



Belysning som stöd vid räddningsinsats i rökfylld tunnel

Mia Kumm, Artur Storm

RISE Rapport 2020:97

Belysning som stöd vid räddningsinsats i rökfylld tunnel

Mia Kumm, Artur Storm

Abstract

Lighting as support for fire and rescue operations in a smoke-filled tunnel

This report presents a series of full-scale movement experiments conducted in the Masthamn tunnel in Stockholm to investigate how different lighting fixtures affect the BA-firefighters' moving speed in smoke-filled tunnel environment. Four professional firefighters performed 14 tests under different lighting conditions: no lighting (reference tests), point source lighting at 24 m distance, point source lighting at 8 m distance, and continuous LED lighting. The tests were conducted in artificial smoke with visibility below 3 m and without the use of flashlights or thermal imaging cameras. Movement was documented using thermal imaging, while breathing air consumption was measured using telemetry and manual air pressure readings.

The results show that lighting configuration had a clear influence on moving speed. Continuous LED lighting and 8 m point source lighting enabled substantially higher movement speeds than the 24 m point source lighting or the reference tests with no lighting. The presence of a handrail also improved orientation and moving speed, even in the absence of active lighting. Air consumption varied more between individual firefighters than between the different tests, although stretcher transport resulted as expected in generally higher air consumption. The findings indicate that continuous evacuation lighting can improve not only evacuation conditions but also the operational capability of BA-firefighting in smoke-filled tunnel environments.

Key words: Fire and rescue operations, lighting conditions, tunnels, moving speed

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2020:97

ISBN: 978-91-90109-93-9

Västerås 2020

Innehåll

Abstract	1
Innehåll	2
Förord	3
Sammanfattning	4
1 Inledning	5
1.1 Syfte och mål	5
1.2 Metod.....	5
1.3 Avgränsningar	6
2 Försöksförutsättningar	6
2.1 Försöksplats.....	6
2.2 Belysning och sikt.....	7
2.3 Datainsamling	8
2.4 Försökspersoner	10
2.5 Räddningstjänstens utrustning	10
2.6 Genomförande.....	10
3 Resultat	11
3.1 Förflyttning.....	11
3.2 Luftförbrukning.....	13
4 Diskussion och slutsats	15
5 Framtida forskning	16
6 Referenser	17

Förord

Arbetets om redovisas i denna arbetsrapport har finansierats av TUSC Tunnel and Underground Safety Center. TUSC är en kompetensplattform som är administrativt placerad vid RISE och gemensamt finansierad av RISE, Trafikverket, Fortifikationsverket, SKB och GRAMKO.

Författarna vill tacka Trafikkontoret, Stockholms Stad för lånet av Masthamnstunneln samt stöd under försökens genomförande. Författarna vill också tacka Mälardalens Brand- och Räddningsförbund (MBR) för deltagande och lån av utrustning samt Per Hådel, RISE, för stöd vid planering inför och videofilmning med värmekamera under försökens genomförande. Slutligen vill författarna också tacka Anders Palm, Storstockholms brandförsvaret, för observatörsinsatser och goda diskussioner.

Sammanfattning

Inom ramen för projektet *Räddningsinsatser med och utan säker tillgång till släckvatten i spårtunnlar* genomfördes en försöksserie i Masthamnstunneln i Stockholm. Syftet var att undersöka hur belysning avsedd som stöd vid utrymning påverkar räddningstjänstens förflyttningshastighet i rökfylld tunnelmiljö. Försöken genomfördes med fyra yrkesverksamma rökdykare från Mälardalens Brand- och Räddningsförbund. Totalt genomfördes 14 delförsök med olika belysningsförhållanden: släckt belysning, gles punktbelysning, tät punktbelysning och kontinuerlig LED-belysning. Vissa delförsök genomfördes även med transport av bår belastad med räddningsdocka.

Försöken genomfördes i en rökfylld tunnel med sikt understigande 3 meter. Rökdykarna använde ordinarie skyddsutrustning och andningsskydd, men fick inte använda ficklampa eller värmekamera som stöd vid förflyttningen. Datainsamlingen omfattade bland annat IR-dokumentation av förflyttning, mätning av luftförbrukning via telemetri, observationer samt enkäter efter respektive delförsök.

Resultaten visar att belysningens utformning hade betydelse för rökdykarnas förflyttningshastighet. Vid släckt belysning och utan stöd av handledare var medelhastigheten låg. När rökdykarna kunde använda handledare som orienteringsstöd ökade hastigheten markant, även utan tänd belysning. Med tänd belysning ökade förflyttningshastigheten ytterligare. Med gles punktbelysning uppmättes en lägre medelhastighet än med tät punktbelysning och kontinuerlig LED-belysning. Skillnaden visar att både belysningstyp och avstånd mellan ljuskällor har betydelse för räddningstjänstens möjlighet att orientera sig och förflytta sig effektivt i rökfylld miljö.

Kontinuerlig LED-belysning gav höga förflyttningshastigheter och gav ett mer sammanhängande visuellt stöd än punktbelysning. Resultaten ligger därmed i linje med tidigare erfarenheter från försök där lyslina använts som stöd vid förflyttning. Försöken visar också att belysning som primärt installeras för att stödja utrymning även kan bidra positivt till räddningstjänstens insatsmöjligheter.

Luftförbrukningen varierade mer mellan enskilda rökdykare än mellan olika delförsök. Belastande moment, såsom transport av bår med räddningsdocka, medförde dock som förväntat generellt högre luftförbrukning. Sammantaget visar försöken att kontinuerlig belysning längs en tunnelsträcka kan förbättra räddningstjänstens förutsättningar för snabb och säker förflyttning i rökfylld miljö.

1 Inledning

Inom ramen för projektet *Räddningsinsatser med och utan säker tillgång till släckvatten i spårtunnlar*, finansierat via kompetensplattformen TUSC Tunnel and Underground Safety Center, genomfördes en serie av försök i Masthamnstunneln i Stockholm i oktober 2019. Resultaten från dessa försök redovisas i denna arbetsrapport. Försöken genomfördes i samverkan med de utrymningsförsök avseende belysning som stöd för utrymning, som redovisas i rapporten *Belysning som stöd vid utrymning av rökfylld tunnel* [1].

Vid räddningsinsatser i spårtunnelmiljöer kan förflyttning behöva ske långa sträckor i rökfylld miljö. På stora delar av en sådan sträcka kan miljöer förväntas förekomma där risk för brand inte föreligger och tillgång till säkerställd vattenförsörjning vid förflyttning inte krävs i enlighet med AFS 2007:7 [2]. I nyare spårtunnlar finns belyst gångbana för utrymning. Belysningen kan utgöras av punktbelysning på maximalt 30 meters avstånd i enlighet med TDOK 2015:0166 [3] eller, i modernare spårtunnlar, en kontinuerlig ljusslinga i enlighet med förslaget till TRVINFRA-00151 [4]. Även om gångbana och belysning är avsedd att i första hand stödja utrymning kommer dessa också att bidra till räddningstjänstens möjligheter till förflyttning i den rökfyllda miljön.

För att jämföra förflyttningshastigheter vid olika ljusförhållanden genomfördes systematiska försök med räddningstjänstpersonal, som vid försökens genomförande enbart använde belysningen som stöd vid förflyttning.

1.1 Syfte och mål

Syftet med de genomförda försöken var att utreda i vilken omfattning belysning avsedd för utrymning påverkar räddningstjänstens förflyttningshastighet i rökfylld tunnelmiljö. Mätningar av luftförbrukning under försöken gjordes i syfte att skapa referensvärden i en miljö med goda markförhållanden och utan lutning. Målsättningen var att skapa beslutsunderlag för infrastrukturägare vid val av belysning samt skapa stödjande underlag för insatsplanering i spårtunnelmiljö.

1.2 Metod

Försöken genomfördes som en planerad övning med fyra rökdykare från Mälardalens Brand och Räddningsförbund (MBR) som samtliga genomförde alla delförsök. Totalt genomfördes 14 delförsök. Vid försöken dokumenterades rökdykarnas förflyttning av observatörer placerade vid start- och slutpunkt samt av försökspersonal som kontinuerligt följde och filmade rökdykarnas förflyttning med värmekamera. Längs försökssträckan fanns värmekuddar utplacerade med 10 meters inbördes avstånd för att kunna observera eventuella variationer i förflyttningshastighet mellan sektioner med olika ljusstyrkor i de fall punktbelysning användes.

Rökdykarnas luftförbrukning mättes genom ryggplattor med telemetriutrustning kopplad till andningsluften. Rökdykarna rapporterade också status på lufttrycket vid start- och vid stoppunkt.

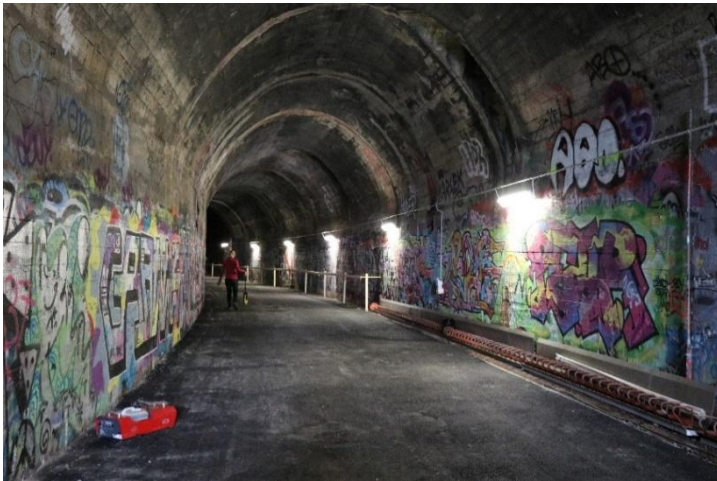
1.3 Avgränsningar

Försöken genomfördes utan stödjande utrustning och tekniska hjälpmedel som ficklampa och värmekamera, för att fokusera på belysningens påverkan på rökdykarnas förflyttningshastighet. Försöken innefattade inte rekognosering eller andra vid rökdykning förekommande moment, utan enbart förflyttning.

2 Försöksförutsättningar

2.1 Försöksplats

Försöken genomfördes i Masthamnstunneln i Stockholm. Tunneln förbinder Norra Hammarbyhamnen i söder med Masthamnen i norr. Tunneln har tidigare använts som spårförbindelse mellan stambanan och Masthamnen. Vägbanan är numera asfalterad och rälen borttagen. Tunneln är ca 180 m lång utan lutning, 5,6 m hög och 5,9 m bred. Tunneln svänger lätt till vänster sett från tunnelns södra mynning. Ytskiktet i tunneln består av betong på halva sträckan och rå-berg på resterande del, se även Figur 1 och 2.



Figur 1. Försökstunneln, sett från den södra tunnelmynningen.



Figur 2. Försökstunneln. Bild tagen i mitten av tunneln i riktning mot den norra tunnelmynningen. Till höger är provisorisk handledare monterad.

2.2 Belysning och sikt

Under försöken var tunneln rökfylld i hela dess längd och tvärsnitt med konstgjord rök. Rökvätskan som användes var av typen Rökvätska Trainer Heavy. Sikten understeg 3 meter under samtliga försök. Sikten bedömdes genom att två personer ställde sig mitt emot varandra och kontrollerade om de såg varandra på ett avstånd om 1, 2 och 3 meter.

Då förflyttningsförsöken med räddningstjänsten genomfördes i samband med de försök som utfördes inom projektet om belysning som stöd vid utrymning användes samma ljusuppsättning vid båda försöksserierna. För beslut om val av ljusarmaturer och avstånd se utrymningsrapporten [1].

Belysningen var monterad längs tunnelns nordöstra sida. Belysningen var monterad på en provisorisk handledare placerad på en höjd av 1 meter. Belysningsarmaturerna utgjordes av såväl punktbelysning, se Figur 3, som kontinuerlig LED-slinga, se Figur 4, som individuellt kunde tändas och släckas för respektive delförsök.

För punktbelysningen varierade belysningsstyrkan i rökfri miljö från 10 lux i golvnivå direkt under armaturen till nära noll på avståndet 4 meter från belysningsarmaturen mätt i golvnivå på avståndet 0,5 meter ut från handledaren. I rökfylld miljö var i stället belysningsstyrkan direkt under armaturen i golvnivå 7 lux, medan belysningsstyrkan var nära noll redan på 2,5 meters avstånd i tunnelns längsled.

LED-slingans belysningsstyrka varierade mellan 10 lux på avståndet 0,5 meter från handledaren och 7,1 lux på 1 meters avstånd i rökfri miljö och mellan 7 lux direkt under armaturen till 2,2 lux på 1 meters avstånd från handledaren i rökfylld miljö. Belysningsarmaturerna i rökfylld miljö visas i Figur 5.



Figur 3. Punktbelysningen som användes under försöken.



Figur 4. Den kontinuerliga LED-slingad som användes under försöken.



Figur 5. Belysningsarmaturer i rökfylld miljö. Under respektive delförsök var endast en typ av armatur tänd.

2.3 Datainsamling

Rökdykarnas förflyttning under respektive delförsök dokumenterades med en värmekamera Flir K55 genom att försökspersonal följde rökdykarna och filmade deras förflyttning. Längs försökssträckan fanns värmekuddar utlagda på 10 meters avstånd, se Figur 6 och Figur 7, i syfte att i filmmaterialet kunna se när rökdykarna passerade respektive punkt.



Figur 6. Värmekuddar placerade på 10 m avstånd längs försökssträckan.

Rökdykarnas puls mättes kontinuerligt med pulssensorer Polar H10 och luftförbrukningen mättes genom Interspiro telemetriutrustning kopplad till rökdykarnas andningsskydd. Pulsmätningarna har inte hanterats vidare i denna rapport, utan mättes för att senare kunna göra jämförelser med tidigare utförda försök avseende luftförbrukning vid olika ansträngningsnivåer.

Luftförbrukningen rapporterades även manuellt till de observatörer som var placerade vid försökssträckans start och slut. Observatörerna hade också till uppgift att anteckna och rapportera eventuella avvikelser och iakttagelser i rökdykarnas förflyttning samt anteckna tiden för försökens start och slut.

Efter respektive delförsök gavs rökdykarna enkäter med frågor rörande sikt, ljusförhållanden och förflyttningsstrategier. Efter att enkäterna fylldes i genomfördes en gemensam diskussion och debriefing.



Figur 7. Värmekuddar synliga med värmekamera.

2.4 Försökspersoner

Försökspersoner utgjordes av fyra yrkesverksamma rökdykare från MBR. Rökdykarnas ålder varierade från 26 till 32 år och deras erfarenhet av operativ räddningstjänst från 3 till 5 år. Samtliga rökdykare var män.

2.5 Räddningstjänstens utrustning

Under försöken bar rökdykarna ordinarie skyddsutrustning i form av larmställ, stövlar, hjälm och brandhandskar. Samtliga rökdykare använde andningsskydd av typen Interspiro med luftflaskor Spirolite 2 x 3,4 L och bärställ Spiroguide II.

Under försöken fick rökdykarna inte använda värmekamera eller ficklampa för att likvärdigt kunna bedöma belysningens påverkan på förflyttningshastigheten.

2.6 Genomförande

Försöken planerades att bestå av 18 delförsök, dock genomfördes endast 14 delförsök på grund av tidsbrist varvid de viktigaste försöken prioriterades. Då preliminära resultat tydligt visade att LED-belysning bättre stödde räddningstjänstens förflyttning än punktbelysning genomfördes inte de planerade försöken med bår och punktbelysning (delförsök 14, 15 och 18). Upprepning av referensförsök med förflyttning i mörker (delförsök 13) i syfte att bedöma eventuella inlärningseffekter genomfördes inte. Försöksomgångarnas nummer förändrades inte även om vissa delförsök tagits bort, för att inte missförstånd skulle uppstå då försöksserierna tidigare hade beskrivits och kommunicerats i sin helhet.

I samtliga delförsök förflyttade sig rökdykarna från en ände av tunneln till den andra. Detta innebär att delförsök genomfördes först från södra till norra mynningen med belysning på höger sida i rökdykarnas rörelseriktning och nästkommande försök genomfördes tillbaka till den södra mynningen med belysningen på vänster sida i rökdykarnas rörelseriktning.

Antalet rökdykare som samtidigt förflyttade sig i tunneln varierades mellan delförsöken enligt nedan.

1. En rökdykare i taget (1)
2. Ett rökdykarpar i taget (1+1)
3. Två rökdykarpar tillsammans (2+2)

Rökdykarna förflyttade sig vid fyra olika ljusförhållanden:

- 1) Släckt belysning
- 2) Med gles punktbelysning (24 m avstånd mellan två ljuskällor)
- 3) Med tät punktbelysning (8 m avstånd mellan två ljuskällor)
- 4) Med kontinuerlig LED-belysning

Vid ankomst tilldelades rökdykarna varsin beteckning (Röd 1, Röd 2, Blå 1 och Blå 2) som de behöll under hela försöksserien.

Inför det första delförsöket gavs instruktioner för delförsök 1–12. Inför delförsök 16 kompletterades dessa för delförsök 16 och 17.

De olika delförsöken sammanfattas i tabell 1 nedan:

Tabell 1. Sammanställning av delförsök.

Delförsök #	Belysning	Uppställning
1	Släckt belysning	1
2	Gles punktbelysning (24 m)	1
3	Tät punktbelysning (8 m)	1
4	LED-slinga	1
5	LED-slinga	1
6	Tät punktbelysning (8 m)	1
7	Gles punktbelysning (24 m)	1
8	Släckt belysning	1
9	Släckt belysning	2+2
10	Gles punktbelysning (24 m)	2+2
11	Tät punktbelysning (8 m)	2+2
12	LED-slinga	2+2
16	LED-slinga	2+2, med bår
17	Släckt belysning	2+2, med bår

3 Resultat

3.1 Förflyttning

Stillbilder av rökdykarnas förflyttning visas i Figur 8 och deras förflyttningshastighet under respektive delförsök redovisas i Tabell 2.

Försöken med släckt belysning genomfördes som referensförsök och representerar inte ett realistiskt scenario då vare sig ficklampa eller värmekamera användes som stöd vid förflyttningen. Referensförsöken (delförsök 1 och 9) genomfördes med förflyttning längs tunnelns västra sida där handledare inte fanns monterad och rökdykarna istället följde bergväggen, där väggen längs halva sträckan utgjordes av gjuten betong och resterande av rå-berg med stor ytråhet och mindre inbuktningar. I ett referensförsök (delförsök 8) skedde i stället förflyttningen längs handledaren och där rökdykarnas förflyttning skedde med stöd av handledaren men utan belysning.

Förflyttningshastigheten var i medeltal 0,46 m/s (standardavvikelse $SD=0,07$) när rökdykarna förflyttade sig enskilt, medan förflyttningshastigheten när alla rökdykare förflyttade sig gemensamt var 0,87 m/s. Före detta delförsök med gemensam förflyttning hade dock rökdykarna redan genomfört de förflyttningsförsök som innefattade tänd

belysning vilket innebär att rökdykarna vid det tillfälle hade viss kännedom om tunnelns utformning och geometri.



Figur 8. Rökdykarnas förflyttning vid olika uppställning samt med bår.

I delförsök 8 tilläts rökdykarna att gå längs handledaren. Filmmaterialet visade att samtliga rökdykare använde handledaren för orientering genom att lägga handen på och följa denna. Förflyttningshastigheten ökade här markant och var i medeltal 1,42 m/s.

I delförsök där belysningen var tänd har vid jämförelsen inte någon skillnad gjorts mellan om rökdykarna rört sig enskilt, i par eller i grupp. Förflyttningshastigheten var i medeltal 1,17 m/s (SD=0,16) med gles punktbelysning, 1,33 m/s (SD=0,19) med tät punktbelysning samt 1,32 m/s (SD=0,23) med LED-slinga.

Förflyttningshastigheterna där rökdykarna parallellt med förflyttning också bar en bår belastad med 80 kg räddningsdocka var likvärdiga som vid förflyttningen utan bår, med en hastighet om 1,32 m/s med LED-belysning och 0,91 m/s med belysningen släckt. Försöken med bår genomfördes sist i försöksserien.

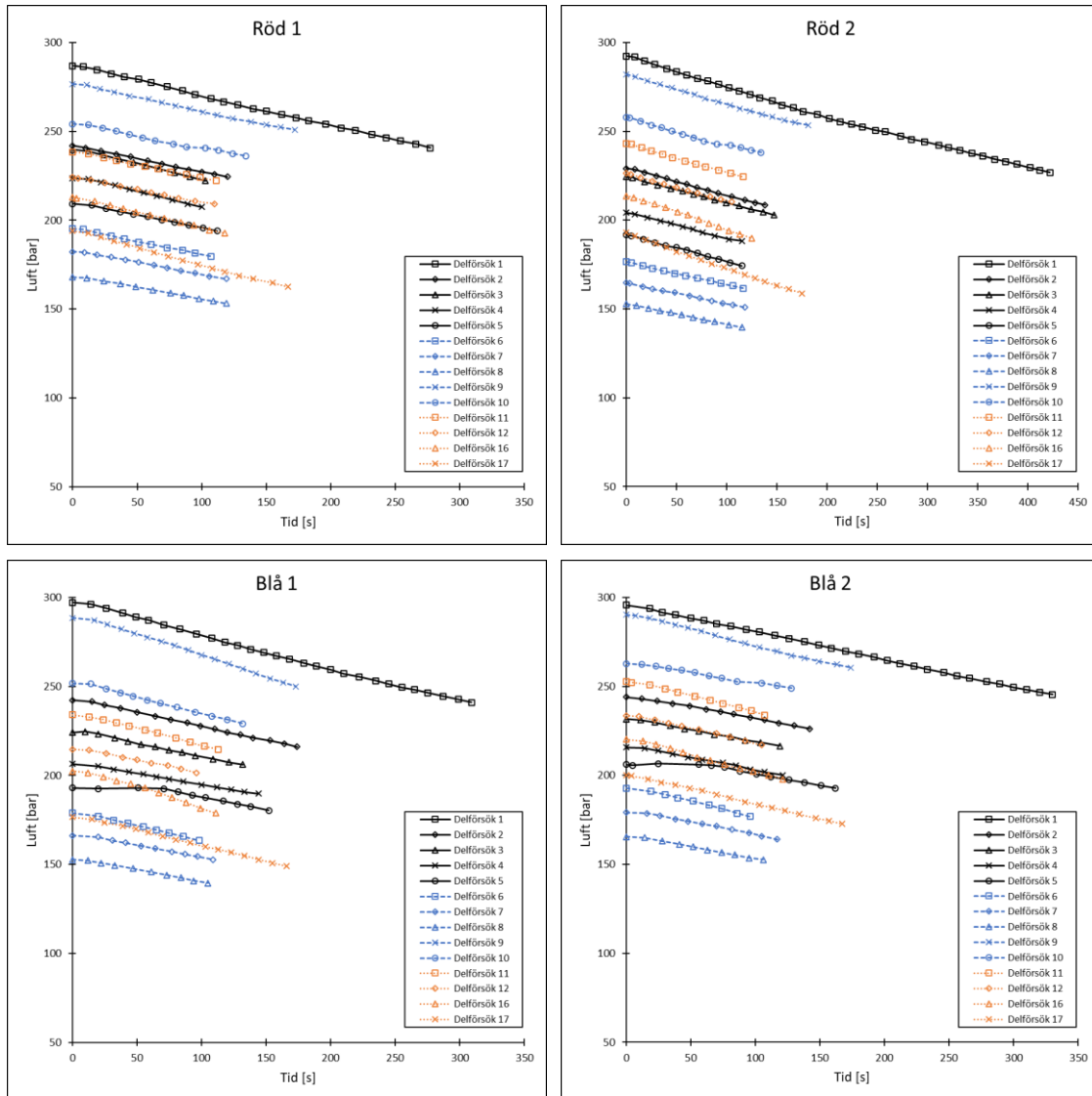
Tabell 2. Förflyttningshastighet [m/s] vid respektive delförsök. Hastigheten redovisas per rökdykare i individuella försök, per rökdykarpar för 1+1 försök och för hela gruppen vid 2+2 försök.

Delförsök	Belysning	Förflyttningshastighet [m/s]				Medel (SD)
		Röd 1	Röd 2	Blå 1	Blå 2	
1	Släckt	0,55	0,36	0,50	0,45	0,46 (0,07)
2	24 m	1,27	1,10	0,87	1,07	1,08 (0,14)
3	8 m	1,49	1,06	1,17	1,25	1,24 (0,16)
4	LED	1,65	1,44	1,01	1,34	1,36 (0,23)
5	LED		1,35		0,96	1,16
6	8 m		1,29		1,65	1,47
7	24 m		1,30		1,40	1,35
8	Släckt		1,34*		1,50*	1,42
9	Släckt			0,87		-
10	24 m			1,16		-
11	8 m			1,42		-
12	LED			1,52		-
16	LED			1,32		-
17	Släckt			0,91		-

* Förflyttning skedde längs handledaren, i stället för längs bergsidan.

3.2 Luftförbrukning

I Figur 9 redovisas tryckminskningen i luftpaketen som funktion av tiden för respektive rökdykare under samtliga genomförda delförsök. Med undantag för delförsök 16 och 17, där rökdykarna bar en bår med räddningsdocka, var luftförbrukningen för respektive rökdykare relativt jämn under samtliga delförsök.



Figur 9. Luftförbrukning [bar] för respektive rökdykare vid de olika delförsöken.

I Tabell 3 redovisas luftförbrukningen i liter per minut samt i totalt antal liter under respektive delförsök. Skillnader i luftförbrukning är generellt större mellan de olika rökdykare än mellan olika försök. Tre av fyra rökdykare uppnådde sin högsta luftförbrukning under delförsök 16 eller 17, då båren med räddningsdockan transporterades.

Tabell 3. Luftförbrukning [l/min] och total luftförbrukning [l] för respektive rökdykare.

Delförsök	Luftförbrukning [l/min] (total luftförbrukning [l])				Medel (SD)
	Röd 1	Röd 2	Blå 1	Blå 2	
1	68.1 (315)	63.4 (446)	74.2 (382)	62.1 (342)	67 (4.72)
2	59.5 (119)	60.9 (140)	61.6 (179)	51.2 (121)	58.3 (4.18)
3	69.4 (119)	59.8 (147)	57.4 (126)	51.7 (103)	59.6 (6.37)
4	66 (110)	56.5 (108)	47.5 (114)	52.4 (106)	55.6 (6.79)
5	55.6 (104)	61.5 (118)	34 (86)	34.5 (93)	46.4 (12.31)
6	53.4 (107)	52.7 (102)	64.1 (105)	68 (109)	59.6 (6.62)
7	52.3 (104)	48.6 (96)	50.9 (92)	52.6 (103)	51.1 (1.59)
8	50.8 (101)	46.5 (89)	51.1 (89)	49.2 (87)	49.4 (1.79)
9	60.7 (174)	64.4 (194)	90.8 (262)	69.6 (202)	71.4 (11.66)
10	54.7 (122)	60.6 (135)	70 (154)	43.7 (93)	57.3 (9.54)
11	59.4 (110)	65.9 (127)	70.3 (132)	71.8 (128)	66.9 (4.81)
12	55.3 (101)	61.9 (108)	55.8 (89)	63.9 (112)	59.2 (3.74)
16	69.9 (137)	78 (162)	86.6 (160)	75.5 (152)	77.5 (6.01)
17	76.8 (214)	79.7 (233)	67.9 (188)	67 (186)	72.9 (5.51)

4 Diskussion och slutsats

Ett flertal försöksserier avseende räddningstjänstens förflyttning vid samtidig slanguppbyggnad samt förflyttning utan parallella uppgifter har genomförts de senaste decennierna. Försöken har genomförts i olika tunnelmiljöer, med och utan rökfylld samt med olika tekniska hjälpmedel. Några av försöken har genomförts som en jämförelse mellan med respektive utan en lyslina att följa. De jämförande försöken har tydligt visat att en lyslina som stöd vid förflyttning ger en markant ökad förflyttningshastighet. Inga nationella större systematiska försöksserier har genomförts där räddningstjänstens förflyttningshastighet har jämförts mellan olika belysningstyper. Utvecklingen inom belysningsbranschen går mot alltmer LED-baserade system i syfte att möta omvärldens krav på energieffektivitet och hållbarhet.

De genomförda försöken visar tydligt, trots det låga antalet försökspersoner, att en kontinuerlig belysning längs hela insatssträckans längd ger betydligt högre förflyttningshastighet än punktbelysning samt att avståndet mellan lyspunkterna är av betydelse. Detta korrelerar väl med de tidigare erfarenheterna från försök med lyslina. I de utrymningsförsök som genomfördes parallellt med dessa räddningstjänstförsök kunde samma trend ses, dock med tydligare skillnad mellan både gles och tät punktbelysning samt mellan punktbelysning och LED-slinga.

I de parallellt genomförda utrymningsförsök med motsvarande syfte att jämföra belysningens påverkan på förflyttningshastighet hos utrymmande kan generellt en lägre förflyttningshastighet ses i jämförelse med räddningstjänstpersonal. Oberoende av tidigare erfarenhet av övning eller skarpa insatser i specifik tunnelmiljö har räddningstjänstens personal erfarenhet av förflyttning i rökfyllda miljöer, vilket vanliga utrymmande normalt saknar. En markant skillnad ses framför allt i de fall ljusstyrkan är låg, exempelvis mellan två ljuspunkter placerade på längre avstånd. Detta styrker Trafikverkets intention att föreskriva kontinuerlig belysning i nya spårtunnlar. De genomförda försöken visar att kontinuerlig belysning avsedd för stöd till utrymning också ökar räddningstjänstens förflyttningshastigheter och därmed främjar effektivare räddningsinsatser.

I de genomförda försöken har endast förflyttningshastigheter på individnivå redovisats i de fall rökdykarna förflyttade sig enskilt. När förflyttning har skett i par eller i grupp är förflyttningshastigheten baserad på när den första rökdykaren lämnat startpunkten och när den sista rökdykaren anlänt till slutpunkten. Vid en verklig insats är det parets eller gruppens gemensamma hastighet och förutsättningar som är dimensionerande för förmågan både vid ren förflyttning och vid förflyttning under belastning, exempelvis vid transport av bår.

Den redovisade individuella luftförbrukningen för de olika delförsöken visar att de individuella skillnaderna mellan rökdykarna är större än den samlade skillnaden mellan olika delförsök. Samtidig visar delförsöken med bår att luftförbrukning generellt är högre vid belastning, vilket är förväntat. Vid förflyttning i grupp eller i par behöver således både de individuella skillnaderna och uppdragets förväntade belastning tas i beaktning. Detta är särskilt viktigt i undermarksanläggningar där reträtten kan förväntas ske i viss uppförslutning, exempelvis i tillfartstunnlar vid tunnlar under byggnation eller i gruvmiljöer.

5 Framtida forskning

Trots att relativt omfattande försöksserier har genomförts nationellt avseende förflyttning och förmåga i tunnelmiljöer finns behov av kompletterande försök främst inom följande områden:

- Förflyttning och förmåga vid räddningsinsatser utan samtidig slanguppbyggnad i de miljöer där brand eller risk för brand inte föreligger.
- Verifiering av förflyttningshastigheter i verklig spårtunnelmiljö med kontinuerlig belysning enligt Trafikverkets föreslagna utformning, efter att dessa fastställts.
- Förflyttning, avsökning och riskbedömning i tunnelmiljöer vid verklig brand.
- Förflyttning, avsökning och riskbedömning med stöd av framväxande teknik avsedd för räddningstjänst eller inom närliggande områden.

6 Referenser

- [1] E.-S. Celander och A. Zakirov, *Belysning som stöd vid utrymning av rökfylld tunnel*, Borås, 2020.
- [2] AFS 2007:7, *Arbetsmiljöverkets föreskrifter om rök- och kemdykning*.
- [3] Trafikverket, *TDOK 2015:0166 Personsäkerhet i järnvägstunnlar. Handbok för analys och värdering av personsäkerhet i järnvägstunnlar*.
- [4] Trafikverket, *TRVINFRA-00151 Belysning i järnvägsmiljö*.

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, Internet: www.ri.se

SAMHÄLLSSÄKERHET
RISE Rapport 2020:97
ISBN: 978-91-90109-93-9