra till att dämpa branden, eller fördröja till dess att räddningstjänsten är på plats, och således minska risken för de konsekvenser som branden skulle kunna leda till. En dämpad brand kan leda till minskad rökproduktion och mindre värmestrålning och därmed mindre risk för både dödsfall och egendomsskador i tunneln. Dessutom kan det leda till en snabbare och enklare insats från räddningstjänstens sida och därmed kan de använda sina resurser mer effektivt, samtidigt som det tar en kortare tid att öppna tunneln igen efter branden. Detta bygger dock på att personer står kvar vid branden och använder handbrandsläckaren efter behov och att den inte tar slut, eller att någon i så fall har hämtat en ny. Vinningen av detta behöver dock, likt tidigare nämnt, vägas mot risken som personen utsätts för genom att hen måste vistas i närheten av branden för att dämpa den.

7.2.4.3 Risker med användning av handbrandsläckare

En potentiell negativ extern effekt som kan tänkas följa av att handbrandsläckare finns tillgängliga i vägtunnlar är att detta kan få folk att exponera sig för riskfyllda situationer. Ur ett säkerhetsperspektiv går det att argumentera för att trafikanter inte bör försöka släcka bränder i fordon, då de måste närma sig branden för att använda handbrandsläckaren samtidigt som de till följd av detta vistas i en riskfylld miljö en längre tid än nödvändigt. I synnerhet gäller detta bränder där farligt gods är inblandat. För att hämta en handbrandsläckare krävs det att personen förflyttar sig ifrån det drabbade fordonet. Händelseförloppen för brand i fordon som transporterar farligt gods kan eskalera på bara några sekunder och således vara extremt farliga. Därför kan det vara bättre att direkt påbörja en utrymning i stället för att inleda en släckningsinsats. Skulle föraren bestämma sig för att hämta en handbrandsläckare från en av utrymningsvägarna, behöver hen lämna olycksplatsen och således tappa uppsikt över fordonet och situationen. När föraren är tillbaka går det inte att förutspå i vilket stadie som brandförloppet är, vilket gör det extremt riskfyllt att försöka

släcka branden i stället för att utrymma. Därför anses det mer lämpligt att uppmuntra förare som transporterar farligt gods att prioritera utrymning eller i alla fall använda handbrandsläckaren som ska finnas i hytten. Ifall detta tas hänsyn till skulle alla konsekvenser som begränsas av handbrandsläckare kopplade till farligt gods bortses ifrån och resultera i en lägre nytta som fortfarande inte väger upp för kostnaderna.

7.2.5 Validitetsbedömning

Med hänsyn till de bedömningar och antaganden som gjorts i arbetet bedöms den interna validiteten vara god. Analysen är baserad på vad som anses vara de troligaste utfallen utifrån en djupgående och systematisk genomgång av litteratur och tidigare forskning.

För att testa hur generellt analysens resultat är samt resultatets känslighet för osäkerhet i indata genomfördes en känslighetsanalys. Resultatet av denna känslighetsanalys visade att trots en betydande variation i indata för respektive delhändelse noterades inga betydande förändringar av nyttokostnadskvoten. Detta indikerar att modellen är relativt okänslig för variationer i indata för delhändelserna. Således bör arbetets resultat gå att applicera på vägtunnlar som byggs enligt Trafikverkets säkerhetskoncept, oavsett variationer i de parametrar som tagits hänsyn till i analysen.

Det är viktigt att notera att validiteten är begränsad till de förenklingar och antaganden som gjorts i arbetet, särskilt med avseende på sannolikhetssuppskattningar och beroenden mellan delhändelser. Därför anses slutsatsen som redovisas nedan rimlig i samband med förutsättningarna som definierats i denna analys.

8 Slutsats

Examensarbetet ämnar besvara den frågeställning som introducerades i arbetets inledning. Problemformuleringen lyder som följande:

Med hänsyn till gällande regelverk, direktiv och de normer som för nuvarande råder kring säkerhet i vägtunnlar i Sverige, samt baserat på en jämförelse mellan de kostnader och den nytta som åtgärderna tillför, är hjälptelefoner och handbrandsläckare samhällsekonomiskt lönsamma i samband med bränder i vägtunnlar?

Problemformuleringen besvaras genom de slutsatser som kan dras från analysen. Slutsatserna lyder:

- Utifrån den litteratur, de nyttoaspekter och de kostnader som redovisats för hjälptelefoner i denna analys anses dessa inte vara samhällsekonomiskt lönsamma. Hjälptelefoners roll som kommunikationsmedel för nödsamtal vid bränder i vägtunnlar har i stort sett ersatts av mobiltelefoner och i relation till dess nytta är de årliga kostnaderna per tunnel för höga för att motivera deras förekomst i den omfattning som antagits i analysen.
- Baserat på de förutsättningar och antaganden som gjorts i samband med analysen överstiger kostnaderna för handbrandsläckare per år och tunnel den nytta de bidrar med i samband med tunnelbränder. Således anses de inte vara samhällsekonomiskt lönsamma under de rådande förutsättningarna.

9 Framtida beslut och forskning

I detta kapitel beskrivs hur resultatet av detta arbete kan användas och i vilka områden av arbetet som vidare forskning rekommenderas för att ge ytterligare underlag för att besvara problemformuleringen.

9.1 Framtida beslut

Eftersom resurser för trafiksäkerhet är begränsade och måste prioriteras där de gör störst skillnad, är det viktigt att säkerställa att resurser fördelas till åtgärder med dokumenterad effekt. Arbetet visar att det kan finnas anledning att se över hur äldre säkerhetskrav i tunnlar kan justeras med hänsyn till modern teknik. Arbetet kan agera kunskapsunderlag för framtida beslut om utformning av säkerhetskrav, investeringar och utveckling av riskreducerande åtgärder i svenska vägtunnlar.

9.2 Framtida forskning

För att uppskatta nyttan med hjälptelefoner skulle man behöva veta antalet dödsfall och mängden skador på egendom och på tunneln vid olika tidpunkter för varje brand. Detta kan uppnås genom utrymningssimuleringar med CFD-program, likt de som utförts av Trafikverket för Förbifart Stockholm. Det skulle även behövas en tydlig kvantifiering av hur mycket fortare räddningstjänsten kan ingripa till följd av att någon använder en hjälptelefon jämfört med att någon inte gör det. Med vetskap om hur konsekvenserna vid en brand varierar med tiden kan detta kombineras med skillnaden i tid för räddningstjänstens ingripande. Inom detta tidsfönster som utgörs av tiden då räddningstjänsten anländer utan hjälptelefon och den kortare tiden de anländer på tack vare hjälptelefoner finns det ett antal konsekvenser som nu går att begränsa. Förutsatt att räddningstjänsten lyckas begränsa samtliga konsekvenser som annars hade uppstått inom detta tidsfönster, ger det en nytta som är kvantifierbar. För en ännu mer detaljerad kvantifiering av nyttan med hjälptelefoner hade den inverkan som räddningstjänsten har på konsekvenserna av en brand behövt studeras mer djupgående. Handbrandsläckare är enklare att utreda gällande detta då de används i det tidiga brandförloppet och då kan de begränsa samtliga konsekvenser som väntas följa av branden. Räddningstjänsten anländer oftast senare och kan inte förhindra samtliga konsekvenser på samma vis, och därmed krävs ett mer omfattande arbete för att kartlägga den effekt som de har på brandförlopp i tunnlar.

För att bedöma släckningssannolikheten utgick analysen enbart ifrån ett experimentellt värde kopplat till brand i tvillingdäck. Släckningssannolikheten är en viktig faktor för att kunna bedöma nyttan med handbrandsläckare eftersom den speglar vilka bränder som går att släcka. För framtida analyser inom detta ämne rekommenderas därför vidare forskning för att utreda vilka typer av fordonsbränder som går att släcka med handbrandsläckare av typen ABC. Om möjligt rekommenderas att fullskaliga försök utförs.

En källa till eventuell nytta för handbrandsläckare som inte studerats i detta arbete är reduktion av personskador. Beroende på vilka personskador som kan följa av en personbilsbrand kan nyttan med handbrandsläckare öka, då detta är konsekvenser som det

finns möjlighet att förhindra. Således kan då även nyttokostnadskvoten öka och visa på ett högre samhällsekonomiskt värde än vad som presenterats i detta arbete. En vidare studie rekommenderas som utreder vilka personskador som en personbilsbrand kan leda till och hur detta skulle kunna representeras i monetära enheter för att inkluderas i analysen.

Referenser

- AAA Standard Services. (u.å., u.å.). *Understanding Smoke and Soot Damage*. AAA Standard Services. Hämtad den 18 februari 2026 från <https://aaastandardsservices.com/blog/understanding-smoke-and-soot-damage/>
- Bergmeister, K., & Francesconi, S. (2004). Causes and Frequency of Incidents in Tunnels (D1.2a Report GRD1-2001-40739). UPTUN-Work Package. <https://www.kennisplatformtunnelveiligheid.nl/wp-content/uploads/2024/04/Causes-and-Frequency-of-Incidents-in-Tunnels.pdf>
- Boverkets författningssamling (BFS 2013:12) Boverket. <https://rinfo.boverket.se/BFS2011-27/pdf/BFS2013-12.pdf>
- Eklöf, L., Lundström, U., Modig, H., & Wahlström, B. (2012, 14–16 mars). I A. Lönnermark & H. Ingason, *The Stockholm bypass – Enhanced design and interaction between safety systems (s. 177–184)* [Konferensbidrag]. Fifth International Symposium on Tunnel Safety and Security, New York, USA <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:962674/FULLTEXT01.pdf>.
- Engwall, M., Jerbrant, A., Karlson, B., & Storm, P. (2020). *Modern industriell ekonomi* (2 uppl.). Studentlitteratur.
- Europaparlamentets och rådets direktiv (2004/54/EG) Europeiska unionen. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/54/oj/swe>
- EV Firesafe. (u.å.–a, u.å.). *Electric vehicle batteries*. EV FireSafe. Hämtad den 26 november 2025 från <https://www.evfiresafe.com/what-is-an-ev-battery>
- EV Firesafe. (u.å.–b, u.å.). *Risks with EV battery fire*. EV FireSafe. Hämtad den 18 februari 2026 från <https://www.evfiresafe.com/risks-ev-fires>
- EV Firesafe. (u.å.–c, u.å.). *What is thermal runaway?* EV FireSafe. Hämtad den 26 november 2025 från <https://www.evfiresafe.com/ev-fire-what-is-thermal-runaway>
- Frantzich, H., & Nilsson, D. (2003). Utrymning genom tät rök: beteende och förflyttning (LUTVDG/TVBB--3126--SE; Vol. 3126). Fire Safety Engineering and Systems Safety. https://www.brandskyddsforeningen.se/globalassets/brandforsk/rapporter-2000-2015/utrymning-genom-irriterande-och-tat-rok/bf03_208_021.pdf
- Frantzich, H., Nilsson, D., & Rød, K. (2016). Utrymning och tekniska installationer i vägtunnlar med dubbelriktad trafik (3199). Brandteknik LTH. https://lucris.lub.lu.se/ws/files/12618178/Frantzich_Nilsson_Rod_Utrymning_v_gtunnlar3199_Final.pdf
- Fraser-Mitchell, J., & Charters, D. (2005). Human Behaviour in Tunnel Fire Incidents. *Fire safety science*, 8, 543–554. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.8-543>

- Gehandler, J. (2020). *Fire safety design of road tunnels* Lund University Department of Fire Safety Engineering]. Lund, Sweden.
https://lup.lub.lu.se/search/ws/files/72981290/Jonatan_Gehandler_web.pdf
- Hultkrantz, L. (2020). Värdet av ett statistiskt liv och covid-19. *ekonomisk debatt*(8).
- Hultkrantz, L., & Svensson, M. (2008). Värdet av liv. *ekonomisk debatt*, 2(36).
- Ingason, H., Bergqvist, A., Frantzich, H., Hasselrot, K., & Lönnemark, A. (2005). Räddningsinsatser i vägtunnlar [article]. *Räddningsverket*, P21–459/405.
- Ingason, H., Li, Y., & Lönnemark, A. (2015). *Tunnel Fire Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2199-7>
- Ingason, H., Li, Y., & Lönnemark, A. (2024). *Tunnel Fire Dynamics (2nd Edition)*.
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-53923-7>
- Ingason, H., & Lönnemark, A. (2004). Brandbelastning och brandscenarier för vägtunnlar (SP Arbetsrapport 2004:32). SP Brandteknik. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:961316/FULLTEXT01.pdf>
- Jönsson, J., & Herrera, F. (2010, 17–19 mars). I A. Lönnemark & H. Ingason, *HGV traffic – Consequences in case of a tunnel fire (s. 125–134)* [Konferensbidrag]. Fourth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Frankfurt am Main, Tyskland <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:962530/FULLTEXT01.pdf>.
- Kommissionens genomförandeförordning (EU nr 402/2013) Europeiska unionen. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0402>
- Martens, M. H., & Jenssen, G. D. (2012, 14–16 mars). I A. Lönnemark & H. Ingason, *Human Behaviour in Tunnels. What further steps to take? (s. 69–86)* [Konferensbidrag]. Fifth International Symposium on Tunnel Safety and Security, New York, USA <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:962674/FULLTEXT01.pdf>.
- MCF. (2025). *B20. Antal bränder och brandtillbud i byggnad per verksamhet/bostadstyp, plats och år [Dataset]*
- MSB. (2024). *A30. Antal omkomna vid brand i annan byggnad än bostad per kön, åldersgrupp, verksamhet och brandorsak, riket 2008 - 2024 [Dataset]*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap [numera Myndigheten för civilt försvar]
https://statistik.msb.se/PXWeb/pxweb/sv/PxData/START_A_A3/A30/.
- MSB. (2025a, 11 november 2025). *Olika typer av brandsläckare*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap [numera Myndigheten för civilt försvar]. Hämtad den 30 november 2025 från
<https://www.mcf.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/stod-till-kommunal-raddningstjanst/brandskydd-och-forebyggande/brandskyddsutrustning/brandslackare/>

- MSB. (2025b). *Sammanställning av bränder i elfordon och eltransportmedel år 2018–2024*. (2025-06271). Myndigheten för civilt beredskap Hämtad från <https://rib.msb.se/filer/pdf/29438.pdf>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps författningssamling (MSBFS 2024:10) MSB. <https://www.mcf.se/contentassets/23dbbff228564dcd937fa1ab1e9f62b9/adr-s-2025-klar.pdf>
- Nilsson, J. (2003). Introduktion till riskanalysmetoder (LUTVDG/TVBB--3124--SE; Vol. 3124). Fire Safety Engineering and Systems Safety. <https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/4514846/636548.pdf>
- Nystedt, F. (2000). Riskanalysmetoder. *Department of Fire Safety Engineering. Lund University. Rapport, 7011.*
- Pearce, D., Atkinson, G., & Mourato, S. (2006). Cost-Benefit Analysis and the Environment: Recent Developments. *Benefits Transfer*. <https://doi.org/10.1787/9789264010055-en>
- Potier, M., & Marsaul, M.-N. (2018, 14–16 mars). I A. Lönnermark & H. Ingason, *Improvements in the awareness and behaviour of road tunnel users over a ten-year period* (s. 667–680) [Konferensbidrag]. Eighth International Symposium on Tunnel Safety and Security, Borås, Sverige <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1352759/FULLTEXT01.pdf>.
- Rosmuller, N., & van Barneveld, A. (2025, 9–11 april). I A. Lönnermark & H. Ingason, *Dutch road tunnel firefighting in the future: outlook from a Dutch fire fighter's perspective* (s. 509–521) [Konferensbidrag]. 11th International Symposium on Tunnel Safety and Security, Reykjavik, Island <https://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:2013711/FULLTEXT01.pdf>.
- Shields, J. (2011). Human behaviour during tunnel fires. I A. Beard & R. Carvel (Red.), *Handbook of Tunnel Fire Safety, 2nd edition* (2 uppl., s. 399–420). ICE Publishing. <https://doi.org/10.1680/htfs.41530.399>
- Statens Havarikommisjon for Transport. (2013). Rapport om brann i vogntog på RV 23, Oslofjordtunnelen, 23. juni 2011 (VEI 2013/05). Statens Havarikommisjon for Transport. <https://nsia.no/Road/Published-reports/2013-05?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>
- Statens Havarikommisjon for Transport. (2015). Report on fire in a heavy goods vehicle in the Gudvanga tunnel on the E16 road in Aurland on 5 August 2013 (VEI 2015/02). Statens Havarikommisjon for Transport. <https://nsia.no/Road/Published-reports/2015-02-eng?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>
- Statens Havarikommisjon for Transport. (2016a). Report on coach fire in the Gudvanga tunnel on the E16 road in Aurland on 11 August 2015 (VEI 2016/03). Statens Havarikommisjon for Transport. <https://nsia.no/Road/Published-reports/2016-03-eng?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>
- Statens Havarikommisjon for Transport. (2016b). Report on fire in tank trailer in the Skatestraum tunnel in Sogn on Fjordane on 15 July 2015 (VEI 2016/05). Statens Havarikommisjon for

- Transport. <https://nsia.no/Road/Published-reports/2016-05-eng?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>
- Statens Havarikommisjon for Transport. (2017). Rapport om brann i vogntog på RV 7 i Måbøtunnelen, 19. mai 2016 (VEI 2017/07). Statens Havarikommisjon for Transport. <https://nsia.no/Road/Published-reports/2017-07?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>
- Statens Havarikommisjon for Transport. (2018). Report on fire in heavy goods vehicle in the Oslofjord tunnel on National Road 23 on 5 May 2017 (VEI 2018/04). Statens Havarikommisjon for Transport. <https://nsia.no/Road/Published-reports/2018-04-eng?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>
- Statens Havarikommisjon for Transport. (2019). Report on vehicle fire in the Fjærland tunnel on Norwegian national road 5 on 17 April 2017 (Veg 2019/05). Statens Havarikommisjon for Transport. <https://nsia.no/Road/Published-reports/2019-05?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>
- Statens Havarikommisjon for Transport. (2020). Report on fire in heavy goods vehicle in the Gudvangen tunnel, in Aurland municipality on the Norwegian National Road 16, on the 30 March 2019 (VEI 2020/04). Statens Havarikommisjon for Transport. <https://nsia.no/Road/Published-reports/2020-04?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>
- Statens Havarikommisjon for Transport. (2022). Report on a fire in a heavy goods vehicle on E134 in the Oslofjord tunnel on 2 August 2021 (VEI 2022/05). Statens Havarikommisjon for Transport. <https://nsia.no/Road/Published-reports/2022-05?pid=SHT-Report-ReportFile&attach=1>
- Stensaas, J. P., & Jacobsen, H. C. (2001). Testing of different portable fire extinguishers against fires in twin tyres (NBL10 A01159). SINTEF. <https://rise.fr.com/media/publikasjoner/upload/nbl10-a01159.pdf>
- Säfssten, K., & Gustavsson, M. (2023). *Forskningsmetodik 2.0 för ingenjörer och andra problemlösare* (2 uppl.). Studentlitteratur AB.
- Technical Committee 3.3 Road Tunnel Operation. (2016). Experience with Significant Incidents in Road Tunnels. *PIARC*, Article 2016R35EN. <https://www.piarc.org/en/order-library/25831-en-Experience%20with%20Significant%20Incidents%20in%20Road%20Tunnels>
- Technical Committee 5 Road Tunnels. (1999). Fire and Smoke Control in Road Tunnels. *PIARC*, Article 05.05.BEN. <https://www.piarc.org/en/order-library/3854-en-Fire%20and%20Smoke%20Control%20in%20Road%20Tunnels>
- Trafikanalys. (2012). ABC i CBA – Välfärdsekonomin grunder och användning av CBA inom transportsektorn (PM 2012:9). https://www.trafa.se/globalassets/pm/2011-2015/2012/pm_2012_9_abc_i_cba_-_vaelfaerdsekonomin_grunder_och_anvaendning_av_cba_inom_transportsektorn.pdf

- Trafikanalys. (2025). *Fordon i län och kommuner 2024*
- Trafikverket. (2010a). *FSI Konsortiet Förbifart Stockholm Besluts PM Säkerhetskoncept (Rev. 2011-05-01) [Opublicerat manuskript]* (0S148202).
- Trafikverket. (2010b). *FSI Konsortiet Förbifart Stockholm Konsekvensanalys Brand i fordon (Rev. 2011-05-01) [Opublicerat manuskript]* (0S149401).
- Trafikverket. (2010c). *FSI Konsortiet Förbifart Stockholm Riskanalys för driftskedet Bränder i fordon och farligt gods-olyckor i tunnel (Rev. 2011-05-01) [Opublicerat manuskript]* (0S148201).
- Trafikverket. (2024a). Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn (ASEK 8.0). Trafikverket.
<https://bransch.trafikverket.se/contentassets/0e5777a6301e4134a6e8365fc20c0e0e/asek-8.0-2-april-2024.pdf>
- Trafikverket. (2024b, 1 juli 2024). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden, ASEK*.
Trafikverket. Hämtad den 24 mars 2026 från <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Samhallsekonomisk-analys-och-trafikanalys/samhallsekonomi/analysmetod-och-samhallsekonomiska-kalkylvardenasek/>
- Trafikverket. (2025, 3 juli 2025). *Väg 259, Tvärförbindelse Södertörn*. Trafikverket. Hämtad den 29 januari 2026 från <https://www.trafikverket.se/vara-projekt/projekt-i-stockholms-lan/vag-259-tvarforbindelse-sodertorn/>
- Trafikverket. (2026, 13 januari 2026). *E4 Förbifart Stockholm*. Trafikverket. Hämtad den 29 januari 2026 från <https://www.trafikverket.se/vara-projekt/projekt-i-stockholms-lan/e4-forbifart-stockholm/>
- Trafikverket. (u.å.–a, u.å.). *Safety concept - E4 The Stockholm bypass Project*. Trafikverket. Hämtad den 10 december 2025 från <https://bransch.trafikverket.se/en/startpage/projects/Road-construction-projects/the-stockholm-bypass/A-safe-journey---E4-The-Stockholm-bypass-Project/Safety-concept---E4-The-Stockholm-bypass-Project/>
- Trafikverket. (u.å.–b). *Trafikvariation och lastbilsandelar Normalvärden*. Trafikverket.
https://bransch.trafikverket.se/contentassets/6172806b6959485d895374173243047f/2025_ny/vag/trafikvariation-och-fordonsandelar-vag.pdf
- Transportstyrelsen. (2025, 23 juni 2025). *Tunnelsäkerhet - säkerhet i vägtunnlar*. Transportstyrelsen.
Hämtad den 4 februari 2026 från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/infrastruktur/tunnelsakerhet/>
- Trafikverkets infrastrukturregelverk (TRVINFRA-00233) Trafikverket.
https://puben.trafikverket.se/dpub/api/v1/Dokument/DownloadDokument?id=01a2220c-84b3-4860-8965-31ab70eae8be&dokumentName=Krav%20med%20raadstexter%20TRVINFRA-00233%20v2_0.pdf

Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet i vägtunnlar m.m (TSFS 2019:93)

Transportstyrelsen. https://www.transportstyrelsen.se/TSFS/TSFS%202019_93k.pdf

Wang, H., Zhang, Y., Zhang, G., Zhang, Z., Zhang, Z., & Zhao, Z. (2025). Study on the Fire Suppression Efficiency of Common Extinguishing Agents for Lithium Iron Phosphate Battery Fires. *Fire Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10694-024-01687-6>

Xu, P., Zhu, D., Li, L., Chen, K., Lin, B., & Li, L. (2024). Study on the key parameters of vehicle fires for the growth stage in road tunnels. *Fire and Materials*, 48(1), 128–137.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fam.3172>

Bilaga A Känslighetsanalys

Tabell 31 nedan redovisar en sammanställning av skillnaderna i nyttokostnadskvoterna för respektive ändring av de delhändelser som presenterades i avsnitt 6.5.

Tabell 31 Resultat av känslighetsanalysen, med delhändelser och tillhörande ändringar.

Variabel	Ändring	Nyttokostnadskvoter Låga kostnader			Nyttokvoter Höga kostnader			Skillnad (%)
		Min	Troligast	Max	Min	Troligast	Max	
Startvärde		0,116	0,116	0,116	0,066	0,066	0,066	-
Varse- och förberedelse-tid	+50%	0,080	0,080	0,080	0,045	0,045	0,045	-31,3
	-50%	0,116	0,116	0,116	0,066	0,066	0,066	0,0
Förflyttnings-hastighet	+50 %	0,116	0,116	0,116	0,066	0,066	0,066	0,0
	-50%	0,074	0,074	0,074	0,042	0,042	0,042	-36,4
Avstånd mellan släckare	50 m	0,040	0,040	0,040	0,023	0,023	0,023	-65,2
	100 m	0,079	0,079	0,079	0,045	0,045	0,045	-31,9
	250 m	0,144	0,144	0,144	0,082	0,082	0,082	24,2
	500 m	0,131	0,131	0,131	0,075	0,075	0,075	12,9
	750 m	0,120	0,120	0,120	0,068	0,068	0,068	3,6
Samhälls-kostnader	+50 %	0,173	0,173	0,173	0,099	0,099	0,099	49,4
	-50 %	0,059	0,059	0,059	0,033	0,033	0,033	-49,4
Egendoms-kostnader	+50 %	0,116	0,116	0,116	0,066	0,066	0,066	0,3
	-50 %	0,116	0,116	0,116	0,066	0,066	0,066	-0,3
Tunnel-inredning	+50 %	0,116	0,116	0,116	0,066	0,066	0,066	0,3
	-50 %	0,116	0,116	0,116	0,066	0,066	0,066	-0,3
Tillväxt-hastighet liten brand	+50 %	0,096	0,096	0,096	0,055	0,055	0,055	-16,9
	-50 %	0,116	0,116	0,116	0,066	0,066	0,066	0,0

Bilaga B Redovisning av användning av generativ AI

Nedanstående text redovisar hur författaren använt så kallad generativ AI.

Användning av GAI	<i>Ja eller nej</i>
1) I rapporten har jag använt verktyg för Generativ AI (t.ex. ChatGPT eller liknande)	<i>Ja</i>
2) Jag har använt ett GAI-verktyg för språkbehandling (t.ex. för att åtgärda grammatiska fel etc.)	<i>Ja</i>
3) Jag har använt ett GAI-verktyg för att söka efter information.	<i>Nej</i>
4) Jag har använt ett GAI-verktyg för att skapa programkod.	<i>Nej</i>
5) Jag har använt ett GAI-verktyg för att översätta text	<i>Ja</i>
6) Jag har använt ett GAI-verktyg för att skapa figurer eller andra illustrationer.	<i>Ja</i>
7) Jag har använt ett GAI-verktyg för att strukturera texten i rapporten.	<i>Nej</i>
Skriv en kort beskrivning hur och i vilken omfattning du använt GAI-verktyg i ditt arbete.	<i>I detta arbete har GAI använts för språkbehandling. Vidare har GAI använts för att översätta från svenska till engelska. GAI har även använts för att generera figurer.</i>