



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

Taktik och Metodik vid brand i Undermarks- anläggningar (TMU)

FORSKNING

MSB:s kontaktpersoner:
Sara Brunnberg, 0771-2404087

Publikationsnummer MSB 847-2015
ISBN 978-91-7383-567-1

Förord

Rapporten sammanfattar resultaten från ett forskningsprojekt finansierad av MSB (Myndigheten för Samhällsbyggnad och Beredskap). Projektet heter **Taktik och metodik vid brand i undermarksanläggningar** (TMU) och genomfördes under perioden 2012 – 2014. Kontaktpersoner från MSB under projektets genomförande var Sören Lundström och senare Rickard Hansen. Författarna vill rikta ett stort tack till dem för deras stöd, engagemang och goda råd. Vi vill även tacka Thomas Askemur, Björka Mineral AB som har stöttat projektet genom att möjliggöra användning av delar av gruvan Tistbrottet i Sala (Tistgruvan) för de fullskaliga försöken. Ett stort tack även till Dick Forsberg, Räddningstjänsten Sala-Heby för all hjälp med logistik kring genomförande av försöken i Tistbrottet i Sala och till brandingenjör Per Rohlén för alla värdefulla bilder under projektets gång. Dessa personer har haft stor betydelse för att projektet blev så lyckat som det verkligen blev. Vi vill även tacka all räddningstjänstpersonal från Sala, Borås och Stockholm som outtröttligt genomförde alla delmoment och bidrog med idéer, kunskap och tid.

Vi vill också tacka deltagarna i den referensgrupp som har varit knuten till projektet:

Arne Brodin	Faveo Projektledning AB
Ulf Lundström	Trafikverket
Marie Skogsberg	Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB)
Johan Sydqvist	Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB)
Rolf Åkerstedt	SL
Johan Lundin	WSP
Stefan Svensson	Lunds Tekniska Högskola (tidigare vid MSB)
Per Rohlén	Brandingenjör
Kjell Hasselrot	BBM Fireconsulting
Olof Paulin Hansson	Länsstyrelsen Stockholm
Lars-Erik Jonason	Arbetsmiljöverket
Emma Nordwall	Räddningstjänsten Skåne Nordväst

Innehållsförteckning

1. Inledning	8
1.1 Bakgrund	8
1.2 Syfte och mål.....	8
1.3 Projektet	9
2. Metod	10
2.1 AP2	10
2.2 AP3	11
2.3 AP4	11
2.4 AP5	11
2.5 AP6	12
3. Resultat och diskussion	13
4. Slutsatser och rekommendationer	15
5. Referenser, rapporter och artiklar	16

Sammanfattning

Projektet har tydligt påvisat svårigheten med räddningsinsatser i undermarksanläggningar men det visar också samtidigt på olika lösningar till flera av problemen. Det regelverk som har styrt utvecklingen är i hög grad AFS 2007:07 vilken kräver att rökdykarna skall ha tillgång till säker vattenförsörjning. Ett av huvudproblemen med insatser i undermarksanläggningar är de långa avstånden och svårigheten med att nå nödställda och brandplats inom godtagbar tid. Enligt AFS:en definieras rökdykning som inträngning i tät brandrök i syfte att rädda liv eller släcka branden. Arbetsmiljöverket, som har deltagit i projektets referensgrupp, har aktivt medverkat i diskussioner gällande hur regelverket kan utformas för att tillåta förflyttning och rekognosering i vissa tunnelmiljöer, utan tillgång till säkert vatten. Diskussioner har också förts hur utökade riskbedömningar, liknande det system som återfinns i AFS 2010:16 Dykeriarbete, kan ligga till grund för val av säkerhetshöjande åtgärder för att bättre möta de aktuella riskerna.

Projektet har också visat att räddningstjänsten ytterligare behöver utvecklas mot fördjupad insatsplanering, i samverkan med anläggningsägaren, för att på bästa sätt uppnå ökad säkerhet för både den egna personalen och för tredje man. Planering, förberedelse och övning är en förutsättning för en effektiv räddningsinsats i dessa komplexa objekt.

Eftersom insatser i undermarksanläggningar oftast innebär långa inträngningsvägar blir luftförbrukningen snabbt en kritisk faktor för resultatet av räddningsinsatsen. Det finns olika traditioner kring tekniker när det gäller försörjning av andningsluft vid rökdykning. På kontinenten i Europa och i länder såsom Danmark är det vanligt att man använder sig av s.k. re-breathers (syrgas) som ger en extra lång aktionstid, medan räddningstjänsten nationellt använder komprimerad luft. Med re-cirkulerande syrgasapparater kan det röra sig om upp till fyra timmars aktionstid, medan den traditionella utrustningen med komprimerad luft har kortare aktionstid, ca 20-40 minuter beroende på luftpaketets storlek. En av de största enskilda riskerna i en undermarksanläggning är därför att få slut på luft och därför kan långa system med slangdragning i vissa lägen begränsa möjligheterna att avancera in i tunneln. Slangen utgör dock en möjlighet till hänvisning ut ur anläggningen och ger i den aspekten en ökad säkerhet. De inom projektet genomförda försöken visar dock att en lyslina, för att effektivt hitta vägen tillbaka ut till det fria är ett gott alternativ i rökfylld miljö.

Genom att använda syrgas så kan man förlänga rökdykarnas aktionstid, dock innebär användning av syrgasutrustning att möjligheterna till räddningsluft begränsas. Luftstopp kan bero på flera orsaker, exempelvis fel på utrustningen, att beräknad luftförbrukning för reträtten missbedöms eller att rökdykarna

kommer vilse. Varje vald metod kräver dock en separat riskbedömning och säker vattenförsörjning kan många gånger bara nödvändig.

I detta sammanhang bör nämnas att risken för övertändning är betydligt lägre i en undermarksanläggning med obrännbara ytskikt jämfört med en lägenhet eller annan typ av byggnad där brandgaserna lätt kan antända brännbart material i rökdykarnas reträttväg. Övertändning eller övertändningsliknande fenomen kan dock ske lokalt i eller vid exempelvis fordon inne i en tunnel. Om själva släckmomentet skall genomföras krävs dock naturligtvis tillgång till erforderlig vattenförsörjning.

Projektet har även visat att en ytterligare faktor att beakta är risk för spjälkning eller ras, där man inom räddningstjänsten inte alltid har tillräckligt kunskap om vad det är som händer vid värmepåkänning eller när vatten påförs på uppvärmda bergsväggar.

Inom ramen för projektet har ett antal fullskaliga förflyttnings- och brandförsök genomförts. Förflyttningshastigheter och kopplingstider för olika traditionella angreppssätt vid brand under mark har provats och uppmätts i en verklig undermarksmiljö. De traditionella metoderna har jämförts med nya och mer oprövade metoder för undermarksmiljö såsom CAFS, skärsläckare och transportvagn. Inne i tunneln fanns en fullskalig brand i en container på 18 MW och i vissa fall upp till 33 MW. Träpallar placerades i en stålcontainer med fönsteröppningar för att simulera en brand i en tågagn. Branden var placerad 180 m från mynningen till tunneln. Instrumentering för att mäta brandeffekt, gastemperaturer och strålning användes nära branden. Genom dessa mätningar har effekten av använda släckmetoder kunnat mätas.

Försöken visade att slangutläggningen fram till branden var det enskilt svåraste arbetsmomenten men viss inlärningseffekt uppnåddes i takt med att försöken genomfördes. Bårselen visade sig underlätta bärmomentet och samtidigt ge fria händer till andra uppgifter.

Försöken visade också att kommunikationen stördes av ljud från den mobila fläkten som användes vid försöken. Värmekamera var ett nödvändigt verktyg vid räddningsinsatsen men kräver utbildning av den personal som skall använda utrustningen, för att användning och tolkning av bilddata skall ske effektivt. Ytterligare visade försöken att tre rökdykargrupper var mycket effektivare än två rökdykargrupper vid förflyttning av stora mängder utrustning, baserat på jämförelse med tidigare utförda försök. Det kan finnas andra kompletterande metoder för snabb informationsinhämtning i många fall, såsom en rekognosceringstrupp som undersöker vägen fram till branden och om säkert och möjligt kan göra en första insats. Detta kräver dock att dagens arbetsmiljöföreskrifter förändras.

Anläggningsägare och räddningstjänsten har klara ambitioner att ha hög brandsäkerhet i undermarksanläggningar men i många fall är det oklart vilken ansvarsfördelning som råder. Räddningstjänsten kan vara osäker på vad som förväntas av dem, men också på den egna förmågan i den aktuella anläggningen.

I komplexa system som exempelvis tunnelbanan är övning väsentligt för en lyckad räddningsinsats i händelse av brand. Anläggningsägaren förväntas själv hantera sina risker och organisatoriskt och tekniskt trygga en säker utrymning, medan räddningstjänsten har ansvar för att i sitt geografiska område bistå med hjälp när det den enskildes egna förmåga inte längre räcker. Vid en mindre olycka ska anläggningens utformning, säkerhetsutrustning och organisation klara att hantera händelsen själva och ett mindre tillbud ska inte leda till stora konsekvenser eller accelererande förlopp.

Det är tydligt att man måste vara proaktiv men det kräver tydlighet och en ansvarsfördelning som är i förväg bestämd. Det har visat sig viktigt att arbeta med dimensionerande skadehändelser, för att underlätta förberedelse och övning. En viktig fråga för räddningstjänsten är att upprätthålla medarbetarnas kompetens att hantera de sällanhändelser som kan få stora konsekvenser när de ändå inträffar. Övning är en nödvändighet men det kan vara svårt att få tillgång att öva i undermarksanläggningar eftersom de ibland är svåra att stänga av från trafik eller annan verksamhet. Detta kan lösas genom att utnyttja de tillfällen då undermarksanläggningen ändå måste stängas av, för exempel underhåll. Ett annat alternativ är att göra orienteringsövning med hjälp av 3D-ritningar och simulera inträffade händelser.

Förutom ovan nämnda erfarenheter kan följande lärdomar dras från projektet gällande att genomföra brandsläckningsmoment i en undermarksanläggning:

- Förberedelse är en förutsättning
- Den fysiska ansträngningen kan vara hög vilket återspeglas i luftförbrukningen
- Luftförbrukningen varierar kraftigt mellan individer
- Totala insatstiden bestäms till stor del av de olika arbetsmoment som genomförs (t.ex. koppla ihop slang) och inte enbart av förflyttningshastigheten
- Ledning av rökdykarna krävs också inne i tunneln
- Värmekameror behöver bli bättre anpassade till denna typ av miljö
- Brandsläckningsmomentet visar att alternativa metoder kräver rökdykare som är utbildade och övade att använda de metoderna
- Rasrisken måste beaktas
- Användandet av mobila fläktar är ett bra instrument för att styra röken och förbättra sikten men det kan uppstå problem med kommunikation på grund av höga ljudnivåer.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

En räddningsinsats i en undermarksanläggning är en mycket komplicerad process. Den kräver optimering av resurser, personal och organisation. Utan en välutbildad och kompetent insatspersonal med tillräckliga resurser är det svårt att genomföra en lyckad insats. Den svåraste och kanske viktigaste delen är att ledningsorganisationen genom rätt taktiskt tänkande, förståelse för olyckans karaktär, förståelse för personalens och den tekniska utrustningens kapacitet och möjligheter, kan utföra sin uppgift på bästa möjliga sätt. Det kräver utbildning och träning av alla inblandade. Detta gäller först och främst räddningsledning, personer i beslutsfattande ställning och insatspersonalen men även de anställda som arbetar i trafikledningscentraler eller som olyckplatsansvariga hos anläggningsägaren.

Problemnivån för räddningsinsatser i undermarksanläggningar kan variera beroende på den enskilda räddningstjänstens förmåga och komplexiteten i den anläggning där insatsen ska genomföras. Beroende på var branden inträffar i anläggningen eller vilken typ av fordon som brinner kan förutsättningarna för räddningsinsatsen vara annorlunda mellan de olika händelserna. Detta faktum gör att behovet för stöd till riskbedömning och vägledning för beslut är stort. Olika anläggningar kräver olika lösningar beroende på geografisk lokalisering och den enskilda räddningstjänstens kapacitet. Det MSB finansierade forskningsprojektet Taktik och Metod vid brand i Undermarksanläggningar (TMU) har i tre år studerat och forskat kring dessa frågor. TMU projektet är ett samarbetsprojekt mellan SP Fire Research, Mälardalens Högskola, Lunds Tekniska Högskola och räddningstjänsterna i Borås (SÄRF), Stockholm (SSBF) och Sala-Heby. Resultaten presenteras i projektets sammanfattningsrapport [1].

1.2 Syfte och mål

Avsikten med projektet var att tillmötesgå Statens Haverikommission (SHK) påpekande att ta fram riktlinjer inte bara när det gäller tunnelbana, utan för flertalet typer av undermarksanläggningar. Det framkommer i de rekommendationer som SHK har gett till MSB efter branden på Rinkeby tunnelbanestation [2]. Rapporten påtalar behovet av bättre riktlinjer och utbildning vilket är en klar markering. Målet med TMU-projektet var att utveckla taktik och metodik för att underlätta räddningsinsatser i undermarksanläggningar. Det gäller först och främst spårtunnlar, vägtunnlar, tunnelbana och bilgarage under mark.

Syftet är att tydligt belysa hur kommunens räddningstjänst kan planera och dimensionera så att räddningsinsatsen kan påbörjas inom godtagbar tid och genomföras på ett effektivt sätt. Projektet behandlar taktik och metoder gällande både räddningstjänst i storstadsregioner och i mindre kommuner med

deltidskår. Såväl centrala myndigheter, räddningstjänster, anläggningsägare och lärosäten kommer att ha nytta av resultaten. Syftet med projektet är att utveckla förbättrade metoder, nytt utbildningsmaterial för räddnings- och högskolor och bidra till säkrare samt effektivare insatser till nytta för räddningspersonal och nödställda personer. Utbildningsmaterialet kommer också med fördel att kunna användas i räddningstjänsternas egen vidareutbildning av redan aktiva brandmän och ingenjörer. En av uppgifterna i TMU projektet var att ta fram vägledning eller rekommendationer för insatser i olika typer anläggningar.

Huvudsyftet med projektet är därför att ge rekommendationer till myndigheter, räddningstjänst och projektörer angående hur en räddningsinsats ska kunna genomföras på ett effektivt sätt i en undermarksanläggning samtidigt som de totala riskerna minskas.

1.3 Projektet

Projektet har genomförts i olika arbetspaket (AP), som vidare beskrivs i kapitel 2. Vissa arbetspaket har genomförts parallellt främst för att effektivisera arbetsprocessen.

Resultaten från projektet kan sammanfattas i följande punkter:

1. Förbättrade och nya taktiska metoder för att underlätta räddningsinsatser i undermarksanläggningar.
2. Ett helhetskoncept som kan appliceras på olika undermarksanläggningar.
3. Ett utbildningspaket för kommunala räddningstjänster, högskolor, universitet, räddningsskolorna, anläggningsägare och trafikledningspersonal.
4. Ett datorstött verktyg för insatsplanering.
5. Vetenskapligt genomförda experiment och implementering av resultaten.
6. Ett underlag till MSB för att uppfylla de rekommendationer som Statens Haverikommission har påpekat i sin rapport i samband med tågbranden på Rinkeby tunnelbanestation.

2. Metod

TMU-projektet var indelat i sex olika arbetspaket vilka hade olika inriktningar som presenteras översiktligt i detta kapitel:

- AP 1 – Projektledning (kommer inte kommenteras vidare i denna rapport)
- AP 2 – Fullskaleförsök i undermarksmiljö
- AP 3 – Planeringsverktyg, TUFT
- AP 4 – Organisation, taktik och ledning
- AP 5 – Utbildningsmaterial
- AP 6 – Rekommendationer

Arbetspaketen följer en logisk och kronologisk ordning av arbetets olika delar. I princip har följande arbetsflöde hållits genom projektet; delförsök → planeringsverktyg → organisation → utbildning → rekommendationer. Första arbetspaketet är AP1 och berör projektledning, vilket inte vidare presenteras i denna sammanfattning. En kort beskrivning av varje arbetspaket följer nedan. En mer detaljerad beskrivning för varje arbetspaket ges i sammanställningsrapporten [1].



Figur 1 Förberedelse för en insats i en rökfylld tunnelmiljö i Tistbrottet, Sala 2013.
Foto Per Rohlén

2.1 AP2

I detta arbetspaket har försök gällande förflyttningshastigheter, inverkan av olika typer av räddningstjänstutrustning och räddningstjänstens möjligheter och begränsningar genomförts [3-5]. Försöken har fokuserat på att se vilka parametrar som är begränsande i olika situationer; de personella resurserna eller den utrustning som används. Fokus har varit på kombinationen av förflyttning fram till brandplatsen och själva släckmomentet. Försöken genomfördes i samarbete med de deltagande räddningstjänsterna och dokumenterades med IR-teknik, övervakning av radiosamband och

observationer av viktiga poster och moment. I arbetspaket har ny detaljkunskap om förflyttningshastigheter, strålningspåverkan, räddningstekniska hjälpmedel som taktisk resurs och underlag för metodval och riskbedömning erhållits. Försökupplägg och resultat presenteras i försöksrapporten [3]. I Figur 1 visas förberedelse till insats i ett av försöken i Tistbrottet i Sala 2013.

2.2 AP3

Som stöd vid planeringen av räddningsinsatser vid olika anläggningar har en simuleringsmodell för utrymning och räddningsinsats utvecklats för beslutsfattare. Simuleringsmodellen har fått benämningen TuFT (Tunnel Fire Tools) [7, 8] och bygger på att användaren ger indata för bl a tunnels egenskaper, brandförloppet i tunneln samt egenskaper för personerna som ska utrymma och för räddningspersonalen som ska göra en insats.

Simuleringsmodellen, som kan användas på en vanlig persondator, är främst tänkt att användas för att beskriva vilka möjligheter räddningstjänsten har att ta sig in till branden under de olika förutsättningarna. Programmet innehåller även en utrymningsdel som kan användas för att göra en konsekvensanalys av utrymningen av tågpassagerare eller bilister i en tunnel. Den största nyttan med denna typ av verktyg är vid planeringen av insatser, vid utbildning av insatspersonal och för projektering av stora komplexa undermarksanläggningar. Underlaget för utvecklingen av verktyget kommer från de försök som genomfördes i AP2 samt från information framtagen i tidigare projekt.

2.3 AP4

I detta arbetspaket har man knutit ihop de olika delarna som tagits fram i AP2 och AP3 och vidare analyserat resultaten avseende betydelsen för räddningsledarens beslutsfattande. Resultaten beskrivs i referens [9]. En struktur som tar hänsyn till organisation, taktiktänkande och ledning har tagits fram. Erfarenheter från det forskningsarbete som har genomförts i Sverige tidigare har studerats och inarbetats i den framtagna strukturen. Resultatet från denna del kommer att kunna vidareutvecklas och utgöra underlag för vidare implementering i RIB.

2.4 AP5

I detta arbetspaket har utbildningsmaterial för räddningstjänstpersonal tagits fram [11]. Materialet består dels av de rapporter och artiklar som genererats i projektet, dels ett samlat kursprogram som även bygger på tidigare producerade skrifter och kunskap från i andra forskningsprojekt. För hantering av värmekamera i undermarksmiljö har ett nytt utbildningsmaterial tagits fram, då ett sådant tidigare saknats. Det bygger på stor del på den information som presenteras i rapport [6]. Utbildningsmaterialet ger även instruktioner kring hur olika praktiska övningar för användning av värmekamera i undermarksanläggningar kan utformas. PM och lärarhandledningar tillhörande utbildningsmaterialet har utvecklats. Utbildningsmaterialet kommer att kunna användas för kurser på olika nivåer; allt från grundutbildning av brandmän på kursen Räddningsinsats och SMO, vidareutbildning på RÄL B och

C, till utbildning för ingenjörer på RUB och övrig utbildning på akademisk nivå. Materialet avsett för högre utbildning grundar sig på mer teoretiska resonemang medan materialet avsett för brandmannautbildningen har en mer praktisk inriktning. Även anläggningsägare, tunneloperatörer och exempelvis trafikledare ska kunna dra nytta av delar av utbildningsmaterialet.

2.5 AP6

Den sista delen i projektet fokuserar på att ta fram rekommendationer för taktik, metodik och utrustning i samband med räddningsinsatser i undermarksanläggningar [10]. Bakgrunden till det är behovet att förse MSB med underlag för att uppfylla de rekommendationer som Statens Haverikommission har påpekat i sin rapport i samband med tågbranden på Rinkeby tunnelbanestation. Rekommendationerna är baserade på det arbete som har genomförts inom såväl TMU-projektet som tidigare genomförda forskningsprojekt och är anpassade och utökade för att även gälla andra typer av anläggningar.

3. Resultat och diskussion

Projektet ger resultat som MSB i sin utbildningsverksamhet och som rådgivande experter inom området kan använda. Även Länsstyrelser genom sin roll som tillsynsmyndighet, Arbetsmiljöverket gällande arbetsmiljöfrågor vid rökdykarinsatser, anläggningsägare vid arbetet med systematiskt brandskyddsarbete, räddningstjänster genom sin direkta roll vid en olycka och högskolor och universitet vid sin utbildning av ingenjörer kan dra nytta av resultaten. Övriga aktörer som kan ha nytta av resultaten är projektörer av stora anläggningar, polis och ambulanspersonal, forskare inom brand- och tunnelområdet och media som bevakar en olycka. Figur 2 visar förberedelserna inför ett av försöken i Tistbrottet 2013.



Figur 2 En insats i en undermarksanläggning kräver stora resurser.
Foto Anders Lönnermark

Projektet har genererat många nya forskningsrön, viktig ny kunskap för räddningstjänsten och rekommendationer inom området räddningsinsatser i undermarksanläggningar. Räddningsinsatser under mark är en komplex och svår uppgift för de flesta räddningstjänster och projektets resultat har påvisat svårigheterna, men samtidigt också bidragit till kunskap och information som kan lösa en del av problemen. Trots omfattande resurser och bra förberedelser bland dem som deltog i försöken, var resultatet inte alltid vad som förväntades innan försökens början. Tiden är en avgörande faktor för vilken brandsituation räddningstjänsten kan förväntas att möta. Brandens utveckling behöver ställas i relation till kapaciteten den aktuella räddningsstyrkan har att tillgå för räddningsinsatsen. Struktur och planering är ytterst viktig. I de försök som har genomförts har beprövade konventionella metoder provats och jämförts med alternativa metoder att nå fram till och släcka branden. Det finns dock

ytterligare metoder som potentiellt skulle kunna fungera i den miljö som avses, men inom ramen för försöksserien har naturligtvis inte samtliga kunnat testas. De som provades gav dock tydliga och klara indikationer om vad som gäller vid räddningsinsatser i den aktuella testmiljön. Det tog mellan ca 12 – 30 minuter att nå fram till brandkällan som var placerad 180 m från mynningen. Inga hinder i form av nödställda personer fanns på vägen och som i ett verkligt fall hade påverkat insatspersonalens förflyttning mot brandplatsen. Därför får dessa tider ses som optimala och anger den undre gränsen för hur snabbt en liknande räddningsinsats kan genomföras. Storleken och typen av brandobjekt som användes vid försöken motsvarar en mindre lastbil som brinner eller en tågagn som brinner i ett tidigt skede.

Försöken har givit värdefull information kring gånghastigheter, kring slangutläggning och tider för olika arbetsmoment i samband med förflyttning, kring inverkan av stödutrustning som IR-kameror eller transportvagnar men även andra typer av alternativ släckutrustning. De mätningar som gjordes kommer att vara till stor nytta vid framtida diskussioner kring räddningsinsatser i undermarksanläggningar. Den typen av anläggning som användes vid försöken kan anses representera både vägtunnel, järnvägstunnel, tunnelbana, gruvor och tunnlar under byggnation. Den data som har samlats in har varit till direkt nytta vid framtagandet av det planeringsverktyg som har fått namnet TuFT, och som kan simulera en endimensionell brandmiljö med långsgående luftflöde. Verktöget kommer att vara till nytta för såväl projektörer som forskare. TuFT är enkelt att använda, ger rimliga resultat och har en stor utvecklingspotential.

Rapporten om taktik och ledning vid brand under mark [9] ger räddningstjänsten ett gott diskussionsunderlag och förslag på strukturer som kan implementeras i den egna verksamheten. Den poängterar tydligt att en av de stora skillnaderna mellan insatser ovan och under mark är att det är svårare att få en överblick över skadeplatsen under mark. På grund av detta och att det är svårt att flytta redan insatta resurser bör informationsinhämtning vara prioriterat. Projektgruppen har resonerat kring att en rekogniseringsstyrka (rökdykargrupp) kan vara lösningen för en effektivare rökdykarinsats, baserat på de filmupptagningar och observationer som gjorts under försöken, men detta behöver utredas vidare. Från fullskaleförsöken kan lärdomar gällande de brandsläckande momenten sammanfattas i att traditionella strålrör har en mycket god släckeffekt. Alternativa system, exempelvis CAFS, med mindre vattenpåföringsmängder, kan behöva kompletteras med mer traditionella metoder för att förhindra återantändning, trots att CAFS-systemet visade god initial släckeffekt. Lätt utrustning underlättar förflyttning men det som bäst optimerar rökdykarinsatsen är att förenkla själva arbetsmomenten. Luftförbrukningen och den fysiska uthålligheten påverkar i stor utsträckning den samlade förmågan till rökdykning i komplexa miljöer.

4. Slutsatser och rekommendationer

Projektet har tydligt visat svårigheten med räddningsinsatser i undermarksanläggningar. De huvudsakliga problemen vid en räddningsinsats är långa avstånd, den begränsade tillgången på andningsluft och svårigheter med att nå fram i tid, orientering i en komplex och okänd miljö och att skapa en helhetsbild över olyckan. Projektet visar dock på olika lösningar till flera av problemen:

- Vid räddningsinsatser i undermarksanläggningar med obrännbara ytskikt, där angreppsvägen riskerar att överstiga 100 meter, är slanguppbyggnad så tidskrävande att räddningsinsatser i praktiken omöjliggörs. Föreskriftstexten i AFS 2007:7 bör ändras så att rekstyrkor tillåts och att alternativa metoder som främjar räddningsinsatsens syfte, men samtidigt åstadkommer ett godtagbart skydd för rökdykarna, tillåts. Rådtexten bör kompletteras med utökad stöd för riskbedömning i denna typ av anläggningar, så att beslut lättare kan tas baserat på riskbilden och där rökdykarnas säkerhet står i fokus,
- De tar lång tid att bygga upp ett slangsystem för att säkra tillgången till vatten för rökdykarna. Behovet att ha med sig vatten in i en undermarksanläggning för självskydd är dock mindre än vid en brand ovan mark och därför kan andra taktiska beslut övervägas, exempelvis gällande rekognoseringsgrupper, givet att säkerheten ändå uppfylls och ev. kompletteringar i regelverket utreds,
- Lyslina kan vara ett bra hjälpmedel vid rekognosering och för att hjälpa nödställda samt insatspersonal att hitta ut,
- Det bästa sättet att förkorta insatstiden är att förenkla arbetsmomenten (t.ex. koppla ihop slangar),
- Luftförbrukning är en kritisk faktor och därför kan användning av syrgas istället för komprimerad luft vid rökdykning vara ett komplement för att avsevärt förlänga aktionstiden,
- Organisation av rökdykarnas arbete är mer komplex och bör vara föremål för mer övning och förberedelse än ovan mark,
- Användande av bärsele för att transportera slang in i tunneln kan underlätta transport av utrustning och förflyttning,
- Värmekamera är nödvändigt för att kunna utföra en räddningsinsats i rökfylld miljö, men det krävs utbildning i handhavande och tolkning av bilder för att full nytta av värmekameran ska uppnås,
- Fläktar är ett bra instrument för att styra röken, men det kan uppstå problem med kommunikation på grund av höga ljudnivåer,
- Övning och orientering är nödvändigt för att i händelse av brand genomföra en säker och effektiv räddningsinsats,

5. Referenser, rapporter och artiklar

1. Ingason, H., Vylund, L., Lönnermark, A., Kumm, M., Fridolf, K., Frantzich, H., Palm, A., and Palmkvist, K., "Taktik och Metodik vid brand i Undermarksanläggningar (TMU) - Sammanfattningsrapport", SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP Rapport 2015:17, 2015.
2. Statens Haverikommission, "Brand i tunneltåg vid Rinkeby station", Rapport RJ 2009:10, Dnr J-06/05, 2005.
3. Kumm, M., Palm, A., Palmkvist, K., Lönnermark, A., and Ingason, H., "Räddningsinsats i tunnelmiljö - Fullskaleförsök i Tistbrottet, Sala", Mälardalens Högskola, SiST 2014:1, 2014.
4. Palm, A., Kumm, M., and Ingason, H., "Full-scale tests of alternative methods for firefighting in underground structures", In *Sixth International Symposium on Tunnel Safety and Security*, Marseille, France, 2014.
5. Palm, A., Kumm, M., and Ingason, H., "FULL SCALE FIREFIGHTING TESTS IN THE TISTBROTTET MINE", *Fire Technology*, 2015.
6. Kumm, M., Palmkvist, K., and Palm, A., "Värmekamera vid brand under mark- ett utbildningsmaterial för räddningstjänsten", SiST 2014:3, 2014.
7. Fridolf, K., and Frantzich, H., "TuFT: Tunnel Fire Tools - Teknisk dokumentation", Lunds Universitet, Report 3184, 2014.
8. Fridolf, K., and Frantzich, H., "Fire Protection of Underground Transportation Systems: A Decision Support Tool for Designers and Rescue Services", 10th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, Gold Coast, Queensland, 2014.
9. Palm, A., "Taktik och ledning vid brand under mark", Mälardalens Högskola, SiST 2014:2, 2014.
10. Lönnermark, A., Vylund, L., Ingason, H., Palm, A., Krister Palmkvist, Kumm, M., Frantzich, H., and Fridolf, K., "Rekommendationer för räddningsinsatser i undermarksanläggningar", SP Technical Research Institute of Sweden, SP Report 2015:19, 2015.
11. Utbildningsmaterial för kurs i "Taktik och metodik vid brand under mark" - en webbaserad distansutbildning för instruktörer inom räddningstjänsten avsedd för lärplattformen Fronter och vidare material till räddningstjänstintern utbildning inom den egna organisationen.
 Block 1 - Introduktion till brand i tunnel (PPT, övningsuppgifter)
 Block 2 - Brandförlopp vid brand under mark (PPT, övningsuppgifter, instuderingsfrågor)
 Block 3 - Spjälkning och bergsäkerhet (PPT, övningsuppgifter)
 Block 4 - Räddningstjänstens förflyttning och metodval (PPT, övningsuppgifter, inl. uppgift)
 Block 5 - Ventilation i tunnel (PPT, övningsuppgifter, instuderingsfrågor)
 Block 6 - Brandsläckning under mark (PPT, övningsuppgifter, inl. uppgift)
 Block 7 - Värmekamera som taktisk resurs (PPT, övningsuppgifter, inl. uppgift)
 Block 8 - Insatsplanering och planeringsverktyget TuFT (PPT, övningsuppgifter, instuderingsfrågor)
 -Duggor och slutprov
 -Lärarhandledning för vidare utbildning av den egna personalen

