



# LUND UNIVERSITY

## Delrapport: Test av vägledande system i en tunnel

Fridolf, Karl; Frantzich, Håkan

2014

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Fridolf, K., & Frantzich, H. (2014). *Delrapport: Test av vägledande system i en tunnel*. Lund University.

*Total number of authors:*

2

### General rights

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

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

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

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

### Take down policy

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

LUND UNIVERSITY

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

# Delrapport: Test av vägledande system i en tunnel

*Karl Fridolf & Håkan Frantzich*

---

Department of Fire Safety Engineering  
Lund University, Sweden

Avdelningen för brandteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet

Lund 2014

Rapport 7042

Delrapport: Test av vägledande system i en tunnel

Karl Fridolf  
Håkan Frantzich

Lund 2014

## Delrapport: Test av vägledande system i en tunnel

Karl Fridolf & Håkan Frantzich

Rapport: 7042

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--7042--SE

Antal sidor: 17

Illustrationer: Karl Fridolf

### Sammanfattning

I följande delrapport redogörs övergripande för förutsättningarna och delar av resultaten efter ett utrymningsförsök som genomfördes den 1-3 juli år 2014 i vägtunneln Norra länken i Stockholm. Syftet med försöket var i huvudsak att undersöka hur personer på bästa sätt kan ledas till en motstående tunnelvägg med utrymningsvägar i en rökfylld tunnel. Försöket syftade även till att kvantifiera med vilken hastighet människor rör sig i rökfyllda tunnelmiljöer (d v s vid nedsatta siktförhållanden). Baserat på en grov analys av de resultat som genererades under försöket kan det konstateras att designen av den utrymningsportal som användes under försöket till stor del verkar ha uppfyllt sitt ändamål (att få folk att använda nödutgångar i rökfyllda tunnelmiljöer). Det mest påtagliga resultatet är att det krävs någon form av vägledning för att personer som går längs den högra sidan ska förstå att de ska byta sida i höjd med utrymningsportalen. Åtminstone bör informationsskyltar installeras mitt emot utrymningsvägarna för att upplysa utrymnande personer om att de befinner sig mitt emot en utrymningsväg. Flera av försökspersonerna angav även att de utrymningskyltar med information om avståndet till närmaste utrymningsväg var värdefulla. Det angav även flera av de personer som inte exponerades för denna typ av vägledande markeringar men istället som ett förslag för att få en bra utrymningsmiljö. För att ytterligare öka sannolikheten att människor vid en utrymning uppmärksammar och använder utrymningsvägarna föreslås att utrymningsportalerna även utrustas med aktiva högtalare. Flera av försökspersonerna som exponerades för denna installation uppgav att de hade nytta av den för att hitta utgången på den motsatta sidan.

### Summary

In the following interim report, a brief description of an evacuation experiment that was performed July 1-3 2014 in the Northern Link Swedish road tunnel is presented together with parts of the results generated in that experiment. The purpose of the experiment was primarily to study how people best can be way guided from one tunnel wall to the other (when emergency exits are only available on one of the tunnel walls) in a smoke filled road tunnel. The purpose was also to quantify the walking speeds of people in smoke filled tunnel environments (i.e., with reduced visibility). Based on a pre-analysis of the results that was collected during the experiment, it is concluded that the design of the emergency portal used in the experiment to a great extent seems to have fulfilled its purpose (i.e., to attract, guide and get people to use it). One of the most important findings is that some type of way guiding information is required in order to get people that are walking on one side of a smoke filled tunnel to understand that they should switch to the other side when they are located opposite to an emergency exit. The conclusion is that at least some kind of information signs should be installed opposite to emergency exits in road tunnels to inform evacuees that they are located opposite to an emergency exit (which they may not see due to the smoke). Many of the participants in the experiment also stated that way guiding signs including information about distances to the closest emergency exits were beneficial for them during the evacuation of the tunnel. In addition, many participants not exposed to this type of way guiding signs suggested them in order to improve the possibilities of a safe evacuation. In order to furthermore increase the possibility that road tunnel evacuees notice and also use the available emergency exits, it is suggested that the exits are equipped with active loudspeakers. Many of the participants exposed to this type of installation stated that it helped them notice and locate the emergency exit while walking on the opposite side of the tunnel (in relation to the exit).

© Copyright: Avdelningen för brandteknik, LTH, Lunds universitet, Lund 2014.

---

Avdelningen för brandteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund

[brand@brand.lth.se](mailto:brand@brand.lth.se)  
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60

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

[brand@brand.lth.se](mailto:brand@brand.lth.se)  
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60  
Fax: +46 46 222 46 12



## Förord

Följande rapport är framtagen inom ramen för forskningsprojektet *Projekt Förbifart Stockholm, studie avseende säkerhet i tunnlar*. Rapporten är en delrapport av forskningsprojektets *Del 3 – Test av vägledande system i en rökfylld tunnel*. Hela forskningsprojektet är samfinansierat av Trafikverket och EU Transeuropeiska transportnätet (TEN-T).



**Samfinansierat av EU**

**Transeuropeiska transportnätet (TEN-T)**

Upphovsmannen ansvarar för publikationens innehåll. Europeiska unionen tar inget ansvar för hur innehållet används.

Författarna vill framför allt rikta ett stort tack till Stefan Berglund på MSA Nordic AB för lån av värmekamera och inspelningsenhet under försöket och till Åsa Thurin för all din hjälp, i synnerhet under genomförandet av försöket. I sammanhanget vill författarna också passa på att rikta ett tack till följande personer som på olika sätt bidragit till förberedelse och genomförande av försöket: Marcus Andersson, Kristin Andréé, Claes Brehmer, Oskar Fridolf, Erik Isaksson, Anders Lindgren Walter, Henric Modig, Sara Pettersson, Andrew Pryke, Enrico Ronchi och Stefan Svensson.



# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1</b>	<b><u>INLEDNING</u></b> .....	<b>1</b>
1.1	BAKGRUND .....	1
1.2	SYFTE OCH MÅL .....	1
1.3	RAPPORTENS AVGRÄNSNINGAR .....	2
<b>2</b>	<b><u>METOD</u></b> .....	<b>3</b>
2.1	FÖRSÖKSPERSONER .....	3
2.2	FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING .....	3
2.2.1	UTRYMNINGSPORTAL .....	4
2.2.2	SCENARIER .....	5
2.2.3	PROCEDUR .....	7
2.3	DOKUMENTATION.....	9
2.3.1	RÖKTÄTHETSMÄTARE.....	9
2.3.2	IR-KAMERA.....	9
2.3.3	VÄRMEKUDDAR.....	10
2.3.4	VIDEOKAMEROR .....	10
2.3.5	ENKÄT .....	10
<b>3</b>	<b><u>RESULTAT OCH DISKUSSION</u></b> .....	<b>11</b>
3.1	SIKT .....	11
3.2	VÄGVAL.....	11
3.3	GÅNGHASTIGHET .....	12
3.4	SUBJEKTIV BEDÖMNING AV NYTTAN MED INSTALLATIONER .....	12
3.4.1	UPPMÄRKSAMHET AV NÖDUTGÅNGEN.....	13
3.4.2	LÄMPLIGA INSTALLATIONER .....	13
<b>4</b>	<b><u>SLUTSATSER</u></b> .....	<b>15</b>
<b>5</b>	<b><u>REFERENSER</u></b> .....	<b>17</b>





# 1 Inledning

Med det övergripande målet att ta fram brand- och utrymningstekniska rekommendationer till i synnerhet infrastrukturprojektet Förbifart Stockholm, och i allmänhet framtida vägtunnelprojekt, gav Trafikverket i slutet av 2013 Avdelningen för brandteknik vid Lunds tekniska högskola i uppdrag att genomföra ett forskningsprojekt. Förbifart Stockholm består av en drygt 21 km lång ny sträckning för E4 väster om Stockholm. Av sträckan går ca 18 km i tunnlar under marken.

I projektet ingick bl a att genom litteraturstudier och experimentella försök undersöka hur olika typer av utrymningsinformation riktad till utrymmande personer bör utformas i tunnlar. I en avslutande del av projektet (benämnd *Del 3 – Test av vägledande system i en rökfylld tunnel*) genomfördes ett försök med människor i en rökfylld tunnelmiljö. I denna delrapport redogörs i korthet för genomförandet av detta försök, de resultat som försöket genererade samt de viktigaste slutsatserna.

## 1.1 Bakgrund

Tunnlarna i Förbifart Stockholm kommer att utformas med två separata tunnelrör. I huvudtunnlarna kommer utrymningsvägar att installeras var 100:e meter och i på- och avfartstunnlarna var 150:e meter. Eftersom tunnlar utformas med två separata tunnelrör är principen i händelse av brand att trafikanterna ska utrymma från det ena till det andra tunnelröret. Det innebär att utrymningsvägar endast kommer att finnas på den ena sidan av respektive tunnelrör (den vänstra i köriktningen). Även de vägledande markeringarna och ledbelysningen placeras på denna sida i respektive tunnel. I dagens regelverk finns det däremot ingenting som reglerar skyltningen på tunnelns andra sida, och ett tänkbart scenario är därför att högra sidan i tunnlar (sett i färdriktningen) inte förses med någon form av information riktad till utrymmande personer då tanken är att de redan från början förväntas söka sig mot den sida som är försedd med utrymningsvägar.

Tidigare forskning, bl a genomförda utrymningsförsök i liknande miljöer, har visat att människor som utrymmer rökfyllda tunnlar riskerar att inte uppmärksamma de utrymningsvägar som finns tillgängliga när de går på "fel sida" i tunneln (d v s den sida i tunneln som saknar utrymningsvägar), se t ex Fridolf, Ronchi, Nilsson och Frantzich (2013). Vidare har det kunnat konstateras att en del av de människor som faktiskt uppmärksammar de tillgängliga utrymningsvägarna av olika anledningar inte väljer att utrymma den vägen, t ex har fasta ljus i utrymningsportalen gjort att utrymningsvägen förknippats med ett fordon och blinkande ljus att utrymningsvägen förknippats med trafiksignaler eller väginstallationer (Fridolf, 2013). Detta är särskilt påtagligt när sikten i tunneln är dålig på grund av den höga röktheten. Med utrymningsportal avses den samlade installationen kring en utrymningsväg i en tunnel och kan bestå av särskild markering av platsen och väggen, ljussignaler, ljudsignaler, dörr till utrymningsvägen mm, se vidare avsnitt 2.2.1.

Slutligen har det konstaterats att kunskapsläget om hur samt med vilken hastighet människor rör sig i rökfyllda miljöer är dåligt, något som bl a medför osäkerheter i dimensioneringsskedet av tunnlar (Fridolf, André, Nilsson, & Frantzich, 2013).

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med det genomförda försöket var i huvudsak att undersöka hur personer på bästa sätt kan ledas till en motstående tunnelvägg med utrymningsvägar i en rökfylld tunnel. Försöket syftade även till att kvantifiera förflyttningshastigheten i rökfyllda tunnelmiljöer (d v s vid nedsatta siktförhållanden) i förhållande till rökfria tunnelmiljöer. Målet var att utvärdera (och till Trafikverket rekommendera) tekniska lösningar som kan användas i närheten av utrymningsvägar för att uppmärksamma utrymmande människor vid motstående tunnelvägg om att de befinner sig i

närheten av en utrymningsväg, och att de ska använda denna. Vidare var målet att utreda på vilket sätt individer reducerar sin gånghastighet i rök, närmare bestämt att utreda huruvida detta sker relativt eller absolut i förhållande till ohindrad gånghastighet i rökfri tunnelmiljö.

### 1.3 Rapportens avgränsningar

Delrapporten avgränsas till en sammanfattad beskrivning av försökets genomförande samt de viktigaste slutsatserna som kunnat dras baserat på observationer i insamlat videomaterial samt en översiktlig genomgång av insamlade enkätsvar. I rapporten presenteras översiktligt hur många av de deltagande försökspersonerna som valde att utrymma via en utrymningsportal som installerats i ett rökfyllt parti av försöksområdet, översiktligt vilka siktförhållanden som rådde under försöket samt med vilken genomsnittlig hastighet som försökspersonerna rörde sig i den rökfyllda och i ett rökfritt parti av försöksområdet. Avslutningsvis presenteras de viktigaste slutsatserna av försöket (baserat på den information som bearbetats), och förslag ges på tekniska lösningar som kan komplettera utrymningsportalen i Förbifart Stockholm. En grundläggande beskrivning av försöksmetodik, statistiska analyser av resultatet och beskrivningar av försökspersonernas gånghastighet i rök kommer att presenteras i forskningsprojektets slutrapport, av Fridolf & Frantzich (2014).

## 2 Metod

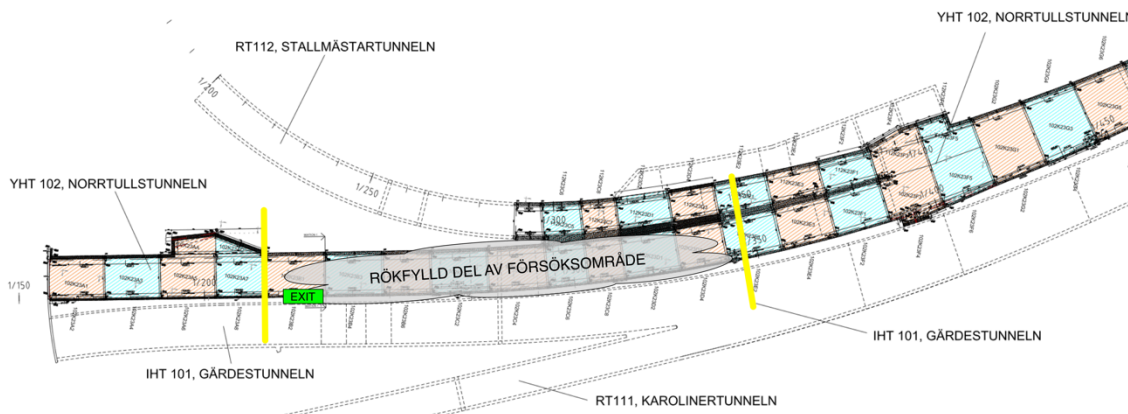
Försöket genomfördes i utvalda tunneldelar av Norra länken under tre heldagar i början av juli 2014, närmare bestämt den 1-3 juli. Norra länken är, liksom Förbifart Stockholm, ett stort infrastrukturprojekt med omfattande vägsträckningar under mark. Inräknat samtliga tunnelrör och ramper omfattar projektet en sträckning på totalt 13 km förlagd i tunnlar. Vid tiden för genomförandet av försöket hade Norra länken ännu inte öppnat för ordinarie trafik, men inom försöksområdet var tunnlar i stor utsträckning färdigställda. Vissa grundläggande installationer, såsom belysning, fanns på plats och utnyttjades under försöket. Däremot var i princip samtliga utrymningsinstallationer som monterats i Norra Länken övertäckta för att försöket skulle kunna undersöka effekten av olika installationer var för sig. Försöken kan därför inte ses som en utvärdering av utrymningsförhållandena i Norra Länken. I detta avsnitt redogörs för försökspersonerna som deltog i försöket, försökuppställningen samt hur data samlades in.

### 2.1 Försökspersoner

Samtliga försökspersoner som deltog i försöket rekryterades från allmänheten i Stockholm. Totalt deltog 66 personer i försöket, varav 25 kvinnor och 41 män. Den genomsnittliga åldern var 36 år, med en standardavvikelse på 10 år. Den äldsta försökspersonen utgjordes av en man på 72 år och den yngsta av en kvinna på 18 år.

### 2.2 Försökuppställning

Försöket genomfördes i utvalda delar av vägtunneln Norra länken som vid tidpunkten för försöket ännu inte öppnat för ordinarie trafik, närmare bestämt i den s k Norrtullstunneln och Gärdestunneln. Hela försöksområdet bestod av en sträcka mellan utrymningsvägarna 17A och 22. Den del av försöket som genomfördes i rökfylld miljö motsvarade dock endast en sträcka på ca 120 m i Norrtullstunneln, och har markerats i Figur 1. Under försöket separerades denna del från resten av tunneln med hjälp av två stora plastgardiner, en i respektive ände. Rök genererades med hjälp av rökmaskiner som placerats ut på olika platser inom det avgränsade området. På grund av ventilationsproblem under dag 1 gjordes vissa modifieringar av typ och antal av rökmaskiner under dag 2.



Figur 1. Översiktlig illustration av försöksområdet. Gula markeringar symboliserar gardiner som användes för att avgränsa rökfyllt försöksområde.

Miljön i den rökfyllda delen av tunneln utgick från den infrastruktur som Norra länken erbjuder, med andra ord en tvåfilig väg med en bredd motsvarande ca 8,3 m mellan barriärelementen, dvs den fria bredden i det aktuella avsnittet. Höjden var ca fem meter på platsen för försöken. Samtliga belysningsarmaturer i taket användes även vid genomförandet av försöket, och uppmätta lux-nivåer i den rökfyllda miljön varierade i intervallet 74-119 lux (högst lux-värdet i mitten av tunneln direkt under befintlig armatur, lägst invid ena tunnelsidan). Däremot släcktes de armaturer inom området som till exempel markerade nödutrustning, telefon och ordinarie utrymningsvägar. Den ledbelysning

(utformad med LED-armaturer) som fanns installerad på tunnelns vänstra sida (i körriktningen) var inte heller aktiv under försöket. Även ordinarie utrymningsvägar doldes, liksom tillhörande skyltar med avståndsmarkeringar, eftersom att det var den föreslagna utformningen av utrymningsportal i Förbifart Stockholms tunnlar som skulle utvärderas. I slutet av försöksområdet (se grön EXIT-markering i Figur 1) installerades därför istället en modell av utrymningsportalen, se avsnitt 2.2.1. Utrymningsportalen var endast en modell av en riktig portal vilket bland annat innebar att dörren i denna portal inte gick att öppna. På motsatt tunnelsida, mittemot portalen, monterades även en informationsskylt i A3-format, se Figur 2. Skylten belystes endast av allmänbelysningen.



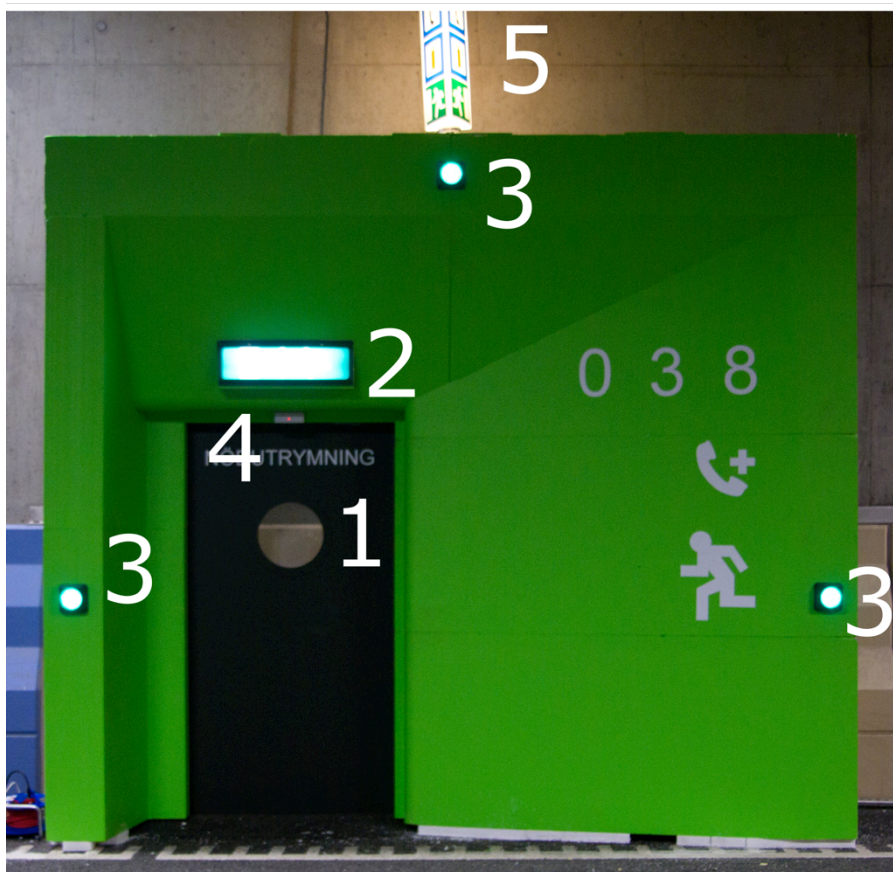
Figur 2. Illustration av den informationsskylt i A3-format som monterades mittemot utrymningsportalen.

Under försöket placerades fem bilar i den rökfyllda miljön för att symbolisera övergivna fordon. Övrig utrustning i tunneln bestod av en högtalare som användes för att illustrera fläktljud, två röktäthetsmätare och ett antal rökmaskiner.

### 2.2.1 Utrymningsportal

Den utrymningsportal som användes vid genomförandet baserades på den utformning som tagits fram inom infrastrukturprojektet Förbifart Stockholm samt rekommendationer tidigare delar i det aktuella forskningsprojektet (Ronchi & Nilsson, 2014a, 2014b) och illustreras i Figur 3. Utöver själva ramen och dörren bestod utrymningsportalen i huvudsak av följande delar:

1. En glasruta i dörren som försetts med en ljuslist på insidan (för att symbolisera insidan av en utrymningsväg)
2. En standardiserad utrymningsskylt ovanför strax ovanför dörren
3. Tre gröna LED-armaturer (en ovanför och en på respektive sida av dörren) blinkande med ca 1 Hz frekvens
4. En högtalare ovanför dörren
5. En ljuspelare med informationsskyltar ovanför portalen



Figur 3. Utrymningsportalen som användes i försöket.

Under försöket kombinerades dessa tekniska installationer (ibland tillsammans med andra installationer i tunneln) på ett sätt som genererade totalt fem försöksscenarioer, se nedan.

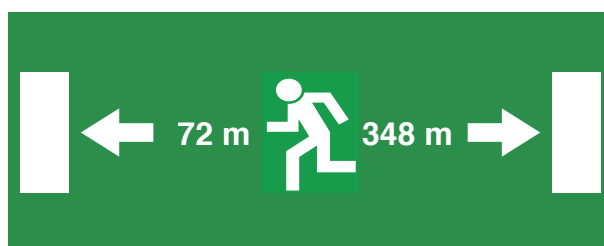
### 2.2.2 Scenarier

Totalt omfattade försöket fem scenarier. I respektive scenario testades en kombination av tekniska installationer på utrymningsportalen samt installationer i närheten av utrymningsportalen. En beskrivning av respektive scenario ges i Tabell 1.

Tabell 1. Beskrivning av de olika försöksscenarierna tillsammans med antalet försökspersoner (fp) som deltog i respektive scenario.

Scenario	Beskrivning	Antal fp
1	Installation 1, 2, 3 och 5 aktiverade på utrymningsportalen.	13
2	Installation 1, 2, 3, 4 och 5 aktiverade på utrymningsportalen.  I högtalaren sändes kontinuerligt en kombination av en alarmsignal <sup>a)</sup> och ett talat meddelande enligt följande princip:  ALARMSIGNAL  <i>Ljudet kommer från en utgång. Följ ljudet för att komma ut.</i>	15
3	Installation 1, 2, 3 och 5 aktiverade på utrymningsportalen.  Vägledande avståndsmarkering var 8:e meter på tunnelns högersida med underkant ca 1,2 m över körbanan, se Figur 4. Skyltarna belystes endast av allmänbelysningen.	15
4	Installation 1, 2, 3, 4 och 5 aktiverade på utrymningsportalen.  Vägledande avståndsmarkering var 8:e meter på tunnelns högersida med underkant ca 1,2 m över körbanan, se Figur 4. Skyltarna belystes endast av allmänbelysningen.  I högtalaren sändes kontinuerligt samma kombination av alarmsignal och talat meddelande som i scenario 2.	13
5	Installation 1, 2, 3 och 5 aktiverade på utrymningsportalen.  Vägledande markeringar bestående av målade pilar i asfalten på tunnelns högersida med start 30 m från utrymningsportal, se Figur 5.	10

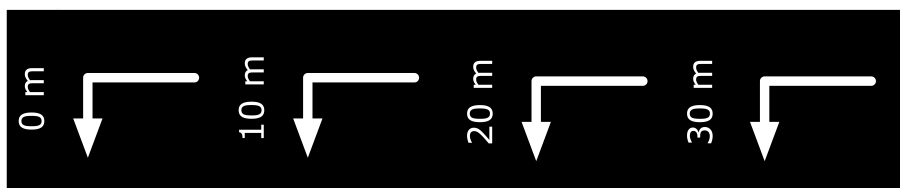
<sup>a)</sup> Den alarmsignal som användes i försöken baserades på rekommendationer i ISO (1987) och bestod av tre tilltagande signalsekvenser som upprepades två gånger.



Figur 4. Exempel på de vägledande avståndsmarkeringar som användes i scenario tre och fyra.

Avståndsmarkering till vänster markerade avståndet till utrymningsportalen, avståndsmarkering till höger var en fiktiv siffra för att förstärka i vilken riktning försökspersonerna skulle gå. Mittemot

utrymningsportalen angavs avstånden 0 m och 420 m, i övrigt såg skylten likadan ut. Skyltarnas dimensioner var 50 x 20 cm<sup>2</sup> (b x h). Skyltarna belystes endast av allmänbelysningen.



Figur 5. Illustration av hur pilmarkeringar målade på asfalten i vägreten på tunnelns högersida såg ut.

### 2.2.3 Procedur

Försöket genomfördes i block om 3 timmar, med start kl 9.00 och avslut kl 21.00 varje dag med undantag för dag 3 då försöken avslutades kl 15.00. Samtliga försök genomfördes individuellt, men försökspersoner anlände i grupper i början av varje försöksblock enligt Tabell 2.

Tabell 2. Fördelning av försökspersoner i de respektive försöksblocken a' 3 h.

Dag	Tid	Antal fp
1	9-12	6
	12-15	7
	15-18	8
	18-21	7
2	9-12	8
	12-15	7
	15-18	7
	18-21	6
3	9-12	7
	12-15	3

I Figur 6 presenteras en schematisk illustration över hela försöksområdet, inkl de huvudsakliga steg varje försöksperson gick igenom under försöket. Nedan ges en kortfattad beskrivning av dessa (beskrivningen ska läsas tillsammans med illustrationen).

1. Gruppen av försökspersoner anlände med buss till position A i Figur 6 (motsvarande utrymningsväg 17A). Information om försöket, säkerhetsprocedurer samt annat underlag som de erhållit tidigare repeterades och informerat samtycke inhämtades. Försökspersonerna ut en och en att delta i försöket.
2. Försökspersonen försågs med skyddande overall och ledsagades till en inväntande bil som stod parkerad på position B i Figur 6. Försökspersonen ombads sätta sig på passagerarsidan i framsätet och erhöll sedan följande information:

*Du kommer att bli körd in i en rökfylld del av tunneln. Röken innehåller irriterande ämnen, vilket kan göra att det svider i ögon, näsa och hals, men påverkar i övrigt inte din hälsa. När vi är framme kommer du att få ytterligare en instruktion.*

*Under försöket kommer det att finnas en rökdykare som följer dig hela tiden. Personen kommer att ha en värmekamera, vilket gör att han kan se dig genom röken. Du kommer däremot inte att kunna se rökdykaren. Om du vill avbryta försöket så meddela rökdykaren genom att säga det till honom eller genom att vinka häftigt till honom (följt av demonstrerande rörelse). Han kommer då att leda dig ut ur tunneln. När försöket är över kommer rökdykaren att leda dig ut ur tunneln.*

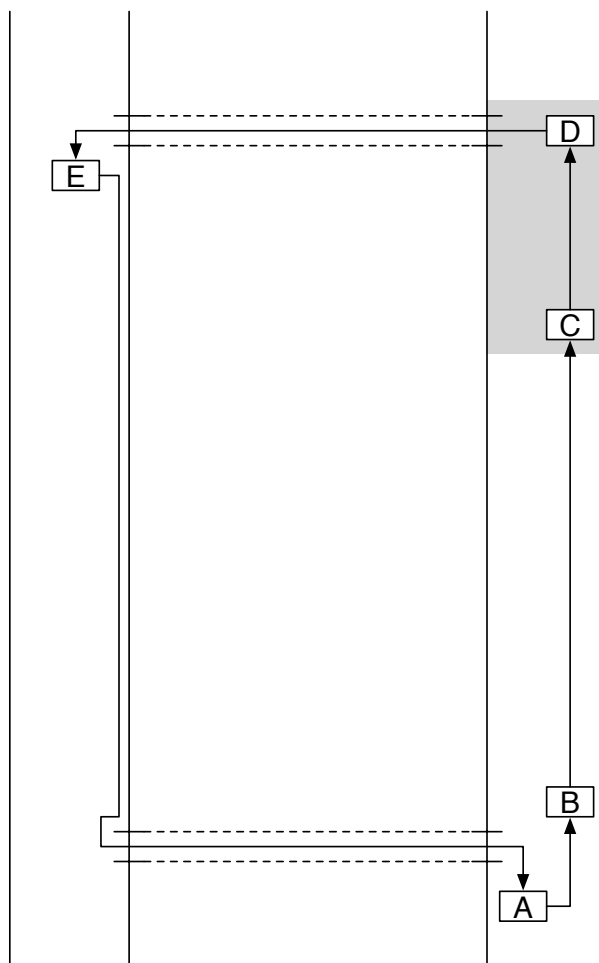


*När du kommit ut ur tunneln kommer du att mötas av en person som visar dig vart du ska ta gå. När du är tillbaka i bussen kommer du att få svara på en enkät med frågor.*

3. Försökspersonen kördes till position C i Figur 6, d v s in i den rökfyllda miljön. Bilen stannade alltid på höger sida några m in i den rökfyllda miljön. När bilen stannat instruerades försökspersonen att på egen hand utrymma tunneln i korriktningen genom följande instruktion:

*Tänk dig in i följande situation. Du kör med din bil i en vägtunnel och stannar på grund av en lång kö. Efter någon minut är din bil helt insvept i rök och röken kommer bakifrån. Du beslutar dig att lämna bilen och ta dig framåt till en säker plats. Var så god att lämna bilen.*

4. Försökspersonen utrymde den rökfyllda delen av tunneln under övervakning av en brandman, som av säkerhetsskäl följde personen genom hela utrymningsförloppet mellan position C och D i Figur 6.
5. Försökspersonen anlände till slutet av försöksområdet. Antingen hade han/hon då hittat och valt att "utrymma" via utrymningsportalen, eller så hade han/hon missat utrymningsvägen och kommit till den gardin som markerade slutet av försöksområdet. Oavsett alternativ ledsagades försökspersonen av den brandman som observerat hela förloppet till position E i Figur 6 (d v s genom utrymningsväg 21).
6. Försökspersonen instruerades att på egen hand gå från läge E till A i Figur 6, d v s via den rökfria miljön i Gärdestunneln tillbaka till bussen i Norrtullstunneln där försöket inleddes.
7. Väl tillbaka i bussen på position A i Figur 6 fick försökspersonen fylla i en enkät om sina upplevelser.



Figur 6. Schematisk beskrivning av försöksområdet.

Höger del av Figur 6 illustrerar Norrtullstunneln och vänster del Gärdestunneln. Gråmarkerad yta illustrerar del inom försöksområdet som var rökfylld under försöken.

## 2.3 Dokumentation

Under försöket dokumenterades såväl försökspersonernas agerande som försöksmiljön kontinuerligt. Nedan ges en sammanfattande beskrivning av den information som samlades in.

### 2.3.1 Röktäthetsmätare

Dokumentation av röktätheten gjordes kontinuerligt under hela försöket med hjälp av två röktäthetsmätare, vilka bestod av en ljuskälla och en ljusmottagare som placerats med 1 m avstånd i en metallram ca 1,5 m ovanför marken. Genom att dokumentera den dämpade ljusintensiteten i den rökfyllda miljön kunde siktsträckan i efterhand uppskattas med enklare beräkningar.

### 2.3.2 IR-kamera

Den brandman som av säkerhetsskäl följde de utrymmande försökspersonerna i den rökfyllda miljön dokumenterade även deras agerande och rörelse med hjälp av en IR-kamera. Med IR-kameran kunde brandmannen under hela förloppet se försökspersonen trots den nedsatta sikten, samtidigt spelades hela utrymningsförloppet in på ett minneskort. Ett exempel på vad IR-kameran fångar ges i Figur 7.



Figur 7. Bild från en inspelning gjord med IR-kameran. På bilden syns en försöksperson samt två värmekuddar (se nedan).

### 2.3.3 Värmekuddar

Värmekuddar placerades ut på lämpliga platser i den rökfyllda miljön för att i ett senare skede kunna uppskatta försökspersonernas gånghastighet med hjälp av inspelningar från IR-kameran. Värmekuddarna fästes i marknivå (på asfalten) i linjeformation tvärs över tunnelns bredd på tre positioner i den rökfyllda miljön.

### 2.3.4 Videokameror

Försökspersonernas rörelse i den rökfria miljön, d v s mellan position E och A i Gärdestunneln, dokumenterades med två fasta videokameror. Avståndet mellan de två kamerorna uppgick till 364 m, och med hjälp av denna information kunde försökspersonernas gånghastighet beräknas.

### 2.3.5 Enkät

Efter genomfört försök fick försökspersonerna besvara en enkät om sina upplevelser och känslor under försöket. Enkäten bestod av fyra delar: (1) en del med allmänna frågor kopplade till försökspersonen, t ex ålder, kön, längd, vikt, o s v; (2) en del om själva försöket, t ex upplevd grad av realism, förmåga att ta sig ut, orienteringstaktik, o s v; (3) en del med frågor inriktade på de tekniska installationer som använts i försöket, t ex huruvida de uppmärksammats eller inte; (4) en avslutande del om övriga känslor och upplevelser, t ex om och i så fall hur stor grad av osäkerhet, stress, rädsla o s v som försökspersonerna upplevde under försöket. Endast delar av resultatet i denna enkätundersökning redovisas i denna delrapport, t ex för att beskriva försökspersonernas demografiska egenskaper.

### 3 Resultat och diskussion

Den information som samlades in under försökets genomförande användes bl a till att analysera försökspersonernas vägval i den rökfyllda miljön samt försökspersonernas gånghastighet i de rökfyllda och rökfria tunnelmiljöerna. Nedan ges en sammanfattad presentation av dessa resultat.

#### 3.1 Sikt

Röktätheten, och därmed siktsträckan, varierade med avseende på tid och plats i tunneln under hela försöket bl a på grund av förändringar i ventilationsflödet i tunneln och rökproduktionen. De genomsnittliga siktförhållandena redovisas dock per dag i Tabell 3.

Tabell 3. Siktförhållanden under de tre försöksdagarna.

Dag	Genomsnittlig sikt [m]	Standardavvikelse [m]
1	4,0	1,1
2	3,4	0,8
3	2,5	0,8

#### 3.2 Vägval

I Tabell 4 redovisas antalet försökspersoner som i förhållande till det totala antalet försökspersoner i respektive scenario valde att utrymma via den utrymningsportal som installerats i slutet av den rökfyllda delen av försöksområdet.

Tabell 4. Antalet försökspersoner som försökte utrymma via den installerade utrymningsportalen.

Scenario	Antal fp	Antal fp som valde utrymningsvägen
1	13 (11 <sup>a)</sup> )	8 (73 % <sup>b)</sup> )
2	15	15 (100 %)
3	15	13 (87 %)
4	13	12 (92 %)
5	10	8 (80 %)

<sup>a)</sup> Två försökspersoner avbröt försöket i förtid.

<sup>b)</sup> Baseras på det totala antalet försökspersoner som slutförde försöket.

Sammanfattningsvis kan konstateras att majoriteten av försökspersonerna, oberoende av scenario, uppmärksammade och tog sig till den installerade utrymningsportalen på vänster sida av tunneln. I förhållande till scenario 1 ökar användningen av utrymningsvägen i samtliga fyra övriga scenarier, som mest när högtalarinstallationen var aktiv. Detta var fallet i scenario 2 samt 4, och av totalt 28 försökspersoner var det endast en person som missade utrymningsportalen. Resultatet antyder därmed att högtalaren är den installation som bidragit mest till att öka användningen av utrymningsvägen.

I två scenarier (3 och 4) användes vägledande avståndsmarkeringar på höger sida av tunneln (i körriktningen). Baserat på observationer från videoinspelningar av utrymningarna framgår det att flera personer aktivt läste och följde dessa skyltar, och de framstår därför i sammanhanget som bärare av viktig information som utrymnande personer kan ta del av. Tidigare försök i liknande miljöer har visat att så är fallet.

I det sista scenariot användes markeringar i asfalten för att upplysa försökspersonerna om utrymningsportalens position. Baserat på de observationer som gjorts från videoinspelningar av utrymningarna går det inte att se att någon av försökspersonerna uppfattat denna information. En djupare analys av i synnerhet försökspersonernas enkätsvar är dock nödvändig för att kunna dra

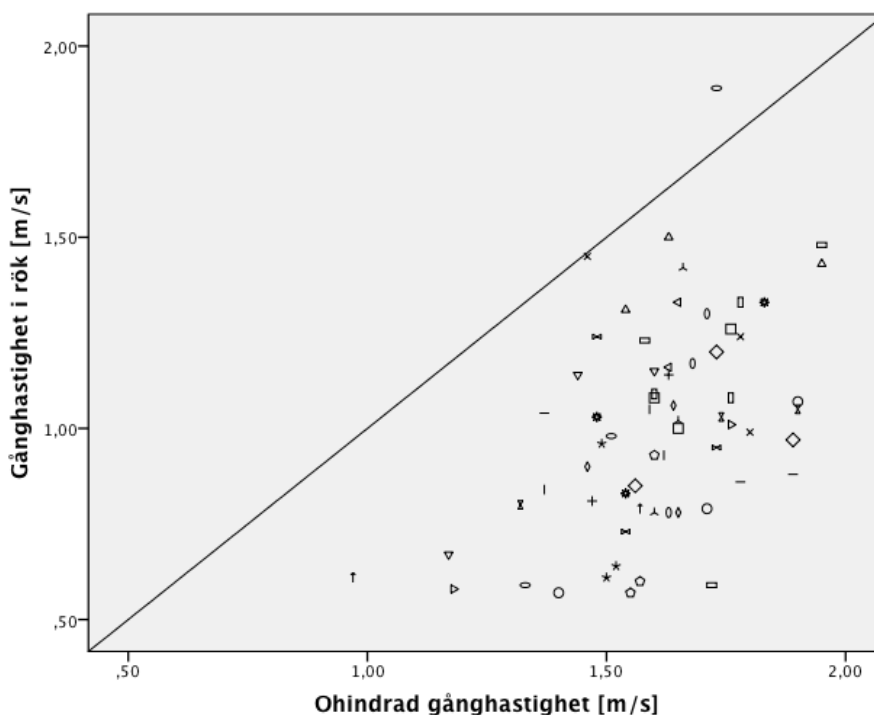
tillförlitliga slutsatser om det eventuella uppmärksammandet och i så fall uppfattningen av dessa markeringar.

Baserat på videospelningarna från utrymningarna i den rökfyllda miljön framgår ytterligare två viktiga aspekter, inte direkt kopplat till ett specifikt scenario: (1) flera försökspersoner använde händerna för att orientera samt röra sig framåt i den rökfyllda miljön, och (2) flera försökspersoner stannade och tog del av informationen på den informationsskylt som monterats mitt emot utrymningsportalen.

### 3.3 Gånghastighet

Försökspersonernas gånghastighet i den rökfyllda miljön var i genomsnitt 1,2 m/s (standardavvikelse 0,3 m/s). Den långsammaste personen rörde sig med hastigheten 0,6 m/s och den snabbaste med hastigheten 1,9 m/s. I den rökfria miljön var den genomsnittliga gånghastigheten 1,6 m/s (standardavvikelse 0,2 m/s). Den långsammaste personen rörde sig med hastigheten 1,0 m/s och den snabbaste med hastigheten 2,1 m/s. Det var inte samma personer som var snabbast respektive långsammast i de två miljöerna.

I Figur 8 redovisas respektive försökspersons gånghastighet i rökfylld miljö i förhållande till dennes gånghastighet i rökfri miljö. Med undantag för en försöksperson rörde sig samtliga personer långsammare i rök. I genomsnitt gick försökspersonerna med en hastighet motsvarande 74 % av deras hastighet i rökfri miljö (standardavvikelse 18 %).



Figur 8. Försökspersonernas gånghastighet i rök som funktion av deras respektive ohindrade gånghastighet.

### 3.4 Subjektiv bedömning av nyttan med installationer

Efter avslutat försök fick försökspersonerna besvara ett antal frågeställningar kopplade till de olika installationerna i respektive försök. Bland de mer betydelsefulla frågeställningarna är a) om det fanns något särskilt som gjorde att de noterade utgången i slutet av försöksområdet (fråga 19) och b) vad de själva har för förslag till hur installationer bör vara utformade för att underlätta vid en utrymning (fråga 25). Fråga a) är intressant eftersom den ger vägledning om vad det var som gjorde att försökspersonerna lämnade den högra väggen i höjd med utrymningsportalen. I de flesta fall var

sikten inte tillräckligt god för att portalen i sig själv skulle vara tydligt synlig från högra sidan. Ytterligare signaler kan därför behövas för att utrymningsportalen ska observeras och väljas. Fråga b) är intressant eftersom att den kan tillföra insikt i vad utrymmande människor ser som potentiella lösningar för att förbättra förutsättningarna vid utrymning av vägtunnlar i rökfyllda miljöer.

### 3.4.1 Uppmärksamhet av nödutgången

Försökspersonerna har i fritextsvar angett vad det var som gjorde att de uppmärksammade nödutgången i slutet av försöksområdet. Detta kan utgöra en grund till motivet att byta från höger till vänster sida i tunneln. Tabell 5 redovisar de vanligare skälen:

Tabell 5. Vad gjorde att du uppmärksammade nödutgången? Tabellen anger antal svar på fråga 19.

Angivet motiv	Scenario				
	1	2	3	4	5
Skylt med text på höger sida	6	3	7	3	4
Skylt över dörr		1			
Skylt i tunnel med pil och avstånd			4	2	
Ljussken vid dörr (grönt blink)	2	5	5	2	1
Såg utgången	1				
Ljud/meddelande vid dörr		13		12	
Pilen på marken					6

Det är tydligt att de installationer som användes hade en inverkan på anledningen till att försökspersonerna letade sig över mot utrymningsvägen. Tydligast märks detta för de scenarier som innehöll utrymningslarm med talat meddelande i anslutning till utgångsdörren. Detta gäller för scenarierna 2 och 4 där detta skäl är klart dominerande.

För övriga scenarier är anledningarna till sidbytet inte lika uppenbara. För scenario 1 är det främst den textade skylten som anges som skäl till sidbytet. Detta kan ses vara ganska uppenbart eftersom det inte fanns några ytterligare installationer på den högra sidan sett i tunnelns normala färdriktning. Utgången var även i detta scenario försedd med blinkande grönt ljus och några försökspersoner har även angett detta. Om den textade skylten inte hade funnits på den högra sidan är det endast ljusskenet från utrymningsportalen som skulle kunna ge en ledtråd till att det fanns en utgång på motsatta sidan. Då flera svarade att det var skylten som var orsaken till sidbytet är det sannolikt att flera personer skulle passera förbi utrymningsvägen om denna skylt inte funnits.

I scenario 3 är det mer jämnt mellan den textade skylten, de vägledande markeringarna och ljusinstallationen vid utgången. Scenario 5 kännetecknas av att flera angett de målade pilarna på marken som skälet till att de sökte sig över till den andra sidan.

Svaren visar att personerna har nytta av de provade installationerna. Tydligast visas detta för de fall då installationerna innehöll ett talat utrymningslarm.

### 3.4.2 Lämpliga installationer

Den andra frågeställningen b) som kan vara intressant att studera är vad försökspersonerna själva anser kan vara installationer eller utformningar som de kan ha nytta av i samband med en utrymning. Här kan det vara möjligt att identifiera vilka sorters installationer som försökspersonerna tycker borde finnas i tunnlar för att de ska utgöra en säker miljö. I flera fall har man svarat att de som fanns i det aktuella fallet var bra. Även denna fråga besvarades i form av fritextsvar. Ett sammandrag presenteras i Tabell 6.

Tabell 6. Följande installationer anges, för de respektive scenarierna, som de som flera angav skulle vara önskvärda.

Scenario	Förslag på installationer
1: Inga installationer utöver den textade skylten mitt för utrymningsvägen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skylt med pil som pekar mot närmaste utrymningsväg</li> <li>• Visuella installationer (ljus, blink)</li> <li>• Pilar eller annan information på marken</li> </ul>
2: Utformning lika scenario 1 men kompletterat med talat meddelande vid utgången	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ljudsignal eller talat meddelande</li> <li>• Skylt med pil som pekar mot närmaste utrymningsväg och som anger avstånd, både vägg och mark</li> </ul>
3: Utformning lika scenario 1 men kompletterat med vägledande markeringar med avståndsinformation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skylt/information på marken</li> </ul>
4: Utformning lika scenario 1 men kompletterat med talat meddelande vid utgången och kompletterat med vägledande markeringar med avståndsinformation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ljudsignal eller talat meddelande</li> <li>• Skylt med pil som pekar mot närmaste utrymningsväg och som anger avstånd</li> </ul>
5: Utformning lika scenario 1 men kompletterat med pilar och avståndsinformation på marken	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Skylt med information (text) på väggen</li> </ul>

Försökspersoner i de scenarier där tunneln var utrustad med ljudinstallationen (utrymningslarm) anger att de vill att tunnlar ska vara försedda med sådant. Detta förslag är det vanligaste av dem som förekommer. Försökspersonerna i de övriga scenarierna nämner knappt denna installation, ett fåtal personer anger denna. Istället är det vanligare att försökspersonerna i scenarierna 1, 3 och 5 anger att de vill ha skyltar med vägledande markeringar, gärna med avståndsmarkeringar som visar riktning till närmaste utgång. Tydligast framgår detta i en jämförelse mellan scenario 3 och 5 som anger det andra scenariots installation som det mest önskvärda. Försökspersonerna i scenario 3 där det finns vägledande markeringar på väggen önskar markeringar på marken och för scenario 5 är det tvärt om. Försökspersonerna i scenario 1 som varken är exponerade för vägledande markeringar på väggen eller på marken anger att sådana vore önskvärda.

Det som också framgår av en del fritextsvar, oavsett scenario, är att man önskar att installationer ska vara tydliga, väl upplysta och vara likformigt utformade mellan olika tunnlar. Dessa synpunkter är säkert väl så viktiga eftersom bilister vistas i olika tunnlar och är då inte betjänta av att det är olika utformning från tunnel till tunnel, speciellt inte inom samma närområde.

## 4 Slutsatser

Utrymningsförsöket som genomfördes i Norra länken representerar ett scenario som motsvarar någon form av värsta troligt fall där t ex en brand inträffar vid köbildning i en vägtunnel, och där röken sprids bland stillastående bilister. De siktförhållanden som rådde under försöket motsvarar en siktsträcka på 2,5-4 m, d v s en förhållandevis dålig sikt med tjock rök. Givet dessa förutsättningar dras följande preliminära slutsatser från försöket:

- Föreslagen design på utrymningsportal för Förbifart Stockholm framstår som lämplig för ändamålet. Oavsett försöksscenario valde en stor andel av försökspersonerna att använda den i försöket.
- För att öka sannolikheten att människor vid en utrymning av i synnerhet Förbifart Stockholm, och i allmänhet i framtida vägtunnlar, uppmärksammar och använder utrymningsvägarna föreslås följande kompletteringar (prioriterade med avseende på bedömd nytta med beaktande av kostnad för installation och underhåll):
  - Installera informationsskyltar mitt emot utrymningsvägarna (d v s på motsatt tunnelsida) för att upplysa utrymmande personer om att de befinner sig mitt emot en utrymningsväg.
  - Installera vägledande markeringar med utrymningssymbol och avståndsangivelse till de två närmaste utrymningsvägarna på den sida som inte är försedd med utrymningsvägar. Dessa skyltar med vägledande markeringar bör placeras lika på respektive sida av tunneln, men behöver inte nödvändigtvis utrustas med en egen armatur.
  - Utrusta utrymningsportalerna med aktiva högtalare likt de som användes i försöket. Installationen förutsätter dock att den övriga ljudmiljön i tunneln (t ex ljudnivå orsakade av aktiverade rökevakueringsfläktar) beaktas vid planering, projektering och installation av högtalaren.
- Liksom i tidigare försök använde flera försökspersoner sina händer för att orientera sig och/eller röra sig framåt i den rökfyllda miljön, t ex genom att känna sig fram utmed tunnelväggen. En handledare (eller motsvarande) framstår i sammanhanget som viktig för att underlätta för människor att röra sig framåt. Sannolikt skulle de kunna göra så med högre hastighet p g a minskad osäkerhet kopplat till t ex orientering. En handledare som löper längs med tunneln skulle också kunna utformas med brytpunkter mitt emot utrymningsvägar för att ytterligare uppmärksamma utrymmande människor på att de befinner sig i närheten av en säker plats.
- Som sista rekommendation kan några av försökspersonernas synpunkter tjäna som riktmärke; installationer bör vara tydliga, väl upplysta och vara likformigt utformade mellan olika tunnlar.





## 5 Referenser

- Fridolf, K. (2013). Evacuation of a Smoke Filled Tunnel: Human Behaviour, Movement Speed and Exit Choice. Lund: Lunds universitet.
- Fridolf, K., & Frantzich, H. (2014). Slutrapport: Test av vägledande system i en tunnel. Lund: Lunds universitet.
- Fridolf, K., André, K., Nilsson, D., & Frantzich, H. (2013). The Impact of Smoke on Walking Speed. *Fire and Materials*. doi: 10.1002/fam.2217
- Fridolf, K., Ronchi, E., Nilsson, D., & Frantzich, H. (2013). Movement speed and exit choice in smoke-filled rail tunnels. *Fire Safety Journal*, 59, 8-21. doi: 10.1016/j.firesaf.2013.03.007
- ISO. (1987). ISO 8201:1987 - Acoustics - audible emergency evacuation signal. Genève: International Organization for Standardization.
- Ronchi, E., & Nilsson, D. (2014a). Interim Report: Flashing Lights for Road Tunnel Emergency Exit Portals - A Virtual Reality Experiment. Lund: Lunds universitet.
- Ronchi, E., & Nilsson, D. (2014b). Interim Report: Traffic Information Signs, Colour Scheme of Emergency Exit Portals and Acoustic Systems for Road Tunnel Emergency Evacuations. Lund: Lunds universitet.