



## Räddningsinsatser i långa spårtunnlar II Kompletterande fullskaleförsök med verklig brand

Mia Kumm, RISE  
Artur Storm, Briab  
Ulf Levin, SSBF

RISE Rapport 2026:40

# Räddningsinsatser i långa spårtunnlar II

## Kompletterande fullskaleförsök med verklig brand

Mia Kumm, RISE

Artur Storm, Briab

Ulf Levin, SSBF

# Abstract

## **Fire and rescue operations in long railway tunnels II** Complementary full-scale tests with real fires

This report describes full-scale experiments conducted in a railway tunnel under real fire conditions. The aim was to study firefighters' searching and moving speed, air consumption and risk assessment when operating without simultaneous build-up of fire hoses in smoke-filled environments.

The experiments were carried out in a decommissioned tunnel, where firefighters advanced 170–200 m towards a mock-up train fire. The results showed an average searching speed of approximately 0.3 m/s and a moving speed of approximately 0.85 m/s. Air consumption was lower compared to operations involving handling of hoses, although significant individual variation was observed.

Measurements using thermal imaging cameras consistently underestimated gas temperatures compared to thermocouples, indicating uncertainties in temperature interpretation under smoke-filled conditions. The use of thermal imaging cameras in combination with continuous LED guidance lighting did however contribute to a high level of perceived safety.

The findings support continued development of fire and rescue methods without simultaneous hose build-up in smoke-filled tunnel environments, provided that continuous risk assessment is maintained.

Key words: fire and rescue operation, rail tunnels, moving speed, firefighter safety

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2026:40

ISBN: 978-91-90-109-69-4

Västerås 2026

# Innehåll

<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>Innehåll</b> .....	<b>2</b>
<b>Förord</b> .....	<b>3</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Inledning och bakgrund</b> .....	<b>5</b>
1.1 Syfte och mål .....	6
1.2 Metod.....	6
1.3 Avgränsningar .....	7
<b>2 Beskrivning av utfört försök</b> .....	<b>7</b>
2.1 Försöksplatsen.....	7
2.2 Brandobjekt .....	9
2.3 Belysning och siktförhållanden .....	9
2.4 Dokumentation.....	11
2.5 Försöksdeltagare .....	12
2.6 Räddningstjänstens utrustning.....	12
2.7 Genomförande.....	13
<b>3 Resultat</b> .....	<b>15</b>
3.1 Branden .....	15
3.1.1 Brandeffekt .....	15
3.2 Avsökning och förflyttning .....	16
3.3 Luftförbrukning.....	18
3.4 Temperatur.....	20
3.4.1 Temperatur i tak.....	20
3.4.2 Uppskattad temperatur .....	22
3.5 Riskbedömning.....	23
3.6 Upplevd trygghet .....	24
<b>4 Diskussion och slutsats</b> .....	<b>25</b>
<b>5 Framtida forskning och utveckling</b> .....	<b>27</b>
<b>6 Referenser</b> .....	<b>28</b>

# Förord

Arbetet som redovisas i denna rapport har samfinansierats av Trafikverkets FoI-portfölj Bygga och TUSC Tunnel and Underground Safety Center.

De genomförda fullskaliga försöken i spårtunnel bygger på de tidigare genomförda försöken utan verklig brand, som genomfördes i Citybanan 2022. Fullskaleförsöken avser att utreda räddningstjänstens upplevda trygghet vid användande av insatskoncept med inträngning i tät brandrök och verklig brand utan säker tillgång till släckvatten, samt möjligheterna att bedöma förhållandena i tunneln ur ett säkerhetsperspektiv.

Författarna vill tacka deltagande räddningstjänster från Södertörns brandförsvarsförbund, Storstockholms brandförvar, Räddningstjänsten i Skellefteå samt Umeåregionens brandförvar. Författarna vill särskilt tacka räddningstjänsten i Arvika som bistått med nödlägesgrupper och logistiskt stöd samt Räddningstjänsten Höga Kusten-Ådalen för utlåning av tunnelfläkt och personal under hela försökens genomförande. Ett tack ska också riktas till MariElectronics som lånat ut, monterat och demonterat LED-belysningen till handledaren i tunneln.

Många personer och organisationer har på olika sätt bidragit till att försöken kunnat genomföras. Vissa har medverkat inom ramen för sin tjänst och bidragit med gedigen kunskap och kompetens under själva försöken, medan andra har stöttat i arbetet innan för att få försöken att bli verklighet. Ett stort tack ska också riktas till RISE tekniker samt till Haukur Ingason och Örjan Westlund som tidiga morgnar och sena kvällar arbetat med att förbereda tunneln och brandobjekten. Försöken hade inte gått att genomföra utan personalen från Infranord som under hela försöksveckan stod för säkerheten i och på spårområdet.

Avslutningsvis vill författarna tacka brandingenjör Per Rohlén som återigen bidragit med värdefull fotodokumentation samt Jari Antinluoma som filmat brandförloppet i tunneln.

# Sammanfattning

Denna rapport redovisar resultat från fullskaliga försök avseende räddningsinsatser i spårtunnel med verklig brand. Fokus har legat på att studera förutsättningarna för rekognosering och avsökning i rökfylld tunnelmiljö utan säkerställd tillgång till släckvatten, i syfte att bidra till utveckling och verifiering av insatskoncept för moderna spårtunnlar. Försöken har genomförts i Brunsbergstunneln och utformats som realistiska insatsscenarier där rökdykare förflyttat sig cirka 170–200 meter i rökfylld miljö fram till ett brandobjekt bestående av en container som hade byggts om för att efterlikna en tågagn. Ingen släckinsats eller slangdragning har genomförts, utan studien har avgränsats till momenten rekognosering och avsökning. Under försöken har data insamlats avseende bland annat förflyttningshastighet, luftförbrukning, temperaturer, rökdykarnas bedömningar med värmekamera samt upplevd trygghet.

Resultaten visar att förflyttning och avsökning i rökfylld tunnel effektivt kan genomföras utan samtidig slangdragning. Den genomsnittliga avsökningshastigheten uppgick till cirka 0,3 m/s, inklusive försöksrelaterade stopp för rapportering, medan den faktiska förflyttningshastigheten uppgick till cirka 0,85 m/s. Förflyttningen har i samtliga fall skett med stöd av kontinuerlig LED-belysning placerad längs tunnelns sida samt handhållen värmekamera. Belysningen har haft avgörande betydelse för orientering och framkomlighet, medan värmekameran i första hand har använts som stöd för riskbedömning. Den genomsnittliga luftförbrukningen uppgick till cirka 56,5 l/min fram till branden, med stor variation mellan individer. Jämfört med tidigare studier där slangdragning och släckning ingått är luftförbrukningen lägre, vilket indikerar att denna typ av insats möjliggör längre inträngningsvägar och ökad aktionstid. Samtidigt är de individuella skillnaderna i luftförbrukning betydande och behöver beaktas vid planering och genomförande av insats i längre tunnlar.

Kontrollmätningar med termoelement visade att temperaturer uppmätta med värmekameran var systematiskt underskattade, med en genomsnittlig avvikelse om cirka 36 %. Orsaken till avvikelserna bedöms i detta läge främst vara kopplade till i vilken omfattning värmekameran registrerar brandgasernas och bakomliggande ytors temperatur. Detta påverkas av brandgasernas optiska egenskaper och kan inte bestämmas på urval av den insamlade datan i detta försök. Rökdykarnas egna uppskattningar av temperatur i huvudhöjd har däremot visat relativt god överensstämmelse med uppmätta värden. Försöken visar vidare att rökdykarna har god förmåga att genomföra löpande riskbedömning baserat på tillgänglig information. Den strukturerade rapporteringen vid kontrollpunkterna har upplevts som ett viktigt stöd för beslutsfattande under insatsen. Avseende upplevd trygghet framgår att samtliga deltagare, oavsett tidigare erfarenhet av motsvarande insatskoncept, efter genomförda försök upplevde förflyttning i rökfylld tunnel utan säker tillgång till släckvatten som genomförbar. Kombinationen av tekniska hjälpmedel, tydlig metodik och kontinuerlig kommunikation har bidragit till en god upplevd trygghet.

Sammanfattningsvis visar resultaten att rekognosering i rökfylld spårtunnel utan säkerställd tillgång till släckvatten kan genomföras under förutsättning att brand inte föreligger i rökdykarnas närmiljö och att kontinuerlig riskbedömning kan genomföras. Samtidigt kvarstår osäkerheter, särskilt kopplade till tolkning av temperaturdata från värmekameran, vilket motiverar fortsatt forskning och metodutveckling inom området.

# 1 Inledning och bakgrund

Räddningsinsatser i undermarksanläggningar är generellt komplexa och kan utgöra en utmaning för räddningstjänsten. Denna typ av räddningsinsatser kännetecknas av långa inträngningsvägar och ofta ett informationsunderskott. I modernare spårtunnlar finns dock bättre förutsättningar för informationsinhämtning via fasta kameror eller annan teknisk utrustning i tunneln.

I spårtunnlar saknas ofta separata möjligheter att ventilera ut brandgaser och där ventilationssystem finns utgörs dessa ofta av längsventilation med hjälp av impulsfläktar. Detta innebär att såväl utrymmande som räddningstjänstens personal kan behöva förflytta sig i rökfyllda miljöer. I tunnlar utan mekanisk ventilation kommer brandgaserna nära tåget att vara skiktade, medan de längre bort från tåget, när berget har kylt brandgaserna, kommer att fylla hela tunnelvärsnittet. Såväl forskning [1–4] som inträffade bränder [5, 6] har visat att de obrännbara ytskikten i tunneln bidrar till att minska riskerna i tunneln och att övertändning i tunnelröret inte uppstår. I eller i den direkta närheten av ett brandobjekt i en tunnel med obrännbara ytskikt kan övertändning eller övertändningsliknande förhållanden uppstå. Längre bort från brandobjektet kyler berget brandgaserna och då ytskikten är obrännbara finns i princip inget brännbart material som kan bidra till brandförloppet. Detta i kombination med att tunneln har ett lågt men naturligt ventilationsflöde gör att övertändning inte uppstår.

Spårtunnlar utgör ett masstransportsystem där många människor i händelse av en brand, om tåget stannar inne i tunneln, kan behöva utrymma hela eller delar av sträckan i rökfylld miljö i samma tunnelrör som utgör räddningstjänstens angreppsväg. Moderna spårtunnlar har dock oftast en parallell räddnings- eller servicetunnel dit utrymmande kan evakuera och där räddningstjänsten kan förflytta sig närmare branden i rökfri miljö, alternativt två parallella enkelspårstunnlar där det friska tunnelröret fungerar på motsvarande sätt.

Tidigare forskning [3, 7–9] avseende räddningsinsatser i spårtunnlar och andra tunneltyper har främst fokuserat på räddningstjänstens förflyttningshastigheter och förmågan till brandsläckning av mindre och medelstora bränder.

De tidigare försöken har påvisat utmaningarna med förflyttning med samtidig slanguppbyggnad och behovet av metoder för rekognosering i rökfyllda miljöer i syfte att upptäcka och assistera utrymmande i behov av hjälp samt för att ge räddningsledaren beslutsunderlag och en bättre lägesbild.

Den tidigare forskningen har legat till grund för Trafikverkets utveckling av ett insatskoncept för Ostlänken och Norrbotniabanan som bygger på att rökdykare initialt förflyttar sig i rökfylld miljö utan tillgång till säkert vatten. Traditionellt har Arbetsmiljöverkets föreskrifter om kem- och rökdykning [10, 11] tolkats på sådant sätt att rökdykning i dessa miljöer inte kan ske utan säkert vatten. Efter ett förtydligande om tolkningen av föreskrifterna, med bas i den dispensansökan som räddningstjänsten i Skellefteå lämnade in avseende rökdykning i tunnelmiljö [12], har alternativa metoder för förflyttning i tunnelmiljöer utan risk för brand kunnat utvecklas. Trafikverkets koncept bygger på rekognosering och samtidig löpande riskbedömning med hjälp av visuella observationer och användning av värmekamera samt stöd för förflyttning och orientering med hjälp av den LED-slinga som finns monterad som nödbelysning.

En sammanfattning av kunskapsläget och ett kompletterande underlag till räddningstjänstens metodutveckling finns presenterad i rapporten *Räddningsinsatser med och utan säker tillgång till släckvatten i spårtunnlar* [13]. Med bas i denna rapport samt i Trafikverkets vidareutvecklade koncept för Ostlänken [14] genomfördes också i slutet av 2022 verifierande försök i Citybanan [15]. Försöken genomfördes i kall rök med goda resultat, dock framkom behovet av motsvarande försök med verklig brand och riktiga brandgaser för att ytterligare utvärdera räddningstjänstens förutsättningar och trygghet vid rökdykning utan säkert vatten.

## 1.1 Syfte och mål

Syftet med försöken som har genomförts inom ramen för detta projekt är att vidare utvärdera förutsättningar för att genomföra räddningsinsatser i moderna spårtunnlar och undersöka rökdykarnas upplevda trygghet vid rökdykning i riktig brandrök utan säkerställd tillgång till släckvatten.

Målsättningen är att vidare utveckla kunskapsbasen inom området räddningsinsats i spårtunnelmiljö genom att skapa ett vetenskapligt verifierat underlag som stödjer Trafikverkets insatskonceptarbete och räddningstjänsters vidare arbete inom den egna verksamheten.

Frågorna som ligger till grund för försöken kan sammanfattas i följande:

- Hur fort söker rökdykare av en spårtunnel med en metodik som inte innefattar samtidig slanguppbyggnad?
- Hur stor är rökdykares luftförbrukning vid avsökning utan samtidig slanguppbyggnad?
- Hur stor påverkan har ensidigt monterad nödbelysning (LED-list i handledare) på rökdykares förflyttningshastighet och möjlighet att orientera sig i tunneln?
- Kan rökdykare med tillförlitlig precision uppskatta förhållanden i tunneln med värmekamera?
- Känner rökdykare sig trygga i tunnelmiljön trots att säkerställd tillgång till släckvatten saknas?

## 1.2 Metod

Studien genomfördes som en experimentell försöksstudie i fullskalig tunnelmiljö. Försöken utformades som ett insatsscenario där förflyttning och avsökning fram till brandobjekt genomfördes utan säker tillgång till släckvatten.

Eftersom försöken involverade människor utfördes först en etikprövning hos Etikprövningsmyndigheten (Dnr 2025-04993-01). Etikprövningen godkändes innan försökens genomförande.

Rökdykarnas förflyttning dokumenterades med värmekamera samt genom inspelning av radiokommunikationen mellan rökdykare och rökdykarledare. Efter respektive delförsök besvarade deltagande rökdykare en enkät avseende upplevelser och

iakttagelser under försöket. Diskussioner genomfördes såväl i storgrupp efter respektive genomfört försök, som vid behov med enskilda rökdykare.

Under respektive delförsök mättes även brandgasernas temperatur i tunneltvärsnittet med hjälp av termoelement placerade vid brandplatsen samt vid ett antal kontrollpunkter inne i tunneln. Mätningarna genomfördes dels för att möjliggöra jämförelse mellan rökdykarnas temperaturuppskattningar med värmekamera och faktiska förhållanden, dels för att försöksledningen fortlöpande skulle kunna följa den miljö som rökdykarna befann sig i och vid behov, om temperaturerna blev för höga, avbryta försöket.

Efter försöken sammanställdes insamlade data och rökdykarnas avsökningshastighet, luftförbrukning, rapportering och upplevelser analyserades. De kvalitativa enkätsvaren och dokumentationen från debriefingarna analyserades genom att återkommande mönster och iakttagelser identifierades och sammanställdes som ett komplement till de kvantitativa resultaten.

Vidare beskrivning av försökens genomförande och de praktiska förutsättningarna redovisas i nästa kapitel.

## 1.3 Avgränsningar

Inom ramen för arbetet avsågs endast momentet rekognosering att studeras. Ingen släckning, räddning eller etablering av vattenförsörjning ingick i försöken.

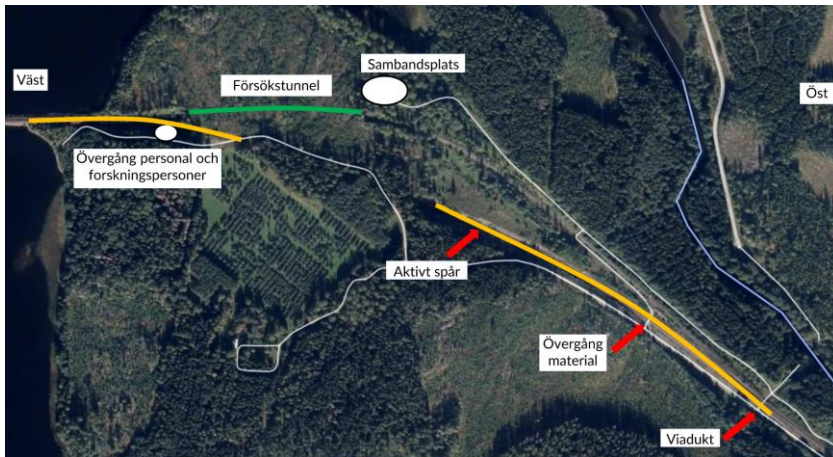
De fullskaliga försök som genomfördes fokuserade på rökdykarnas förflyttning i rökfylld tunnelmiljö med stöd av fast och bärbar teknisk utrustning. Försöken genomfördes i en specifik tunnelmiljö och under kontrollerade förhållanden, vilket innebär att resultaten bör tolkas i relation till de förutsättningar som rådde vid försöken.

# 2 Beskrivning av utfört försök

## 2.1 Försöksplatsen

Försöksserien genomfördes i Brunsbergstunneln, belägen cirka 20 kilometer öster om Arvika. Tunneln är en cirka 275 meter lång enkelspårtunnel som inte längre är i bruk. Intill försökstunneln finns det aktiva spåret som idag utgör del av sträckan mellan Karlstad och Oslo. Försöken genomfördes från tunnelns västra mynning, medan den östra mynningen användes för teknisk åtkomst till brandplatsen. Vid den östra mynningen fanns också fläkten placerad, som säkerställde flödesriktningen i tunneln så att försökssträckan hade erforderlig rökfyllnad och att erforderliga brandtekniska mätningar kunde genomföras. En översikt över försöksområdet visas i Figur 1. Ett urval bilder från försöksplatsen visas i Figur 2.

Norr om tunneln upprättades en sambandsplats, som också utgjorde mätstation för den tekniska utrustningen som var placerad i tunneln. Vid sambandsplatsen uppehöll sig även de observatörer från de olika räddningstjänsterna och Trafikverket som följde försöken på plats genom streamade bilder från värmekamera inne i tunneln samt överhörning av radiokommunikationen mellan rökdykarna och rökdykarleddaren.



Figur 1. Försöksområde.

Tunnelns tvärsnitt varierar längs dess längd men var vid kontrollmätning i genomsnitt 6,1 meter bred och 6,9 meter hög. Tunneln svänger lätt åt höger sett från tunnelns västra mynning.

Brandobjektet var placerat i tunneln med centrum 75 meter från den östra tunnelmynningen. Från brandobjektets centrum till den västra tunnelmynningen var det 200 meter, varav 194 meter utgjorde sträckan till brandobjektets front sett från den västra mynningen.

I tunneln finns ett enkelspår i hela tunnelns längd. Marken i tunneln utgörs av grov makadam och längs hela tunnelns norra sida finns en kabelränna med betonglock placerad cirka 0,5 meter från bergväggen.



Östra tunnelmynningen



Tunneln invändigt



Fläkt

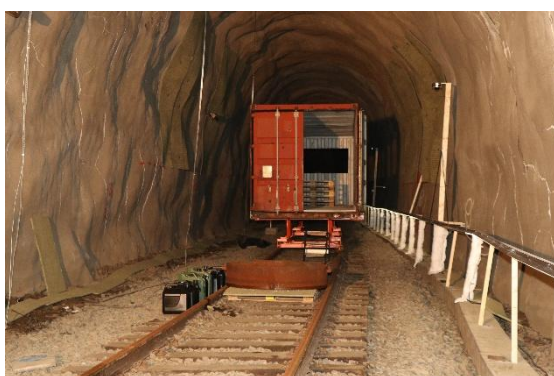


Mätstation vid sambandsplatsen

Figur 2. Bilder från försöksplatsen.

## 2.2 Brandobjekt

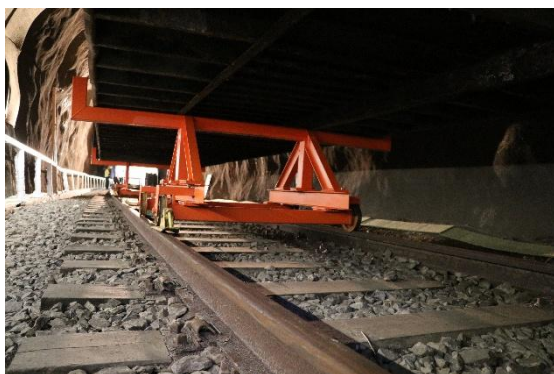
Brandobjektet utgjordes av en 40-fotscontainer där öppningar har skurits ut i fönsterhöjd för att efterlikna en tågagn. Brandcontainern var utförd på samma sätt som i de tidigare genomförda försöken i Tistbrottet [3] för att senare vid behov kunna jämföra erfarenheter från de två olika försöksserierna. Brandcontainern var placerat på en ram för att verkligt avstånd mellan räil och containerns undersida skulle erhållas i syfte att skapa möjligheter för räddningstjänsten att avsöka under och på bortre sidan av containern. Inuti brandcontainern placerades träpallar för att skapa värmesignatur och realistisk temperatur i närheten av containern. Brandcontainerns utformning visas också i Figur 3. Den beräknade brandeffekten givet brandbelastningen och containerns öppningar var 18 MW.



Brandcontainer och dieselfat



Brandcontainer invändigt



Upphöjd plattform



Träpallar som användes vid försöken

Figur 3. Bilder på brandcontainern.

För brandförsöken med den mindre branden utgjordes brandobjekten av fat med diesel placerade uppströms brandcontainern samt en begränsad mängd träpallar i brandcontainern. Den beräknade effekten för pölbränderna var 2 MW och träpallarna i containern 1 MW. Det kan också noteras att kompletterande dieselfat även användes vid de större försöken dag 2 och 3 (delförsök 4 och 6) för att minska siktbarheten i tunneln. Den tillkommande brandeffekten för detta beräknades till cirka 4 MW [16].

## 2.3 Belysning och siktförhållanden

Längs tunnelns norra sida monterades en kontinuerlig belysnings slinga av typen MILS.117.05 Tunnel Stripe [17], som också tidigare användes vid de orienterande försöken i Citybanan [15]. Belysningen monterades på ett provisoriskt räcke cirka 1 meter

ovan mark, se Figur 4. LED-belysningen var monterad på ett provisoriskt räcke då handledare inte fanns monterad i tunneln. Installationen var därför inte avsedd att användas som stöd utan endast i orienterande och vägledande syfte.

På handledaren fanns utrymningsskyltar med avståndsinformation placerade på motsvarande sätt som de hade placerats i en verklig tunnel, se Figur 4.



Figur 4. LED-belysning i tunneln, bild till höger under rökfyllnad.

LED-belysningen var placerad i en montagelist som riktade belysningen diagonalt nedåt för att undvika bländning samt för att följa kraven i TRVINFRA-00151 Belysning i järnvägsmiljö [18].

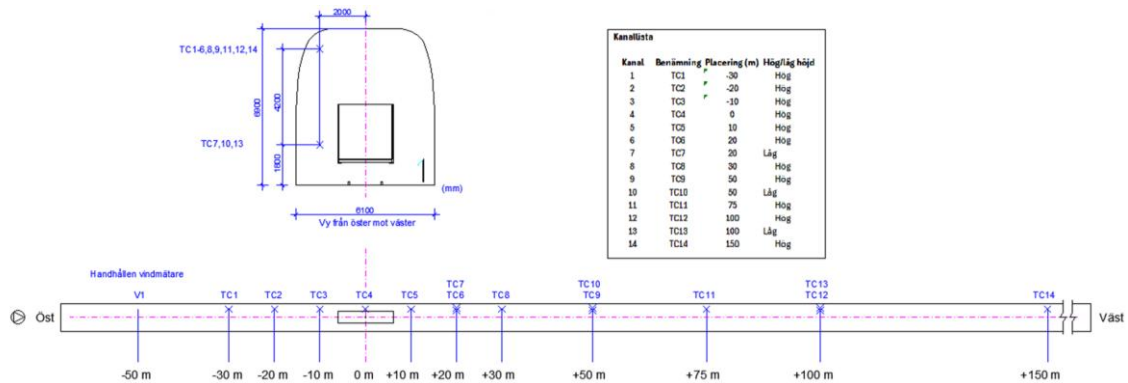
Försöken genomfördes i rökfylld miljö vilket innebar att mätningar avseende ljusförhållanden genomförda innan rökfyllnad inte var representativa för de förhållanden som senare rådde under försöken. Då försöken genomfördes dagtid i utomhusmiljö varierade ljusförhållandena i tunneln, mellan tunnelmynningen och tunnelns mittpunkt, både med och utan rökfyllnad. Ljusförhållandena påverkades också av lågorna från brandcontainern, och den naturliga fluktuationen av brandgastätheten. Kontinuerlig mätning av ljusförhållandena i tunneln gjordes inte under försöken, varför siktförhållandena enbart bygger på rökdykarnas observationer.

Vid beräkningen av förväntade siktförhållanden användes ett medelvärde för tunneltvärsnittet, vilket gjorde att de verkliga siktförhållandena i huvudhöjd var bättre än förväntat. Det beräknade medelvärdet var 1–3 m, medan den rapporterade sikten varierade mellan 5 och 20 meter. Orsaken till differensen mellan förväntad och verklig sikt är flera; 1) medelvärdet representerar inte sikten i huvudhöjd eftersom brandgaserna trots användande av fläkt inte var jämnt omblandade i hela tunneltvärsnittet, 2) beräkningarna representerar sikten utan monterad belysning, samt 3) dagsljuset utanför tunneln samt lågorna från branden förbättrade siktförhållandena.

Vid en verklig brand i en längre tunnel kommer brandgaserna närmare branden att vara skiktade, med tät rök i takhöjd och i princip fri sikt i golvnivå. Längre bort från branden kommer brandgaserna att kylas av det omgivande berget och fylla hela tunneltvärsnittet. Även i dessa fall kommer viss skillnad på rökstätheten mellan olika nivåer att finnas. Då förflyttning i tät rök utgör en betydligt större utmaning än förflyttning vid skiktade brandgasförhållanden bedöms försökens förhållanden väl efterlikna de utmaningar som kan förekomma i längre tunnlar.

## 2.4 Dokumentation

För att under försöken kunna mäta de fysikaliska förhållandena i tunneln monterades ett flertal termoelement såväl uppströms som nedströms branden. Mätpunkterna visas i Figur 5.



Figur 5. Termoelementens placering i tunneln [16].

Temperaturen uppmättes på samtliga punkter som utgjorde kontrollpunkter för rökdykarna samt vid brandplatsen. Samtliga temperaturgivare var placerade vid tunnelns södra sida för att undvika att rökdykarna skulle riskera att fastna i eller riva ner dem vid förflyttningen. Temperaturmätningen fyllde flera syften; 1) för brandtekniska beräkningar avseende exempelvis brandeffekt, 2) underlag för jämförelse med räddningstjänstens mätningar med värmekamera, bedömningar och upplevelser och 3) ur säkerhetsaspekter för att säkerställa att räddningstjänstens personal inte utsattes för oacceptabla risker under försökens genomförande.

Brandplatsen och brandutvecklingen filmades uppströms branden öster om brandcontainern från tunnelns östra sida. Räddningstjänstens förberedelser och förhållanden i tunneln innan förflyttning påbörjades, dokumenterades med videokamera och stillbilder.

Dokumentation av rökdykarnas förflyttning och deras beteende inne i tunneln dokumenterades av skyddsgruppen med handhållen värmekamera Flir E95. Skyddsgruppen befann sig bakom rökdykarna och följde dem under hela försöket.

Innan försöken påbörjades fotodokumenterades samtliga installationer och förhållanden i och utanför tunneln samt själva brandobjekten.

Under försöken dokumenterades räddningstjänstens rapporterade fysikaliska parametrar samt upplevelser genom överhörning av radiokommunikationen. Dokumentation genomfördes såväl av försöksledare och rökdykarledare, som av observatörer på sambandplatsen. All radiokommunikation mellan rökdykarledare och rökdykare spelades också in så att uppgifter skulle kunna kontrolleras i efterhand. Följande uppgifter samlades in vid rapportering: 1) status egen luftförbrukning, 2) temperatur i tak uppmätt med värmekamera, 3) uppskattad temperatur i huvudhöjd, 4) visuell sikt, 5) sikt genom värmekamera, 6) bedömd förflyttningssträcka, 7) uppskattat avstånd till branden och 8) funna nödställda i tunneln.

Efter varje genomfört delförsök besvarade rökdykarna en enkät innehållande frågor om bland annat deras upplevelse av trygghet under försöken, möjligheterna till riskbedömning samt hur kommunikationen och rapporteringsmodellen under insatsen fungerade. Efter att enkäterna hade besvarats genomfördes en kort gemensam debriefing där rökdykarnas erfarenheter från och synpunkter på försöket lyftes.

## 2.5 Försöksdeltagare

Forskningspersonerna utgjordes av yrkesverksamma brandmän och rekryterades från räddningstjänster som redan idag har eller i framtiden kommer att ha längre spårtnullar inom sitt geografiska ansvarsområde. Rekryteringen skedde genom direkt kontakt med aktuella räddningstjänster i samverkan med Trafikverket.

Då utförandet av försöken bedömdes i stort likvärdigt med vanlig övningsverksamhet i skarp miljö, kravställdes att forskningspersoner skulle av sin arbetsgivare vara godkända för rökdykning vid tidpunkten för försökets genomförande.

Försökspersonerna skulle också ha kännedom om den egna organisationens insatsplanering för tunnlar samt ha erfarenhet från skarpa insatser eller övning i motsvarande miljöer. Efter att de deltagande räddningstjänsterna godkänt medverkande i försöken beslutade de enskilda räddningstjänsterna själva om vilka rökdykare som skulle utgöra forskningspersoner vid de skarpa försöken. Detta resulterade i att samtliga forskningspersoner var män. Åldern på forskningspersonerna varierade mellan 26 och 61 år. Erfarenhet från rökdykning varierade mellan 4 och 39 år.

## 2.6 Räddningstjänstens utrustning

Vid försöken använde respektive räddningstjänst sin ordinarie rökdykarutrustning med larmställ och andningsskydd. Luftpaket som användes under försöken var av fabrikat Interspiro respektive Scott. Fabrikat och volym för respektive rökdykarpar finns angivna i Tabell 1.

Tabell 1. Använda luftpaket för respektive rökdykarpar.

Rökdykarpar	Fabrikat	Volym
RD-par 1	Scott	1 x 6,8 liter
RD-par 2	Scott	1 x 6,8 liter (2 x 9 liter <sup>1)</sup> )
RD-par 3	Interspiro	2 x 3,4 liter
RD-par 4	Interspiro	1 x 6,8 liter
RD-par 5	Interspiro	2 x 3,4 liter
RD-par 6	Interspiro	2 x 3,4 liter

1) Avser rökdykare RD 2.2 (rökdykare 2 i delförsök 2).

## 2.7 Genomförande

Försöksserien genomfördes under tre dagar oktober 2025 med fyra deltagande räddningstjänster. Försöken för samtliga dagar var upplagda på samma sätt, oberoende av vilken räddningstjänst som genomförde försöken, med ett försök med mindre brand på förmiddagen och den större branden på eftermiddagen. Vid varje försöksdag deltog fyra rökdykare, organiserade i två rökdykarpar. Upplägget innebar att varje rökdykarpar genomförde endast ett delförsök. När det ena paret genomförde sitt delförsök fungerade det andra paret som skyddsgrupp, följde bakom och dokumenterade förflyttningen med värmekamera. Vid varje tillfälle fanns också en nödlägesgrupp bestående av två rökdykare, som var placerad utanför tunnelmynningen. Nödlägesgruppen ingick inte i själva försöksserien, men kunde i händelse av en incident eller olycka bistå forskningspersonerna inne i tunneln. Nödlägesgruppen behövde inte aktiveras i något av försöken.

Respektive dag inleddes med en introduktion för de räddningstjänster som skulle delta under aktuell dag. Vid genomgången presenterades kort de tidigare försöken som genomförts utan verklig brand [15] och syftet med de försök som nu skulle genomföras. Vid genomgången lades stor vikt på säkerhet och hanteringen av eventuella avvikelser eller incidenter under försökens genomförande. Ytterligare säkerhetsgenomgång, med fokus på säkerhet i spår, genomfördes innan aktivt spår nära försöksplatsen passerades.

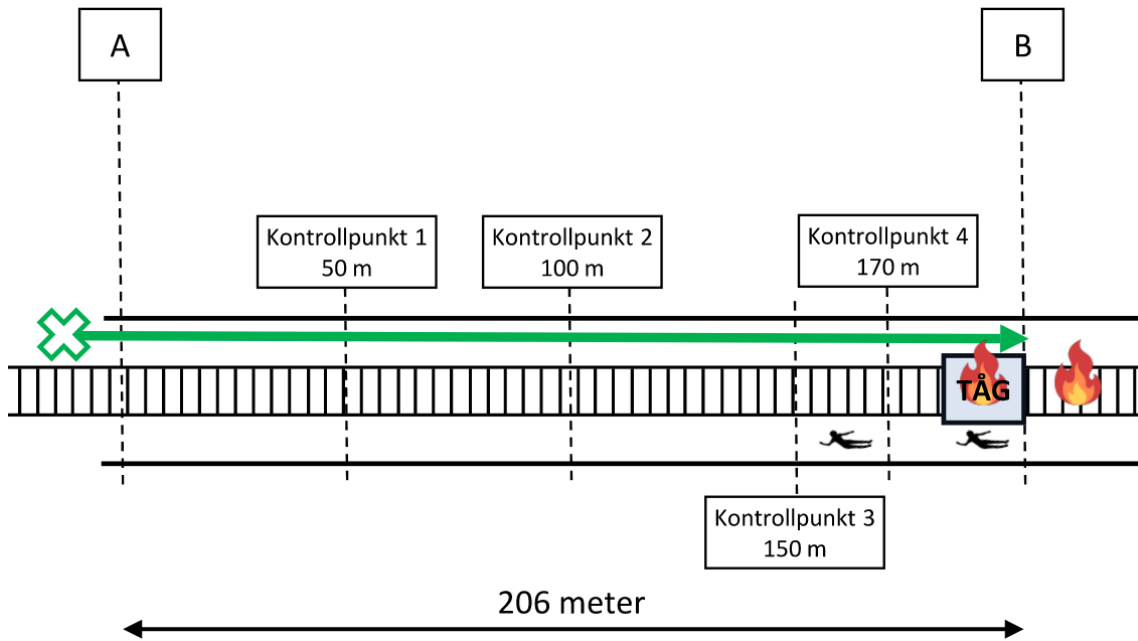
Innan försöken startade förberedde forskningspersonerna den egna skyddsutrustningen och detaljerade instruktioner om hur försöket skulle genomföras delgavs.

Vid försöken fanns en rökdykarledare med ansvar för informationen och kommunikationen till och från rökdykarna samt för insamlingen av observationer och data, samt en försöksledare med det övergripande ansvaret för rökdykarförsökens genomförande. Försöksledaren hade löpande kontakt med såväl observationsplatsen som tekniker och ansvariga för brandobjekt och branddynamik i tunneln.

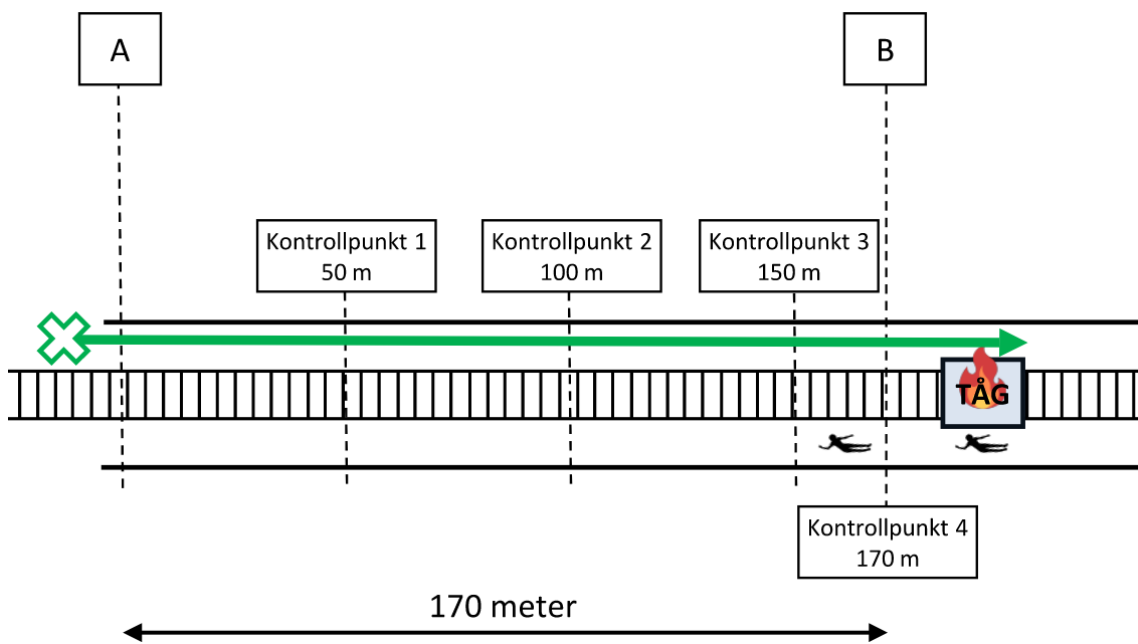
I samtliga delförsök utgjordes uppgiften av rekognosering och avsökning av tunneln fram till branden. Rökdykarna skulle också stanna vid ett antal kontrollpunkter inne i tunneln för avrapportering av ett antal parametrar till rökdykarledaren.

Inför respektive delförsök fick rökdykarparet en genomgång om målet med försöket, de ingående momenten samt vilka parametrar som skulle rapporteras vid respektive kontrollpunkt. Samtliga parametrar för rapportering efterfrågades av rökdykarledaren vid respektive kontrollpunkt.

Den totala försökssträckan var 206 meter vid delförsök 1, 3 och 5, och 170 meter vid delförsök 2, 4 och 6. Skillnaden berodde på att branden var större i delförsök 2, 4 och 6, vilket resulterade i högre temperaturer och därmed bedömdes kräva ett ökat säkerhetsavstånd till brandcontainern av säkerhetsskäl. Vid delförsök 1, 3 och 5 tilläts rökdykarna att avancera till brandcontainerns bortre ände, medan rökdykarna vid delförsök 2, 4 och 6 inte fick passera säkerhetsavspärningen som var placerad 30 meter från tågets främre ände. Försöksuppställningen vid respektive försök redovisas i Figur 6 och Figur 7.



Figur 6. Försöksuppställning Delförsök 1, 3 och 5.



Figur 7. Försöksuppställning Delförsök 2, 4 och 6.

Efter respektive delförsök besvarade de rökdykarpar som genomförde delförsöket en enkät om sina upplevelser under insatsen samt sina synpunkter på genomförandet. Vid slutet av varje försöksdag genomfördes även en gemensam debriefing, där rökdykarnas samlade erfarenheter från försöken dokumenterades.

## 3 Resultat

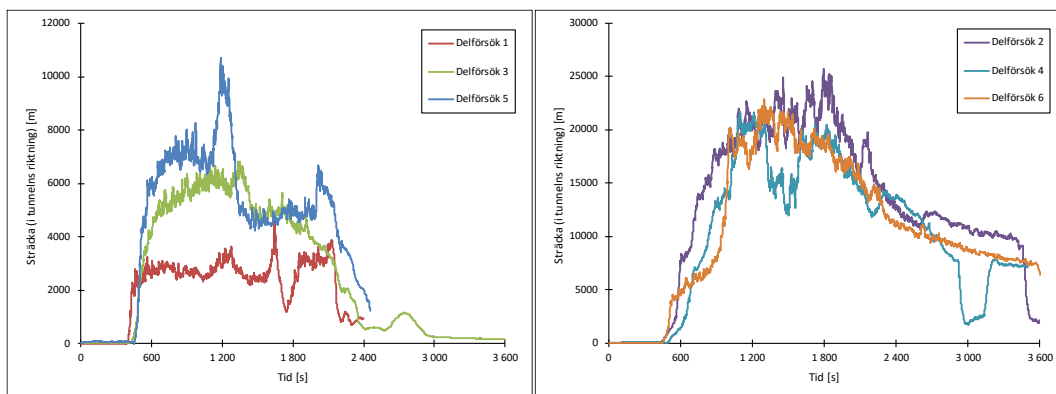
I detta kapitel presenteras resultat från de genomförda försöken.

### 3.1 Branden

#### 3.1.1 Brandeffekt

I Figur 8 redovisas brandeffekter över tid för samtliga delförsök. Delförsök 1, 3 och 5 med de lägre brandeffekterna redovisas separat från delförsök 2, 4 och 6, som innefattade den fullt utvecklade branden i brandcontainern.

Brandeffekterna varierar något över tid, vilket överensstämmer med de förhållanden som kan förväntas förekomma under en verklig brand. Parametrar som kan ha påverkat effekten under försöken är brandens spridning i och mellan träpallarna i brandcontainern, fläktens varvtal och vidare flöde till tunneln samt yttre förhållanden som exempelvis vindpåverkan. Eftersom huvudsyftet för försöken var aspekter kopplade till räddningstjänstens insats, kommenteras inte de bakomliggande orsakerna till brandeffektens variationer ytterligare. För djupare beskrivning och analys av de branddynamiska aspekterna vid försöken hänvisas till separat rapport [16].



Figur 8. Uppmätt brandeffekt under respektive försök [16].

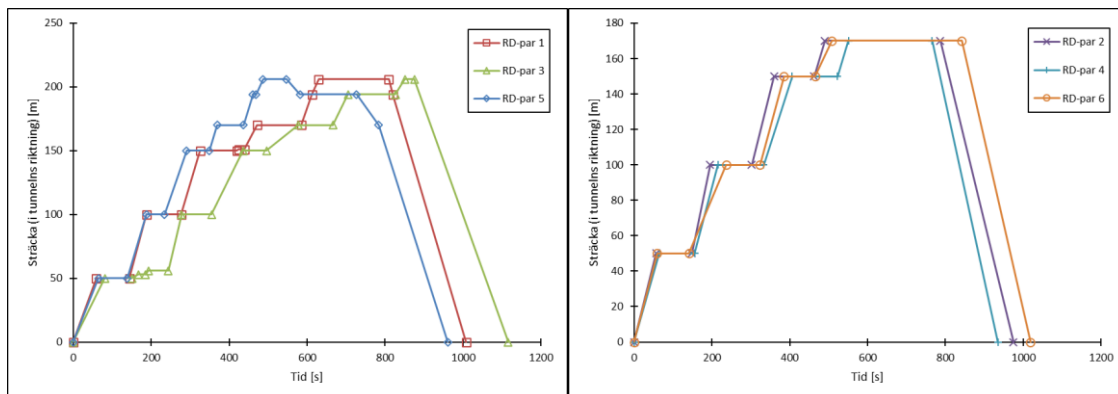
I Tabell 2 visas en jämförelse mellan beräknade och faktiskt uppmätta medelvärden för brandeffekter vid respektive delförsök samt mellan beräknad och faktisk förbrukad energi.

Tabell 2 Jämförelse mellan förväntade och faktiska brandeffekter och energiinnehåll.

Försök #	Brandeffekt, beräknad (inkl. mängdjusteringar)	Brandeffekt, uppmätt, medel	Energiinnehåll, beräknat	Energiinnehåll, faktiskt
	[MW]	[MW]	[MJ]	[MJ]
Delförsök 1	3,0	2,8	5 573	4 979
Delförsök 2	20,2	21,4	36 323	45 323
Delförsök 3	4,6	5,6	6 538	8 750
Delförsök 4	21,6	20,5	38 413	35 561
Delförsök 5	4,6	6,9	8 950	10 790
Delförsök 6	23,4	19,9	44 200	38 782

## 3.2 Avsökning och förflyttning

Förflyttningen i tunneln som funktion över tid redovisas i Figur 9. När rökdykarna var framme vid respektive kontrollpunkt stannade de och kommunicerade med rökdykarledaren. I figuren representeras detta med horisontella avsnitt.



Figur 9. Förflyttning i tunneln för respektive rökdykarpar.

I Tabell 3 visas den totala avsöknings- och förflyttningshastigheten fram till branden, samt förflyttningshastigheten vid återtag. Avsökningshastigheten inkluderar även tiden för stillastående, oberoende av om stoppet var planerat för exempelvis rapportering till rökdykarledaren eller inte. Anledningen är att viss kommunikation till rökdykarledaren alltid är nödvändig vid rökdykning och att förfarandet stämmer överens med verkliga förhållanden.

Tabell 3. Avsökning- och förflyttningshastighet [m/s] fram till branden, samt förflyttningshastighet [m/s] vid återtag för respektive rökdykarpar.

Rökdykarpar	Avsökningshastighet fram till branden [m/s]	Förflyttningshastighet fram till branden [m/s]	Förflyttningshastighet vid återtag [m/s]
RD-par 1	0,33	0,93	1,11
RD-par 2	0,35	0,92	0,98
RD-par 3	0,24	0,74	0,87
RD-par 4	0,31	0,77	1,01
RD-par 5	0,42	0,90	1,08
RD-par 6	0,33	0,83	1,01
Medel (SD)	0,33 (0,05)	0,85 (0,08)	1,01 (0,08)

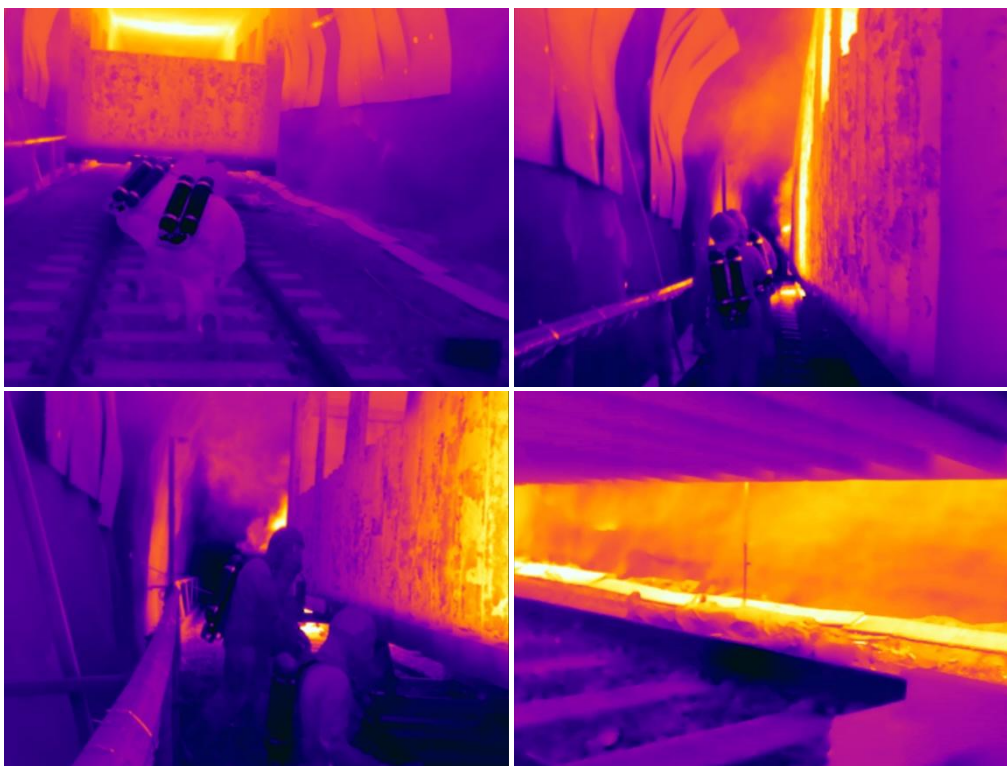
Medelhastigheterna för all förflyttning varierar endast marginellt mellan de olika rökdykarparen. Då tunneln var tom fram till brandcontainern påverkades inte förflyttningen nämnvärt av avsökningen, vilket skedde genom att med hjälp av värmekameran avsöka tunnelsträckan längs och tvärs tunnelriktningen. Rökdykarparet med högst avsökningshastighet (RD-par 5) lokaliserade inte räddningsdockan som var placerad på andra sidan rälen i den tomma delen av tunneln. Paret var dock inte snabbast avseende ren förflyttning, utan hade den kortaste tiden i stillastående. Missen bedöms därför snarare bero på en kombination av räddningsdockans låga värmesignatur och bristande uppmärksamhet, än på alltför snabb förflyttning. Räddningsdockans position relativt till passerande rökdykarpar visas i Figur 10.



Figur 10. Räddningsdockans placering (markerat med vit linje) i den tomma delen av tunneln.

När det gäller den räddningsdocka som var placerad på andra sidan av brandcontainern, hittades den av samtliga rökdykarpar. Rökdykarpar 1 gjorde dock detta först efter en uppmaning från rökdykarledaren. Videomaterialet från försöket visar att rökdykarparet

inte själva initierade en avsökning under brandcontainern, utan gick direkt till den sista kontrollpunkten. Metodik för avsökning vid brandcontainern visas i Figur 11.



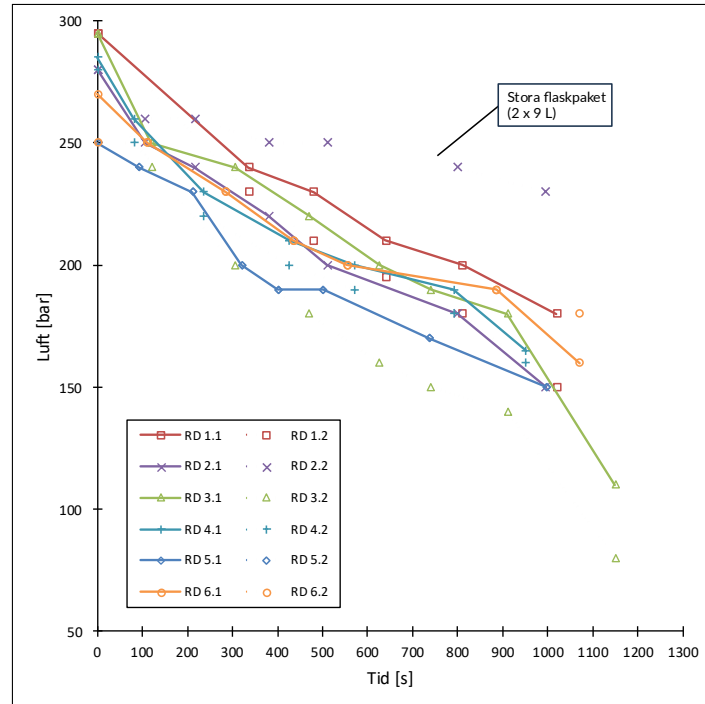
Figur 11. Avsökningsmetodik vid brandcontainer samt räddningsdockan på andra sidan av brandcontainern.

### 3.3 Luftförbrukning

Luftpaketens tryckminskning som funktion över tid redovisas i Figur 12. Trots att arbetsbelastningen var oförändrad kan viss variation i luftförbrukningen observeras för flertalet rökdykare. I genomsnitt förbrukade respektive rökdykare cirka 570 liter luft fram till branden, vilket motsvarar en tryckminskning om cirka 84 bar för de små flaskpaketen som, med undantag för rökdykare RD 2.2, användes vid försöken.

Tabell 4 visar luftförbrukningen i liter per minut och total luftförbrukning för respektive rökdykare. Rökdykare benämns i tabellen som RD X.Y, där X avser delförsökets nummer och Y avser rökdykare 1 eller 2.

Luftförbrukningen varierade stort mellan rökdykare, från 22,1 l/min vid återtag för rökdykare RD 6.2 till 79,9 l/min fram till branden för rökdykare RD 3.2. Eftersom belastningen var densamma under samtliga försök bör variationen bero på personernas individuella förutsättningar. Då de olika rökdykarparen använde olika lång tid för att genomföra försöken, finns det inget självklart samband mellan luftförbrukning per tidsenhet och den totala luftförbrukningen.



Figur 12. Luftförbrukning [bar] för respektive rökdykare.

Tabell 4. Luftförbrukning [l/min] och total luftförbrukning [l] för respektive rökdykare.

Rökdykare	Genomsnitt fram till branden [l/m]	Genomsnitt vid återtag [l/min]	Total luftförbrukning [l]
RD 1.1	54,2	38,9	782
RD 1.2	63,8	58,3	986
RD 2.1	64,0	62,8	884
RD 2.2	63,5	55,4	900
RD 3.1	57,9	- 1)	1258
RD 3.2	79,9	- 1)	1462
RD 4.1	60,8	63,8	816
RD 4.2	64,4	51,0	816
RD 5.1	48,9	31,5	680
RD 5.2	48,9	31,5	680
RD 6.1	51,6	66,2	748
RD 6.2	36,8	22,1	476
Medel (SD)	56,5 (10,6)	57,3 (27,6)	855 (260)

1) Ingen luftrapportering innan återtag varför luftförbrukning inte kan redovisas.

## 3.4 Temperatur

### 3.4.1 Temperatur i tak

I detta avsnitt redovisas en jämförelse mellan de temperaturer som uppmättes av rökdykarna med värmekamera och de temperaturer som på respektive kontrollpunkt uppmättes med termoelement placerade cirka 150 mm under tunneltaket. Avståndet till faktiskt berg kan variera något beroende på bergets ytråhet. Detaljerad information om termoelement, instrumentering och placering finns i separat rapport [16].

Vid temperaturmätningarna med värmekamera instruerades rökdykarna att mäta rakt upp från den plats där de befann sig vid kontrollpunkten, se exempel i Figur 13. Detta förfarande är inte typiskt för temperaturmätning med hjälp av en värmekamera under en verklig insats, men genomfördes på detta sätt för att säkerställa att mätningen utfördes på samma plats som termoelementet var placerat.



Figur 13. Temperaturmätning med värmekamera.

I Tabell 5–Tabell 9 redovisas temperaturerna för respektive kontrollpunkt. Vid samtliga mätningar med värmekamera var den uppmätta temperaturen lägre än den som termoelementet visade. Mätning med termoelement i brandgasskiktet är relativt sett en mycket exakt metod och avvikelsen mot verklig temperatur kan i detta temperaturintervall förväntas vara i spannet 1–10 °C.

Tabell 5. Uppmätta temperaturer vid kontrollpunkt 1.

Delförsök	Mätning i tak med värmekamera [°C]	Termoelement [°C]
Delförsök 1	20	26
Delförsök 2	51	100
Delförsök 3	25	45
Delförsök 4	90	130
Delförsök 5	36	48
Delförsök 6	50	73

Tabell 6. Uppmätta temperaturer vid kontrollpunkt 2.

Delförsök	Mätning i tak med värmekamera [°C]	Termoelement [°C]
Delförsök 1	24	39
Delförsök 2	78	155
Delförsök 3	35	58
Delförsök 4	120	164
Delförsök 5	40	59
Delförsök 6	95	154

Tabell 7. Uppmätta temperaturer vid kontrollpunkt 3.

Delförsök	Mätning i tak med värmekamera [°C]	Termoelement [°C]
Delförsök 1	25	45
Delförsök 2	133	231
Delförsök 3	48	75
Delförsök 4	150	198
Delförsök 5	60	78
Delförsök 6	150	225

Tabell 8. Uppmätta temperaturer vid kontrollpunkt 4.

Delförsök	Mätning i tak med värmekamera [°C]	Termoelement [°C]
Delförsök 1	28	52
Delförsök 2	157	285
Delförsök 3	50	78
Delförsök 4	150	280
Delförsök 5	66	95
Delförsök 6	200	325

Tabell 9. Uppmätta temperaturer vid tåg.

Delförsök	Mätning i tak med värmekamera [°C]	Termoelement [°C]
Delförsök 1	35	45
Delförsök 2	-	-
Delförsök 3	50	73
Delförsök 4	-	-
Delförsök 5	45	93
Delförsök 6	-	-

Temperaturskillnaden mellan värmekamera och termoelement varierade mellan 22 % och 52 %, och var i medeltal 36 %. För de aktuella mätningarna går det inte att se något tydligt samband den procentuella avvikelsen och de faktiska temperaturerna.

Skillnader i uppmätta temperaturer bedöms till större del bero på andra faktorer än de mättekniska skillnaderna mellan värmekamera och termoelement. En avgörande faktor kan vara vilken temperatur som värmekameran de facto mäter, brandgaslagret eller den bakomliggande bergväggen. Sannolikt har brandgasernas optiska tjocklek en stor betydelse, där värmekameran vid brandgaser med höga koncentrationer sot i högre omfattning mäter temperaturen i brandgaslagret, medan den vid tunna brandgaslager med låga koncentrationer sot mäter det bakomliggande bergets temperatur. Det finns idag få studier där fenomenet har studerats ur ett räddningstjänstperspektiv, som stöd för bedömningen om vilken ytas temperatur det är värmekameran visar.

### 3.4.2 Uppskattad temperatur

Vid kontrollpunkt 2 och 3 ombads rökdykarna att rapportera uppskattad temperatur i huvudhöjd, genom att ta av handsken och bedöma temperaturen med handen, se exempel i Figur 14. Vid dessa kontrollpunkter fanns även termoelement monterade 1,8 meter ovan mark, placerade på tunnelns södra sida.



Figur 14. Temperaturuppskattning.

I Tabell 10 redovisas en jämförelse mellan rapporterad uppskattad och uppmätt temperatur. Generellt överensstämde rökdykarnas uppskattade temperatur med den uppmätta.

Tabell 10. Upplevda och uppmätta temperaturer i huvudhöjd vid kontrollpunkt 2 och 3.

Delförsök	Kontrollpunkt 2 Uppskattad [°C]	Kontrollpunkt 2 Termoelement [°C]	Kontrollpunkt 3 Uppskattad [°C]	Kontrollpunkt 3 Termoelement [°C]
Delförsök 1	-	-	-	-
Delförsök 2	"varmare"	40	"varmare"	46
Delförsök 3	30–35	30	35	32
Delförsök 4	45	45	45–50	45
Delförsök 5	30	21	"svag värme"	28
Delförsök 6	"varmare"	40	-	44

### 3.5 Riskbedömning

Inför och under all rökdykning ska, i enlighet med gällande arbetsmiljöföreskrifter [11], en riskbedömning genomföras i syfte att inte utsätta rökdykarna för orimliga risker i förhållande till vad man förväntas kunna uppnå med insatsen. Vid brand eller risk för brand ska rökdykarna ha säker tillgång till släckvatten. Vid förflyttning och rekognosering i rökfylld tunnelmiljö utan brand eller risk för brand i rökdykarnas närmiljö, där förflyttning kan ske utan säker tillgång till släckvatten, är det av största vikt att löpande bedömningar om risker kan genomföras. Med risker avses såväl branddynamiska förändringar, närmandet till branden, som andra relevanta risker, exempelvis bergutfall. För att göra dessa bedömningar på ett tillförlitligt sätt krävs relevant och inövad metodik, teknikstöd och kompetens att tolka inhämtade data.

Under försöket ombads rökdykarna att vid kontrollpunkterna rapportera fysikaliska parametrar och löpande reflektera över hur dessa parametrar påverkade den egna

säkerheten. Den information som efterfrågades är till hög grad information som är till nytta och normalt rapporteras även under normala rökdykarinsatser, där säker tillgång till släckvatten finns. De parametrar som är av särskild vikt vid inträngning i tät brandrök men utan släckvatten, är framför allt kopplade till möjligheterna att avläsa temperaturer och temperaturförändringar inne i tunneln för att bedöma dels den värmestrålning rökdykarna kan utsättas för, dels risken för bergutfall. Då rökdykarna kan förflytta sig längre sträckor vid inträngning i tät brandrök utan samtidig slanguppbyggnad, utgör också information om kvarvarande luft en viktig parameter för att kunna bedöma rökdykarnas möjlighet till återtåg.

Rökdykarna ansåg utan undantag att de frågor som ställdes av rökdykarledaren var konkreta och lätta att besvara. De efterfrågade parametrarna gav också goda förutsättningar att löpande bedöma eventuella risker i tunneln under insatsen.

Gällande temperaturmätningarna med värmekamera uppgav dock några rökdykare att temperaturerna fluktuerade och att det fanns viss osäkerhet med den temperatur som uppmättes. Om värmekameran vid de aktuella fallen visade brandgastemperaturen kan temperaturväxlingarna sannolikt förklaras med brandgasernas rörelser i tunneln påverkats av brandintensitet och turbulens orsakad av fläkten. Vid skiftande optisk tjocklek hos brandgaserna kan också värmekameran skiftat mellan att mäta temperaturen i brandgaserna och temperaturen på det bakomliggande berget.

## 3.6 Upplevd trygghet

Förflyttning i tät brandrök utan säker tillgång till släckvatten är för många räddningstjänster inte ett känt koncept och frångår de rutiner som används vid rökdykning i byggnader. Även vid insatser i tunnlar med obrännbara ytskikt byggs inte sällan ett slangsystem upp parallellt med den initiala förflyttningen.

Fyra av tolv forskningspersoner hade tidigare erfarenhet av inträngning i tät brandrök utan säkert vatten, genom att aktuell räddningstjänst arbetar med motsvarande koncept, dock i gruvmiljö. Dessa rökdykare är således vana att öva och verka i denna typ av miljö utan samtidig slanguppbyggnad. Övriga åtta forskningspersoner hade begränsad erfarenhet från ett insatskoncept som innebär förflyttning utan säkert vatten. Innan försöken fanns en klar skillnad mellan grupperna avseende förväntad trygghetskänsla under insatsen, medan skillnaden var mycket små efter att försöken genomförts.

Förutsättningarna i tunneln, i kombination med att rökdykarna hade varsin värmekamera, resulterade i att samtliga rökdykare kände trygghet i förflyttningen. Sikten längs LED-slingan var god i hela försökssträckans längd och alla rökdykare ansåg att förflyttningen bredvid den belysta handledaren inte utgjorde någon utmaning, då handledarens belysning även gav tillräcklig ljusstyrka i marknivå. LED-slingan gav också god vägledning och orientering i tunneln. Genom att rökdykarna hela tiden, även i den rökfyllda miljön längre in i tunneln, kunde se och följa handledaren kände rökdykarna en trygghet i att kunna följa LED-slingan ut vid reträtt. De flesta rökdykarna ansåg inte att värmekameran var nödvändig för själva förflyttningen eftersom LED-slingan gav tillräcklig vägledning i rökdykarnas omedelbara närhet. Dock kände samtliga rökdykare en trygghet i att ha en egen värmekamera för löpande riskbedömning.

Rökdykarna upplevde också en ökad trygghet i det systematiska sättet att efterfråga relevant information om säkerhetsrelaterade parametrar i tunneln och att tid gavs för informationsinhämtning.

Ingen av rökdykarna uppgav att de kände otrygghet i att röra sig i tunneln, varken vid den mindre eller större branden. Samtidigt som flera av rökdykarna uppgav att förflyttningen hade kunnat genomföras fortare om behov funnits, ansåg de att de bedömningarna vid kontrollpunkterna, av framför allt temperatur och värmestrålning, skulle vara värdefulla och trygghetsskapande i ett verkligt scenario.

## 4 Diskussion och slutsats

De tidigare försöken genomförda i kall rök [15] påvisade ett behov av att ytterligare utreda upplevd trygghet vid förflyttning vid verklig brand utan samtidig slanguppgagnad, samt möjligheterna till riskbedömning under verkliga förhållanden. De aktuella fullskaliga försöken i en verklig spårtunnel med brand i en tåg-mockup efterliknade verkliga förhållanden i tillräcklig omfattning. Aktuell försökssträcka om cirka 194 meter representerar väl de förhållanden där insats kan genomföras via tvärtunnel från parallellt tunnelrör, medan försökssträckan inte lika väl efterliknar förhållandena vid en spårtunnel där insats endast är möjlig från respektive tunnelmyning. Dock representerar försöken förhållandena nära brandplatsen väl även i detta fall då förflyttning längre bort från branden förväntas ske i kall rök. Bedömning av risker är generellt viktigare ju närmare branden rökdykarna befinner sig. Detta innebär att försöken ur ett riskbedömningsperspektiv avseende temperaturer samt bedömningar inför beslut om fortsatt förflyttning närmare branden är representativa även för längre tunnlar. Vid insatser som innebär förflyttning långa sträckor i rökfyllda miljöer finns dock andra säkerhetsaspekter att beakta och det är av större relevans att exempelvis luftförbrukning och beräknad kvarvarande aktionstid ytterligare övervakas.

Avsökningshastigheterna, det vill säga tid för förflyttning inklusive avsökning och rapportering, var i medeltal cirka 0,3 m/s vid dessa försök, vilket är lägre än den avsökningshastighet om 0,5–0,6 m/s som uppmättes under de tidigare försöken [15] i Citybanan med kall rök. Vid de nu genomförda försöken med verklig brand var dock de försöksrelaterade uppgifterna för rapportering mer omfattande, vilket har påverkat avsökningshastigheten. Vid jämförelse av de rena förflyttningshastigheterna, där tid för stillastående vid rapportering tagits bort, är skillnaderna mellan försöken i kall rök och vid verklig brand försumbara. I båda fallen har förflyttning skett med stöd av kontinuerlig LED-belysning i tunnelns riktning samt handhållen värmekamera. De genomförda försöken såväl i kall som verklig rök visar på en effektiv förflyttning vid rökdykning längs en kontinuerlig LED-belysning, som ursprungligen är avsedd för utrymmande.

Vid de aktuella försöken övervakades rökdykarnas luftförbrukning genom manuell rapportering. Liksom vid tidigare försök [1, 3, 15] varierade de individuella förbrukningsmängderna trots likvärdig aktivitet och ansträngningsgrad, vilket stödjer tidigare slutsatser om att luftförbrukningen till stor del också beror på fysiologiska faktorer. Skillnader i luftförbrukning mellan individer har inte vidare studerats inom ramen för detta projekt.

Om luftförbrukningen vid dessa försök, innefattande förflyttning, avsökning och rapportering fram till branden, jämförs med motsvarande arbetsmoment innefattande slangdragning och släckning vid försöken i Tistbrottet i TMU-projektet [3, 7] visar de aktuella försöken en betydligt lägre medelluftförbrukning. Vid försöken i Tistbrottet med slangdragning och släckning förbrukades i medeltal 74,8 liter/min med en standardavvikelse om 14,8 liter/min, medan medelluftförbrukningen vid förflyttning och avsökning fram till branden under de aktuella försöken var 56,6 liter/min med en standardavvikelse om 10,6 liter/min. Detta innebär att rökdykarna både snabbare kan avsöka längre sträckor samtidigt som den lägre luftförbrukningen också möjliggör en längre aktionstid. Dock behöver individuella skillnader i luftförbrukningen övervakas och omhändertas under rökdykarinsatsens genomförande så att återtaget säkras även för rökdykare med en högre individuell luftförbrukning.

Under försöken fluktuerade mängden brandgaser och därmed även sikten såväl mellan olika försök, som under ett och samma försök. Bränderna vid försöken efterliknar dock verkliga förhållanden där branden sprids inom ett brandobjekt och därmed ger en viss skillnad i rökutveckling över tid. Vid försöken har också fläkten och eventuell yttre vind påverkat lufthastigheten och röktätheten i tunneln.

Ett av huvudsyftena med försöken med verklig brand var att undersöka om rökdykarna med tillräcklig precision kan uppskatta förhållandena i tunneln med hjälp av värmekamera och andra observationer, så att en tillförlitlig riskbedömning kan genomföras. Vid försöken fanns det avsevärda skillnader mellan de temperaturer som uppmättes med termoelement och de temperaturer som värmekameran visade. Det är oklart om värmekameran visade brandgasernas eller det bakomliggande bergytans temperatur. Då en av de största riskerna vid förflyttning i rökfyllda tunnlar är bergutfall i de områden där berget påverkats av höga temperaturer behöver inte det faktum att värmekameran visat bergets temperatur utgöra en onyttig uppgift, dock är det av stor vikt ur ett riskperspektiv att veta vilken temperatur det är som uppmäts.

Vid försöken fick också rökdykarna uppgiften att själva uppskatta temperaturen i huvudhöjd, vilket med förvånansvärd precision överensstämde med de uppmätta värdena. Då antalet rökdykare vid försöken var lågt kan dock inga långtgående slutsatser från detta dras.

Innan, under och efter försöken lades ett stort fokus på rökdykarnas känsla av trygghet vid förflyttning i en rökfylld tunnel utan tillgång till släckvatten. Innan försöken fanns stora skillnader mellan de rökdykare som i sin vardag arbetat med liknande koncept i gruvmiljöer och de rökdykare som enbart rökdykt i tunnelmiljö, i skarpa insatser eller vid övning, med konventionella metoder och samtidig slanguppyggnad. Rökdykarna med erfarenheter från gruvmiljö tyckte att försökssträckan var kort och inte skulle utgöra några som helst problem, medan rökdykarna utan erfarenhet var osäkra på hur det skulle kännas att förflytta sig fram mot en verklig brand i en rökfylld tunnel utan vatten. Efter de genomförda försöken var skillnaderna i trygghetskänslan mycket små och även rökdykare utan tidigare erfarenhet av konceptet ansåg att längre sträckor skulle vara fullt möjliga att avsöka utan tillgång till säkert vatten.

Avslutningsvis är det dock viktigt att påpeka att riskerna i brandens närområde inte ska underskattas och att det är av yttersta vikt att rökdykarna löpande kan genomföra riskbedömningar för att säkerställa den egna säkerheten samt att förflyttning inte sker in i zoner där oacceptabla risker föreligger.

## 5 Framtida forskning och utveckling

De genomförda försöken visar på goda möjligheter på avsökning i rökfyllda tunnelmiljöer utan tillgång till säkert vatten, där risk för brand inte föreligger. Dock visar resultaten på osäkerheter avseende värmekamerans visade temperaturer. Det finns därför ett behov av att fortsatt studera värmekamerans användning i dessa miljöer samt utreda vilka temperaturer som värmekameran visar. Nedan listas några aktiviteter som bör genomföras för att ytterligare skapa säkrare förutsättningar vid rökdykning i tunnelmiljö.

- Genomförande av studie avseende värmekamerans egenskaper och användning i rökfylld miljö med bakomliggande berg eller tunneltak i betong.
- Framtagande av specifikt utbildningsmaterial för räddningstjänsten avseende riskbedömning och tolkning av värmekamerans bild.
- Studier kring hur individuella skillnader i luftförbrukning påverkar den totala insatsen vid långa eller extremt långa inträngningsvägar.
- Studier och eventuella försök avseende användning av konceptet i längre spårtunnlar och i andra miljöer men med liknande förhållanden.
- Framtagande av riskbedömningsmodell för andra storlekar av bränder i spårtunnlar.

## 6 Referenser

- [1] Ingason, H., Kumm, M., Nilsson, D., Lönnermark, A., Claesson, A., Li, Y.Z., ... Palm, A., The Metro Project - Final Report. SiST 2012:8. 2012.
- [2] Ingason, H., A. Lönnermark, och Y.Z. Li, Runehamar Tunnel Fire Tests. SP Report 2011:55. 2011.
- [3] Kumm, M., Palm, A., Palmkvist, K., Lönnermark, A. och Ingason, H., Räddningsinsats i tunnelmiljö: Fullskaleförsök i Tistbrottet, Sala. SiST 2014:1. 2014.
- [4] Hansen, R. och Ingason, I., Full-scale fire experiments with mining vehicles in an underground mine. SiST 2013:2. 2013.
- [5] Rohlén, P. & Wahlström, B., Tunnelbaneolyckan i Baku, Azerbajjan 28 oktober, 1995. P22-133/96. 1996.
- [6] Ingason, H., Lönnermark, A., Frantzich, H. och Kumm, M., Fire incidents during construction work of tunnels. SP Report 2010:83. 2010.
- [7] Palm, A., Kumm, M., Storm, A. och Lönnermark, A., Breathing air consumption during different firefighting methods in underground mining environment, Fire safety journal, vol. 133, 2022.
- [8] Kumm, M., Räddningsinsatser i kärntekniska anläggningar under mark: En kunskapsöversikt inför byggandet av ett svenskt slutförvar för använt kärnbränsle. SiST 2013:4. 2013.
- [9] Kumm, M. och Palm A., The fire and rescue services moving speed in underground mass transport systems. SiST 2012:03. 2012.
- [10] AFS 2007:7, Arbetsmiljöverkets föreskrifter om rök- och kemdykning.
- [11] Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2023:13) om risker vid vissa typer av arbeten.
- [12] Skellefteå kommun, Räddningstjänsten, Ansökan om dispens från §12 AFS 2007:7 Rök- och kemdykning i särskilda fall. Dnr 820.2014.00867. 2015.
- [13] Kumm, M., Storm, A., Ingason, H. och Hådel, P., Räddningsinsatser med och utan säker tillgång till släckvatten i spårtunnlar. RISE Rapport 2022:39. 2022.
- [14] Östlund, H., Ostlänken, Projektövergripande, Järna–Linköping, PM Insatskoncept – drifttiden. OLPO-17-025-00000-0\_0-6601, version 4. 2019.
- [15] Storm, A. och Kumm, M., Räddningsinsatser i långa spårtunnlar. RISE Rapport 2023:41. 2023.
- [16] Ingason, H. och Westlund, Ö., Brandförsök i Brunsbergstunnel 2025. TUSC Rapport 2025:06. 2026.
- [17] MariMils Oy, MILS® Stripe System, MILS.117.05 Tunnel Stripe. Technical data sheet.
- [18] Trafikverket, TRVINFRA-00151 Belysning i järnvägsmiljö. 2020.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB  
Box 857, 501 15 BORÅS  
Telefon: 010-516 50 00  
E-post: [info@ri.se](mailto:info@ri.se), Internet: [www.ri.se](http://www.ri.se)

Samhällssäkerhet  
RISE Rapport 2026:40  
ISBN: 978-91-90-109-69-4