

Utrymning av tunnelbanetåg

Experimentell utvärdering av
möjligheten att utrymma i spårtunnel



**RÄDDNINGSG
VERKET**

Denna rapport ingår i Räddningsverkets serie av forsknings- och utvecklingsrapporter. I serien ingår rapporter skrivna av såväl externa författare som av verkets anställda. Rapporterna kan vara kunskapssammanställningar, idéskrifter eller av karaktären tillämpad forskning. Rapporten redovisar inte alltid Räddningsverkets ståndpunkt i innehåll och förslag.

Utrymning av tunnelbanetåg

Experimentell utvärdering av möjligheten att
utrymma i spårtunnel

Håkan Frantzich

Lunds tekniska högskola
avdelningen för brandteknik

Räddningsverkets kontaktperson:

Omar Harrami, enheten för olycksförebyggande verksamhet, 054-10 43 59

Förord

Rapporten ingår som en del i rapporteringen av projektet Utrymningsforskning - påverkansfaktorer. I projektet ingår bland annat också utvärdering efter genomförda utrymningsförsök av några möbelvaruhus samt en biograf. Syftet med projektet är att skaffa kunskap om hur människan reagerar och betar sig vid en utrymningsituation samt att kunna kvantifiera detta i form av den tid som åtgår för att påbörja en utrymning. Projektet har genomförts av Håkan Frantzich vid avdelningen för brandteknik, Lunds tekniska högskola. Till projektet har en referensgrupp varit knuten. Deltagare i referensgruppen har varit:

Göran Davidsson, Det Norske Veritas
Omar Harrami, Räddningsverket (projektledare från oktober 1999)
Lisa Johnsson, Räddningsverket
Robert Jönsson, brandteknik, LTH
Sven Jönsson, IKEA
Claes Malmqvist, Räddningsverket (projektledare tom oktober 1999)
Per-Anders Marberg, Bengt Dahlgren AB
Samuel Nyström, Räddningstjänsten i Jönköping
Ola Åkesson, Räddningsverket

Arbetet som redovisas i denna rapport har genomförts i samarbete med Storstockholms Lokaltrafik AB.

Håkan Frantzich

Innehållsförteckning

Abstract	7
Sammanfattning	9
1 Bakgrund	11
2 Inträffade olyckor i tunnelbanor	13
2.1 Zürich 1991.....	13
2.2 Baku 1995.....	14
2.3 King's Cross 1997.....	14
2.4 Sammanfattning av olycksbeskrivningarna.....	15
3 Problembeskrivning och syfte	16
4 Metod	17
4.1 Generella förutsättningar.....	17
4.2 Försöksplatsen.....	17
4.3 Försökspersonerna.....	18
4.4 Utrustning.....	18
4.5 Genomförande.....	23
4.5.1 Försök 1.....	23
4.5.2 Försök 2.....	25
4.5.3 Insamling av synpunkter från passagerarna.....	27
4.5.4 Personal.....	27
5 Resultat	28
5.1 Försök 1.....	28
5.1.1 Utrymning av tunnelbanevagnen.....	28
5.1.2 Val av gångriktning.....	31
5.1.3 Personflöde genom dörrarna.....	32
5.1.4 Gånghastighet i tunneln.....	32
5.2 Försök 2.....	34
5.2.1 Utrymning av tunnelbanevagnen.....	34
5.2.2 Val av gångriktning.....	35
5.2.3 Personflöde genom dörrarna.....	36
5.2.4 Gånghastighet i tunneln.....	36

5.3 Passagerarnas upplevelse av utrymningen.....	38
5.3.1 Innan dörrarna öppnades.....	49
5.3.2 Efter dörren öppnades.....	40
5.3.3 Förflyttning i tunneln.....	41
5.3.4 Övriga kommentarer.....	43
6 Slutsats, diskussion och fortsatt forskning.....	45
7 Referenser.....	48
Bilaga A.....	49
Bilaga B.....	51

Abstract

An experimental study has been performed with the objective to determine the possibility for passengers to escape from an underground train which has stopped in a tunnel. It is assumed that the train has stopped due to a fire in the tunnel or onboard the train. The passengers then have to evacuate the train, choose the appropriate travel direction and then to proceed to a safe location. The experiment was performed with four different light level conditions ranging from total darkness to ordinary tunnel light. A total of 143 persons took part of the exercise, most of which were employees by the underground operator. The persons were though not familiar with the conditions in the tunnel. The walking velocity was measured at different locations in the tunnel using IR sensitive cameras. The same type of cameras was also located in one of the underground cars. The flow capacity through the car doors was measured. The most important findings were

- a) that it is very important to have some emergency lighting in the tunnel to assist the passengers so they can evacuate rapidly and
- b) that the driver has to be very clear when informing the passengers about what they are expected to do in an emergency.

Keywords: Underground train, subway train, fire, evacuation, walking velocity.

Sammanfattning

Rapporten redovisar resultatet från en utrymningsövning som genomfördes från ett 8-vagnars tunnelbanetåg som stannat i en tunnel. Orsaken till att tåget stannat skulle vara brand i tåget eller i tunneln. Försöket genomfördes en natt mellan den 20 och 21 maj 1999 i tunnelbanan i Stockholm. Platsen för försöket var mellan stationerna Stadion och Östermalms torg. Totalt medverkade 143 försökspersoner av vilka flertalet var anställda vid Storstockholms Lokaltrafik (SL). Försökspersonerna var dock utvalda så att de inte hade något att göra med tunnelarna i sitt ordinarie arbete.

Sammantaget genomfördes två försök och i vardera försöket användes två olika belysningsalternativ. Belysningen varierades från helt släckt belysning till ordinarie tunnelbelysning. Ett av belysningsalternativen var lågt placerad nödbelysning. I ett av försöken provades en ny form av vägledande markering som bland annat angav avståndet till tunnelns båda närmaste stationer.

När tåget stannat i tunneln fick passagerarna utrymma tåget och själva ta sig till lämplig station. Försöken filmades med kameror som hade förmåga att filma även i mörker. Tunneln lystes då upp med hjälp av IR-lampor vars ljus inte syntes för försökspersonerna.

Flertalet av passagerarna hade i det första försöket placerats i en vagn och deras möjlighet att utrymma och komma ner på spåret studerades. De fick då ingen information av föraren utan fick själva fatta beslut om utrymning. I det andra försöket var försökspersonerna mer utspridda i tåget och utrymningen initierades av föraren som meddelade passagerarna om att de skulle utrymma. Dessutom mättes försökspersonernas gånghastighet i tunneln vid de fyra olika belysningsnivåerna. Underlaget i tunnelarna var grov makadam.

Förarens information till passagerarna hade en avgörande inverkan på hur snabbt utrymningen påbörjades. När föraren i det andra försöket informerat passagerarna att de skulle utrymma påbörjades denna omgående. Passagerarna var visserligen medvetna om att de var med i en övning och satt och väntade på någon form av besked men det är ändå troligt att utrymningen påbörjas snabbare om information från föraren finns.

Resultatet av försöken visade att den stora skillnaden i gånghastighet mest var beroende på om det fanns belysning i tunneln eller inte. Nivån på belysningen hade mindre inverkan på gånghastigheten. När belysningen saknades var det uppenbart besvärligt att förflytta sig i tunneln och många snubblade och trevade sig fram. När belysningen tändes till första steget försvann många av de försvårande faktorerna. Detta visar sig också i form av de uppmätta gånghastigheterna i tunneln. För att kunna utrymma genom tunneln på ett effektivt sätt måste det alltså finnas belysning som vägledning åt passagerarna i tåget.

Gånghastigheten med släckt belysning varierade mellan 0,5 och 1,0 m/s med ett medelvärde kring 0,7 m/s. Med belysningen tänd varierade gånghastigheten mellan 1,0 och 1,8 m/s med ett medelvärde kring 1,2 m/s. Detta är gånghastighet som är vanlig även på slätt underlag. Hastigheten ökade ju närmare stationen försökspersonen kom.

Nyckelord: tunnelbana, brand, utrymning, gånghastighet, SL

1 Bakgrund

På senare tid har det blivit vanligare att låta viss trafik förläggas under mark i tunnlar. Det man vill åstadkomma är ett mer effektivt trafikflöde som inte behöver ta hänsyn till befintlig verksamhet ovan mark. Ett annat skäl kan exempelvis vara att det är mycket enklare att låta trafik passera genom ett berg och undvika svårframkomliga passager ovan mark. Detta gäller för tunnlar genom bergen i Alperna. På samma sätt resonerar man när det gäller kollektivtrafiken i större städer. Kollektivtrafik i tunnelbana utgör ett effektivt sätt att flytta stora mängder människor på en begränsad tid.

Men det är inte helt oproblematiskt ur säkerhetssynpunkt att låta tåg eller bilar köra i tunnlar. Trafikolyckor och bränder kan få mer omfattande konsekvenser och vara svårare att hantera för räddningspersonalen om dessa olyckor sker i tunnlar under mark. Den begränsade tillgängligheten gör att räddningsinsatsen försvåras. Det är också mer problematiskt för de passagerare som färdas med till exempel ett tunnelbanetåg att utrymma och sätta sig i säkerhet från ett tåg som stannat i en tunnel. Rök och brand kommer snabbare att påverka ett utrymningsförlopp eftersom möjligheterna att evakuera värme och rök är begränsad.

Dessa risker har på senare tid aktualiserats efter några större brandolyckor i tunnlar. Några sådana exempel är bränderna i vägtunnelarna under Mont Blanc mellan Frankrike och Italien och i Tauerntunneln i Österrike, båda inträffade 1999. En tåg tunnelolycka som inte kan undgå att omnämnas är den som inträffade i tunnelbanan i Baku 1995. Förloppen har visat sig vara mycket utdragna i tiden. I båda vägtunnelolyckorna inträffade bränderna i en lastbil och flera personer omkom.

Detta visar alltså att utrymning från tunnlar där brand inträffat kan vara komplicerad och förenad med livsfara. Det är därför viktigt att dels utforma tunnelarna på sådant sätt att utrymning underlättas och brandförloppet begränsas samt att kunskap finns om hur personer beter sig vid brand i tunnel och hur fort en utrymning kan ske.

Inom Storstockholms Lokaltrafik, SL, har man sedan en längre tid varit medveten om problemen med utrymning från ett tåg som tvingats stanna i en tunnel. Detta framgår bland annat av den utredning om riskerna av brand i tunnelbanan som utförts av Stockholms brandförsvär, Nygren (1997). Om brand inträffar i ett tunnelbanetåg eller i tunneln skall tågföraren så långt det är möjligt köra tåget ut till det fria eller till närmaste station. Tågföraren skall om möjligt undvika att tåget stannar i tunneln så att utrymning måste ske längs tunneln till en station eller till det fria. I tågförarens utbildning ingår moment som behandlar just dessa delar.

Men om tåget av någon anledning ändå stannar i tunneln kan det vara nödvändigt att utrymma tåget genom tunneln till en station eller till det fria. För att kunna planera för sådana händelser måste det vara känt hur

passagerarna klarar av att genomföra en sådan utrymning inne i en tunnel och veta vad som egentligen händer vid utrymning.

Därför initierades ett delprojekt inom ramen för projektet Utrymningsforskning – påverkansfaktorer. Syftet var att undersöka hur passagerarna i ett tunnelbanetåg klarar av att förflytta sig i tunneln om brand utbrutit i tåget eller i tunneln. Delprojektet är ett samarbetsprojekt mellan Lunds universitet, räddningstjänsten i Stockholm och SL.

Projektet Utrymningsforskning – påverkansfaktorer vilket kan ses som övergripande är initierat av Statens räddningsverk, SRV med syfte att studera hur olika faktorer påverkar människans möjligheter att utrymma säkert. Projektet är inte enbart inriktat på tunnelbanor utan täcker också andra verksamheter. Den beskrivning av situationen som görs i denna rapport gäller främst för förutsättningarna i tunnelbanan i Stockholm. På andra platser kan förutsättningarna vara annorlunda.

2 Inträffade olyckor i tunnelbanor

2.1 Zürich 1991

Den 16 april 1991 inträffade en brand i ett tunnelbanetåg i Zürich, Fermaud m fl (1995). Branden som inträffade i den bakre delen av tåget observerades av personal på stationen just som tåget körde in i tunneln. Personalen försökte komma i kontakt med föraren men detta misslyckades. En passagerare som upptäckte branden drog i nödbromsen och tåget stannade inne i en tunnel.

Passagerarna i tåget noterade till en början inte att tåget nödbromsats utan satt kvar på sina platser. Efter en stund började rök att spridas i tunneln och tågpersonal uppmanade passagerarna att inte utrymma tåget. Något senare kommer dock ett besked att tåget skall lämnas. Passagerarna klev då först ner på den gångbana som fanns bredvid spåren för att sedan fortsätta ut i det fria. Under tiden fylldes tunneln med mer rök och hela tunnelns tvärsnitt fylldes ganska snabbt.

De äldre och mer svårörliga hjälptes ner på marken av andra passagerare. Belysningen i detta skede var ganska dålig eftersom marken skuggades av tågets fotsteg. Ändå gick utrymningen utan större problem. Många upplevde röken som ett stort problem eftersom den gjorde att belysningen i tunneln och från tåget hade dålig verkan och det blev mörkt.

Förflyttningen ut till tunnelmynningen gick förhållandevis bra och det var inte många som föll. Underlaget som personerna gick på var plant och förberett som gångbana. Vissa försökte gå ner mellan rälsen men återvände upp på gångbanan eftersom det var lättare att gå där. Många passagerare gick genom rök hela tiden. Flertalet av personerna gick mot den station som tågen var på väg till det vill säga i riktning från branden. Den längsta gångsträckan ut till det fria var 700 m.

Från den frågeenkät som användes kunde man få lite information om hur passagerarna uppfattade situationen. Skyltar som angav avståndet till tunnelmynningen ansågs vara viktig. Däremot ifrågasattes nyttan av vanliga utrymningsskyltar eftersom några uppfattade det som att det då skulle finnas en nödutgång i närheten av denna. De skyltar som används måste vara monterade i direkt anslutning till belysningsarmaturer eftersom röken gör det svårt att se några längre sträckor.

Eftersom branden upptäcktes på ett tidigt stadium kunde räddningsarbetet påbörjas snabbt. Räddningspersonal gick in i tunneln och hjälpte personer ut. Flera passagerare uppgav att de inte trodde att de skulle ha kunnat ta sig ut helt utan denna hjälp. Det visade sig att kommunikationen till passagerarna i inledningen av utrymningen var mycket viktig. Passagerarna påbörjade i princip inte utrymningen innan de blev tillsagda att göra så. Uppskattningsvis utrymde 140 personer och ingen omkom i branden.

2.2 Baku 1995

Den 28 oktober 1995 inträffade en av de mer tragiska tunnelbaneolyckorna i Baku i Azerbajdjan, Rohlén & Wahlström (1996). Vid olyckan omkom 289 personer och ungefär lika många skadades. Den utlösande händelsen var ett elfel i en av vagnarna vilket gjorde att tåget stannade inne i tunneln. När väl branden kommit igång försvårades utrymningen av att dörrarna inte kunde manövreras då funktionen satts ur spel av branden. Utrymningen skedde genom fönster som krossades, genom dörrar i tågets ändar samt genom några sidodörrar som ändå kunde öppnas manuellt.

Spårområdet var heller inte speciellt behagligt att gå på och under utrymnet mellan rälsen löpte en dräneringsränna. Den enda ytan att gå på var således vid sidan av spåret. Röken fyllde tunneln ganska tidigt vilket försvårade sikten. Den högt placerade belysningen täcktes snart av tät rök. Dessutom felmanövrerades fläktar i tunneln så att röken vändes mot de som försökte evakuera så att röken kom igen bakifrån. Många utrymmande gick i riktning mot den station som tåget var på väg mot. Avståndet till den stationen var cirka 2 km.

2.3 King's Cross 1997

En av de mer väldokumenterade olyckorna i anslutning till tunnelbanor är den som inträffade i stationen vid King's Cross i London i november 1997. Branden inträffade visserligen inte i ett tåg eller på spårområdet utan i en rulltrappa men är intressant av olika skäl. Framst eftersom flera olika undersökningar har gjorts för att kunna beskriva vad som egentligen skedde. Det gäller till exempel brandförloppet, spridningen av brand och brandgaser samt hur personerna som var i anläggningen reagerade och vad de gjorde. I en artikel av Donald & Canter (1990) beskrivs det mänskliga beteendet mycket utförligt.

Branden inträffade på kvällen den 18 november och startade i en rulltrappa. Troligen har fett och smuts antänts av en tappad tändsticka. Branden utvecklade sig snabbt och flammor kom upp i den ovanliggande biljetthallen. Totalt miste 31 människor livet i händelsen och många fler skadades.

Undersökningen av Donald och Canter är speciellt intressant eftersom den i detalj beskriver hur flera av de omkomna betedde sig innan de mötte branden. Detta kunde göras för 24 av de 31 omkomna och bygger på vittnesuppgifter. En tydlig slutsats av arbetet är att de roller, med det följande beteendet, som personerna hade innan branden behöll de under hela brandens förlopp.

Det som är mest intressant sett ur beteendesynvinkel är hur människorna tvingas fatta beslut om vad som är en riktig åtgärd baserat på delvis motsägelsefulla signaler. Personer som stod och väntade på sitt tåg blev plötsligt uppmanade av poliser att utrymma stationen vilket då stred mot det som föreföll vara naturligt det vill säga att stå kvar och vänta på tåget.

Personerna var då inte medvetna om att det brann i stationen och insåg inte själva den uppenbara faran. En person som befinner sig i en tunnelbanestation är där i egenskap av resenär och agerar därför enligt denna roll. Om det inträffar en störning i situationen som till exempel att det skulle brinna krävs det mycket för att personen skall bryta sitt invanda mönster, definierat av rollen. Beteendet kan därför sägas bero på i vilken roll en personen befinner sig i och kanske inte så mycket vem personen egentligen är. En och samma person kan agera helt olika just beroende på i vilken roll personen befinner sig i.

Därför agerade polisen i tunnelbanan på ett naturligt sätt och försökte ordna upp det problem som uppstått. Polisen hade en möjlighet att få passagerarna i stationen att bryta sitt normala agerande på grund av sin auktoritära roll. Personal från tunnelbaneföretaget hade inte samma auktoritet och kunde därför inte heller bryta många av passagerarnas beteendemönster. Men även ett auktoritärt beteende kan få fatala konsekvenser om tillräcklig information saknas. En polis visade sig på grund av otillräcklig information leda några passagerare till den biljetthall som senare nåddes av branden från rulltrappan vilket ledde till att de omkom.

Det är viktigt att vara observant på hur en auktoritär representant kan få personer att ändra sin pågående aktivitet också till något som är ett sämre alternativ. Detta är väsentligt i samband med utrymning där man vill leda till exempel tunnelbanepassagerare med hjälp av talade meddelanden, oavsett om dessa är förinspelade eller direkta. Organisatoriska faktorer spelar således en viktig roll vid utrymningen av anläggningar av denna typ.

2.4 Sammanfattning av olycksbeskrivningarna

De inträffade incidenterna är mycket olika. Beskrivningen syftar inte till att ge en heltäckande bild av de olyckor som har inträffat och som är knutna till tunnelbanor eller tågtransporter. Det som är viktigt att ha i åtanke är att för att en olycka skall få ett bra slut är det inte bara av betydelse hur vissa komponenter fungerar. Det är ett samspel mellan olika tekniska system och personella aktörer som gör att en olycka får ett visst resultat. Det som kännetecknar de olyckor med många omkomna är att det är flera system som inte fungerar eller som inte fungerar i den miljö som branden utgör.

I Baku var det flera tekniska system som inte fungerade som tänkt när det brann. Exempelvis kunde inte dörrarna i vagnarna öppnas eftersom branden satt denna funktion ur spel. Dessutom var det svårt att gå i tunneln på grund av dess utformning både vad avser ljus, underlag och avstånd till säker plats. I Londons tunnelbana var det till stor del organisatoriska fel som ledde till den katastrofen. Tåg fortsatte att anlända till stationen fastän det var känt att brand uppstått.

Det som avhandlas i denna rapport är en del i ett helt system för personsäkerhet.

3 Problembeskrivning och syfte

Om ett tunnelbanetåg tvingas stanna i en tunnel där det samtidigt börjat brinna måste passagerarna på tåget i de allra flesta fall utrymma. Den enda vägen som detta kan ske är genom tunneln till en station eller till det fria. Detta är en situation som varken är vanlig eller önskvärd. Om brand inträffar är strategin för tågföraren att fortsätta med tåget ut till det fria eller till närmaste station framåt. Anledningen till detta är att man in i det längsta vill undvika att utrymning sker genom tunneln på grund av alla de försvårande omständigheter detta för med sig.

Men om nu en utrymning genom tunneln visar sig vara nödvändig så är det väsentligt att veta hur denna kan yttra sig i form av personers beteenden och agerande och hur lång tid det tar att flytta alla passagerarna i säkerhet. När tåget skall utrymmas måste passagerarna först förstå faran och sedan fatta beslut om att lämna tåget. Därefter skall de gå längs tåget till en station där de kan fortsätta ut. I ett gynnsamt läge kan tågföraren informera passagerarna om att de måste lämna tåget men det kan också bli nödvändigt att spontant lämna tåget efter att de har tagit ett eget initiativ.

Utrymningen från tåget och genom tunneln kan ske genom rök och under dåliga ljusförhållanden. Många kan också tvingas att på ett påtagligt sätt fly från den direkta brandfaran. De flesta blir troligen mest utsatta för rök, värme och mörker. Eftersom det kan vara mörkt är det osäkert hur personerna väljer att förflytta sig. Det kan ske antingen individuellt eller i grupper. Ett annat problem som kan uppstå är om passagerarna upplever det som besvärligt att redan i det första läget komma ner på marken från tåget. I varje vagn finns en stege som kan användas men det är osäkert om denna används eftersom den inte ligger väl synligt.

Syftet med undersökningen var att studera hur fort en utrymning av ett tunnelbanetåg kan genomföras. Med utrymning menas då både förflyttningen från själva tunnelbanevagnen till tunneln samt den fortsatta förflyttningen inne i tunneln till en station. Val av gångriktning efter personerna kommit ut i tunnels skulle undersökas. Dessutom var en intressant frågeställning hur personerna agerar om de ser en brand i tunneln och samtidigt också ser den station de är på väg mot. Kommer personerna att fortsätta framåt eller vänder de och går åt det motsatta hållet?

Utrymningen skulle genomföras med olika styrka på belysningen i tunneln. Ljusstyrkan varierades mellan de olika försöken från helt släckt tunnelbelysning till full belysning. Passagerarnas gånghastighet i tunneln skulle mätas på olika platser för att studera eventuella trötthetstendenser. Försöken kompletterades med en enkätundersökning för att få med passagerarnas subjektiva upplevelser.

4 Metod

4.1 Generella förutsättningar

Försöken genomfördes som kontrollerade utrymningar från ett stillastående tåg i en tunnel. Tåget kom inledningsvis körande genom tunneln och stannade på en i förväg bestämd plats. Det förutsattes att brand uppstått av någon orsak som gjorde att tåget stannade och inte längre kunde fortsätta. När utrymningen påbörjades dokumenterades passagerarnas beteende med hjälp av videokameror. Med dessa kunde det mätas hur snabbt passagerarna tog sig ut ur vagnen och hur fort det sedan gick att förflytta sig inne i tunneln. Passagerarna fanns inledningsvis i två vagnar i mitten av tåget och videodokumentationen skedde i en av dessa vagnar. Dessutom fanns videokameror monterade på olika platser på utsidan av tåget och i tunneln.

De passagerare som frivilligt deltog i försöket var främst anställda hos SL. Totalt genomfördes två försök med vardera två olika ljusnivåer inne i tunneln. I båda försöken förekom rök och flammor från en brand. Efter varje försök samlades synpunkter in från passagerarna med hjälp av en enkät.

Försöken genomfördes kl 01.00-04.00 den 21 maj 1999. Den övriga tunnelbanetrafiken var då inte igång.

4.2 Försöksplatsen

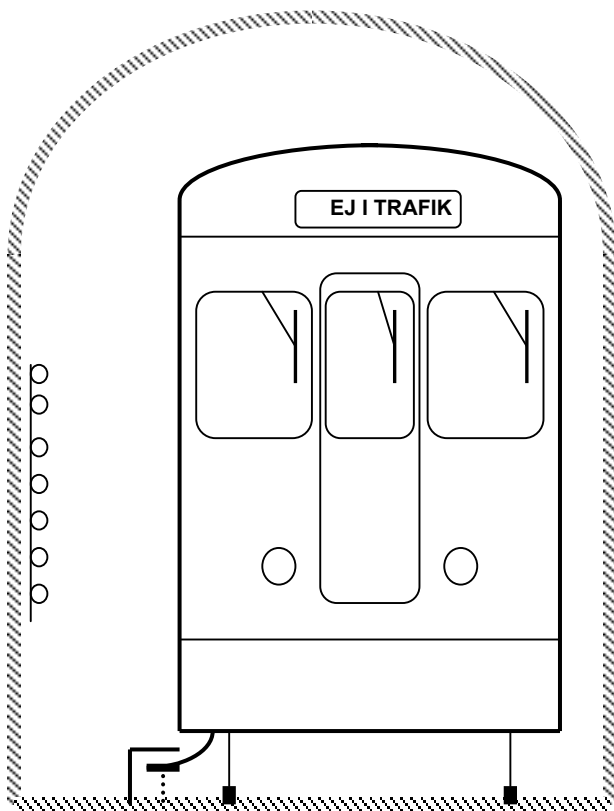
Försöken genomfördes i tunnlarna mellan stationerna Stadion och Östermalmstorg på den så kallade Röda linjen. Tunnlarna är på försökssträckan enkelspårstunnlar, se figur i bilaga A. Försök 1 genomfördes i den södergående tunneln och försök 2 i den norrgående tunneln. Tunnlarna lutar svagt nedåt i riktning mot station Östermalmstorg samtidigt som de svänger vilket gör att sikten begränsas. Det gör att från försöksplatsen är det inte möjligt att se någon av de begränsande stationerna.

På några platser finns det förbindelser mellan tunnelrören så kallade mellanslag. Dessa förbindelser var under försöken avgränsade med försökspersonal som hindrade eventuella passagerare att gå den vägen. I mellanslagen fanns också videokameror monterade för att mäta bland annat gånghastighet.

På försöksplatsen är tunnelns dimensioner förhållandevis gynnsamma för utrymning. På vardera sidan om spåret finns en gångbana som varierar något i bredd men är så bred att en person utan problem kan vistas där. Generellt sett är bredden mellan spåret till tunnelväggen minst en meter.

Längs ena sidan av tunnelväggen löper en vertikal kabelstege men den utgör inte större hinder än en rå bergyta. Gångbanan är något bredare på denna sida om spåret. På samma sida som kabelstegen är placerad löper tågets

strömskena. Den skyddas ovanifrån av en träplanka. Strömskenan begränsar gångbredden vid sidan av tåget något men eftersom den sitter så lågt, se figur 1, påverkar den inte personer som passerar speciellt mycket. Högre placerade hinder inverkar mer på möjligheten att gå naturligt.



Figur 1. Generell skiss av tunnelns tvärsnitt.

Underlaget är grov makadam som är tilljämnd. De slipers som rälsen är fastsatta i ligger med ovankanten i nivå med makadamen. Det som sticker upp från marken är således de två rälerna, strömskenan och ibland en kabel som förser strömskenan med matning.

I tunneln finns fast monterad belysning som kan tändas upp på begäran av till exempel tågföraren. I normalläget är den fasta belysningen släckt. Belysningen består av lysrörsarmaturer som är högt placerade med några meters intervall. Det finns alltså ganska gott om belysningspunkter i tunneln. Vid strömavbrott kan vissa av armaturerna matas från reservkraftkälla. Det gäller cirka var 6:e armatur. I tunneln för det första försöket fanns dessutom en tillfälligt monterad nödbelysning som var placerad cirka 1 m över mark. Dessa armaturer satt monterade på tunnelns vänstra sida sett i tågets färdriktning. Avståndet mellan nödbelysningens armaturer var ungefär 7,5 m.

4.3 Försökspersonerna

Av de 143 försökspersonerna som fungerade som passagerare var 115 anställda vid SL. Passagerarna var utvalda så att de inte hade att göra med tågen eller tunnlarna i sitt normala arbete. Tågförare, reparatörer och liknande personal var inte med som försökspersoner. Av de 115 passagerarna från SL var 29 stycken mellan 18-30 år, 56 stycken mellan 30-50 år och 22 stycken över 50 år.

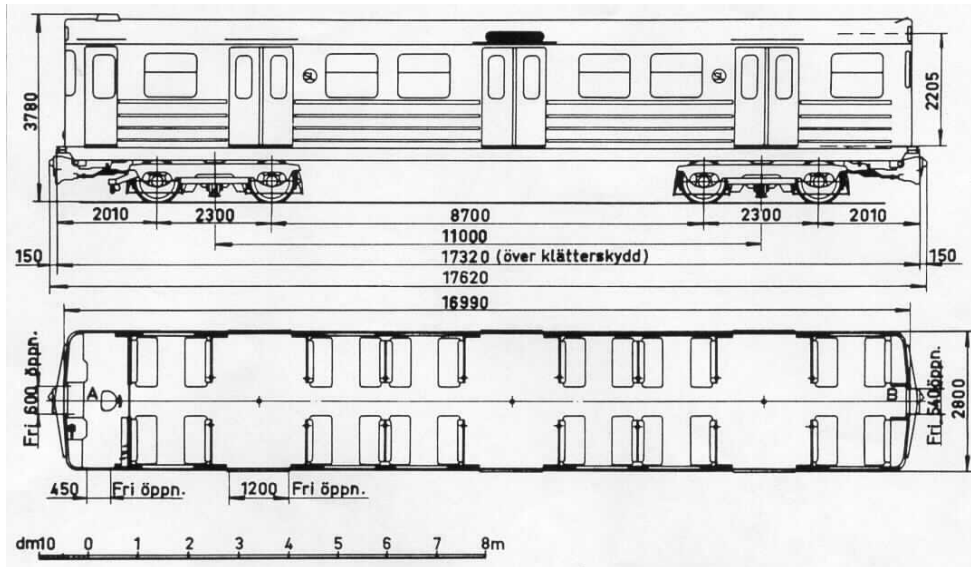
Dessutom medverkade 8 stycken vars ålder är okänd. I försöken var 49 stycken kvinnor och 66 stycken män. Bland passagerarna fanns också ett antal speciellt inbjudna personer främst brandtekniska konsulter. De var i förväg informerade om hur övningen skulle genomföras och var därför instruerade att agera som de övriga passagerarna. Åldersfördelningen för dessa är okänd.

Försökspersonerna från SL hade anmält sig frivilligt till försöket och visste om att de skulle vara med om en utrymningsövning. De var dock inte informerade om hur övningen skulle genomföras eller vilka förutsättningarna var. Varje person var försedd med en nummerlapp för identifikation. Några var dessutom märkta med reflexband för identifiering på videobanden.

4.4 Utrustning

Det tunnelbanetåg som användes var ett 8-vagnars tåg med vagnar av typ C13, figur 2. SL har cirka 430 vagnar av denna typ. Varje vagn är ungefär 17 meter lång vilket gör att det använda tåget är cirka 140 m. Vagnens alla 6 dörrar kan nödöppnas med hjälp av ett vridhandtag under en lucka över respektive dörr, se figurerna 3 och 4.

Det betyder att dörrarna kan öppnas även om det inte finns tryckluft eller elström till tåget. Dörrarnas fria öppningsbredd är cirka 1.2 m. Varje vagn tar maximalt 50 sittande samt 100 stående personer. I varje vagn finns en stege som kan användas vid utrymning. Stegen förvaras normalt på en bagagehylla i ena änden av vagnen. Den vagn med monterade kameror var placerad i mitten av tåget, se figur 6.



Figur 2. Skiss över vagntypen C13 som användes i försöken.



Figur 3. Bild av lucka under vilken nödöppnaren till dörren finns.

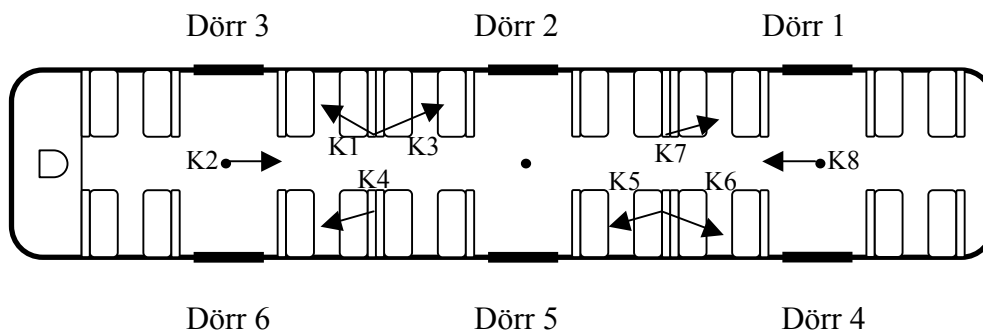


Figur 4. Handtaget till nödöppnaren.

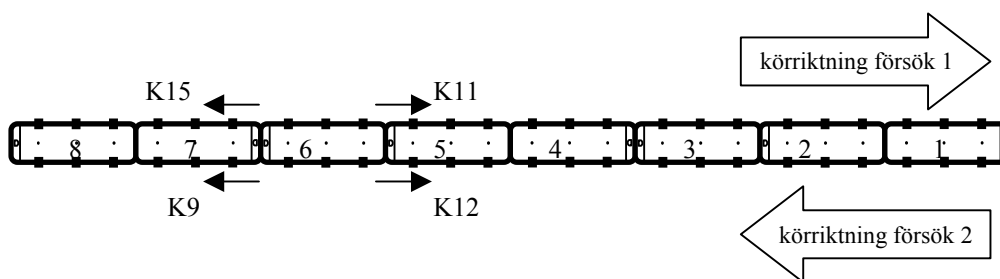
Tåget drivs med ström från den strömskena som löper parallellt med rälsen. Det är samma strömkälla som levererar el till bland annat belysning och kommunikationssystemet på tåget. Om strömmen försvinner finns batterier ombord som kan förse den viktigaste utrustningen med ström. Det finns nödbelysning i tåget som drivs av dessa batterier. Belysningsnivån är lägre med nödbelysningen tänd men den är ändå fullt tillräcklig för att passagerarna skall kunna orientera sig i vagnen.

För att kunna observera vad som skedde inne i tunnelbanevagnen och utanför filmades hela övningen med videokameror som också var känsliga för ljus i det infraröda området. Med hjälp av IR-belysning kunde de därför filma det som skedde i den mörka tunneln. IR-lamporna gav ett ljus som inte kunde observeras av det mänskliga ögat. I den vagn där flertalet av passagerarna åkte, vagn 5, fanns 8 kameror monterade vilka täckte in alla de 6 utgångsdörrarna. De övriga kamerorna användes för att överskådligt filma händelserna i vagnen, figur 5.

Dessutom fanns det videokameror monterade på tågets utsida för att dokumentera vad som skedde strax utanför några av vagnens utgångar, se figur 6. Dessa kameror användes också för att uppskatta gånghastigheten för de passagerare som gick längs tågets utsida. Tågets körriktning är åt höger i första försöket och åt vänster i det andra försöket.



Figur 5. Planskiss av vagn 5 med position och riktning för de 8 videokamerorna i vagnen.



Figur 6. Uppbyggnad av försökståget. Pilar anger riktning och placeringen av externa videokameror. Siffrorna anger vagnsnummer.

I tunneln fanns också två kameror monterade som användes för att mäta passagerarnas gånghastighet när de väl kommit en bit från tåget. Dessa kameror var placerade på olika avstånd från det stillastående tåget vilket gjorde det möjligt att se om det fanns någon skillnader i gånghastighet när en passagerare gått en sträcka i tunneln.

Sträckorna som användes för mätning av gånghastighet var uppmärkta med färg och reflexband. Längden på mätsträckorna varierade från några meter till drygt 130 m. Placeringen av mätsträckorna framgår av figuren i bilaga A.

För att efterlikna realistiska förhållanden, det vill säga brand i tunneln, lades konstgjord rök ut i tunneln. Dessutom anlades en mindre brand i det andra försöket för att studera personernas reaktion på synlig brand. Det som skulle observeras var hur personerna agerade när de såg den upplysta station Stadion i bakgrunden och samtidigt hade branden mellan sig själva och stationen. Frågan var om detta förhållande var tillräckligt för att vända om och utrymma i motsatta riktningen.

4.5 Genomförande

4.5.1 Försök 1

Scenario

Det tänkta scenariot som skulle studeras kan beskrivas på följande sätt. Tåget startar från ändstationen i Mörby och kör mot Stadion. Tåget stannar på vanligt sätt vid Stadion. Vid Stadion inleds försöket med att tåget avgår mot Östermalmstorg. Brand bryter ut i första vagnen vid förarplatsen. När tåget kommit in i tunneln sprider sig branden till förarplatsen och observeras först nu.

Föraren stannar tåget men kan på grund av branden inte meddela trafikledningscentralen (TLC) om att det brinner. Föraren lämnar tåget för att meddela TLC men förmår inte meddela passagerarna med hjälp av högtalarsystemet ombord. Strömmen till tåget bryts eftersom branden skadat vital utrustning. Tågets belysning matas nu via reservkraft ombord. Passagerarna får ingen information av föraren utan måste själva fatta beslut om utrymning utifrån att tåget kraftigt bromsat in och det finns rök utanför tåget.

När passagerarna väl fattat beslut om att utrymma går de mot det håll de tror att närmaste station finns.

Kontroll av försöket

Vid ändstationen i Mörby fylldes tåget med passagerare och startade sin färd mot Stadion och Östermalmstorg. Videokamerorna aktiverades före starten från Mörby. Tåget stannade till på Stadion och fortsatte sedan mot Östermalmstorg genom den södergående tunneln för att stanna mellan stationerna. När väl tåget stannat i tunneln stod det delvis i rök. Föraren uppmanades före försöket att stanna tågen så att han precis körde in i rökmolnet. Föraren var sedan tidigare informerad om uppläggningsen av försöket.

Allt eftersom försöket pågick spred sig röken bakåt längs tågets sidor. Varken ordinarie belysning eller nödbelysning i tunneln var tänd eftersom föraren lämnat tåget utan att kunna komma i kontakt med TLC. Det är från TLC som eventuell belysning i tunneln tänds. Den enda belysning som fanns var nödbelysningen från vagnen. I övrigt var det mörkt i tunneln.

Passagerarna var i försök 1 placerade i två vagnar i mitten av tåget. I den vagn där kamerorna placerats (vagn 5) fanns 121 passagerare och de övriga 22 i vagn 4 intill det vill säga i vagnen framför sett i tågets färdriktning. Det var alltså ganska trångt i vagn 5 vilket illustreras av figur 7. Passagerarna i vagn 4 hölls kvar av försökspersonalen tills utrymningen av vagn 5 kommit igång. Detta gjordes för att kunna dokumentera det inledande skedet med videokamerorna utan att det skulle finnas personer utanför vagnen.



Figur 7. Bild från vagn 5 sett från kamera 2.

I det verkliga scenariot antas det att passagerarna själva fattar beslut om att utrymma. I försöket skedde inte detta eftersom passagerarna informerats om att de inte fick påbörja försöket förrän de fått besked att starta försöket via högtalarsystemet. Anledningen till detta förfarande var att strömmen till tåget först måste kopplas ifrån och skyddsjordning ske innan någon fick komma ut i tunneln.

Detta moment var förberett så att det skulle ta så kort tid som möjligt. Men det innebar ändå att det blev en kort paus innan övningen fick börja. När skyddsjordningen var klar meddelade försöksledaren i tåget att "Övningen får börja". Därefter skulle de själva öppna dörrarna och börja utrymningen av vagnen.

När passagerarna kom ner på marken i tunneln fick de själva välja åt vilket håll de skulle gå. I främre änden av tåget fanns försökspersonal som hindrade de passagerare som valde att gå åt det hållet från att fortsätta hela vägen till Östermalmstorg. Några av dessa passagerare fick besvara den skriftliga enkäten på plats framför tåget. Övriga passagerare som gick mot Stadion fick fortsätta tills de kommer fram till stationen. Där fick vissa fylla i motsvarande enkät.

När försöket hade pågått en tid tändes nödbelysningen. Detta skedde innan alla passagerare som gick mot Stadion kommit fram dit. Det fanns därför möjlighet att mäta gånghastighet under två olika belysningssituationer i tunneln; helt släckt och med nödbelysningen tänd.

Försöket avbröts när passagerarna gått förbi den sista kameraplatsen och nått Stadion. Därefter återvände alla passagerare till Stadion och tåget backade tillbaka för att iordningställas för det andra försöket. Därefter fick passagerarna gå ombord på tåget igen för transport till försök 2.

Försöksuppställning

Försöket genomfördes i den södergående tunneln mellan stationerna Stadion i norr och Östermalmstorg i söder. Placeringen av tåget, branden och rökaggregatet finns redovisad på skissen i bilaga A. Där finns också markerat var kameror i tunneln för hastighetsmätningen fanns placerade. Tåget stannade på en plats där det var möjligt att utrymma från tågets båda sidor. Ljusnivån i tunneln uppmättes till 0 lux när nödbelysningen var släckt.

Samtidigt var då belysningen direkt utanför tåget något högre, kring 1 lux. Detta berodde på att tågets nödbelysning lyste upp marken genom de öppna dörrarna och fönsterna. När nödbelysningen tändes i tunneln ökade belysningen till 1 lux som lägst och 50 lux direkt under ljuspunkterna. Ljusnivån mättes i marknivå på de platser som är markerade i figuren i bilaga A.

4.5.2 Försök 2

Scenario

Tåget startar från station Östermalmstorg och närmar sig station Stadion när föraren märker att det är rök i tunneln. Han ser en brand i en kabelstege längre fram. Han väljer att stanna tåget och kontaktar TLC som försöker aktivera belysningen. Den ordinarie belysning visar sig vara utslagen och endast den reservmatade belysningen tänds. Strömmen till tåget bryts också på grund av branden och då väljer föraren att utrymma tåget. Föraren meddelar passagerarna att det är rök i tunneln och att han kan se en brand längre fram i tunneln. Han informerar om de säkerhetsföreskrifter som gäller vid utrymning och talar om att närmaste station är Stadion som ligger framåt i tågets riktning. Därefter öppnar han dörrarna på tågets vänstra sida (sett i färdriktningen).

Passagerarna lämnar tåget och går åt det håll de tror att Stadion ligger.

Kontroll av försöket

Videokamerorna i tåget aktiverades före avfärden från Stadion. Därefter körde tåget till Östermalmstorg och vände tillbaka mot Stadion igen fast genom den norrgående tunneln. Tåget bytte då färdriktning för att kunna köra mot Stadion. Föraren stannade tåget så att det delvis stod i rök. Föraren var sedan tidigare informerad om uppläggningsen av försöket. Från förarplatsen var det möjligt att se branden som var placerad på spåret. I bakgrunden syntes Stadion och ljuset från stationen. Men bara en liten sträcka bakom föraren var det omöjligt att se stationen på grund av tunnelns krökning. När tåget stannat påbörjades skyddsjordningen av strömskenan.

Inledningsvis i försöket aktiverades den reservmatade belysningen eftersom hastighetsmätningarna skulle göras för både reservmatad belysning och vid full belysning. Det uppstod alltså en tidslucka från det att tåget stannade och strömmen bröts tills att föraren meddelade passagerarna. Denna tid går i en verklig situation åt till att kontakta TLC.

Passagerarna informerades före avfärden från Stadion om att de skulle invänta besked från föraren om tåget stannade i tunneln. Förutsättningen för det andra försöket var att föraren skulle leda utrymningen. I detta försök var passagerarna mer utspridda i tåget för att efterlikna förhållandena under låg till normaltrafik, se figurerna 8 och 9. Kameraobservationerna gjordes i samma vagn som i försöket innan det vill säga i vagn 5. Totalt fanns 39 passagerare i vagnen i detta försök.



Figur 8. Bild från vagn 5 sett från kamera 2.



Figur 9. Bild från vagn 5 sett från kamera 8.

När tillräckligt underlag erhållits vad avser gånghastighet med den reservmatade belysningen tändes den ordinarie belysning.

De passagerare som valde att gå bakåt sett ur tågets färdriktning samlades upp av försökspersonal så de inte fortsatte till Östermalmstorg. Några av passagerarna fick fylla i enkäter om sina upplevelser under försöket.

Försöket avbröts när de flesta passagerare kommit till Stadion eller till slutet av tåget. Tåget fortsatte därefter fram till Stadion och alla fick gå ombord för återtransport till Mörby där försöket avslutades.

Försöksuppställning

Försöket genomfördes i den norrgående tunneln mellan stationerna Stadion i norr och Östermalmstorg i söder. Placering av tåget, brand och rökaggregat finns redovisade på skissen i bilaga A. Där finns också angivet var kameran för hastighetsmätning i tunneln fanns placerad. Tåget stannade på en plats där det inte var möjligt att utrymma från tågets högra sida sett i färdriktningen. Men detta saknade betydelse då föraren öppnade dörrarna på motsatta sidan.

Ljusnivån i tunneln uppmättes till 1 lux som lägst och 50 lux direkt under ljuspunkterna för båda belysningsalternativen. Skillnaden mellan belysningsalternativen är att färre ljuspunkter är tända när reservbelysningen är tänd. Avståndet mellan tända belysningspunkter är då längre. Ljusnivån mättes i marknivå på de platser som är markerade i figuren i bilaga A.

4.5.3 Insamling av synpunkter från passagerarna

Efter varje försök fick några passagerare (mellan ca 5-30 personer per plats) en enkät att fylla i. Personerna som fick enkäten valdes ut slumpmässigt. Enkäterna skall kunna ge synpunkter på hur passagerarna själva upplevde situationen innan utrymningen, under själva utrymningen från vagnen till spåret samt under förflyttningen till stationen. Den enkät som användes finns redovisad i bilaga B.

4.5.4 Personal

Innan försöken påbörjades placerades försökspersonal ut både på Stadion och i tunneln där försöksområdet slutade. Begränsningen av försöksområdet i tunneln var placerad vid den ände av tåget som ligger närmast Östermalmstorg. I tunneln fanns även personal som skyddsjordade strömskenan innan försöken påbörjades, som manövrerade de kameror som placerats ut och som ordnade så att det fanns rök och eld på avsedda platser. På station Stadion fanns sjukvårdspersonal i beredskap om någon bland passagerarna skadade sig.

5 Resultat

Resultaten utgörs av material i form av videoband och enkäter.

5.1 Försök 1

Försöket inleddes med att tåget stannade i tunneln vid tiden $t = -8$ minuter och 50 sekunder (kl 1.21.15). Strömmen till tåget bröts ca 55 sekunder senare. Tanken var att meddela passagerarna att de fick börja övningen så snart strömmen till tåget brutits. Men på grund av ett fel i tågets högtalarsystem så hörde inte passagerarna detta meddelande. Ljudnivån var för låg och det dröjde därför en längre stund än planerat innan de började agera.

5.1.1 Utrymning av tunnelbanevagnen

Vid tiden $t = 0$ (kl 1.30.05) öppnades den första dörren, dörr 6, och den första personen hoppade ut någon sekund senare. Det är osäkert vad som orsakade att utrymningen påbörjas. Det kan vara så att någon hört det svaga meddelandet men det kan också vara så att utrymningen startade spontant. Diskussioner utbröt på flera ställen i vagnen om att hämta en stege som skulle finnas i vagnen. Stegen hämtades och placerades ut vid den dörr som var närmast vilket innebar dörr 6. Vid de andra dörrarna talade man om att man ville ha en stege men det fanns bara en på tåget. Utrymningen av vagnen började på allvar först efter ca 55 sekunder (kl 1:31:00) från dörr 6 och något senare vid de övriga. Utrymningsförloppet beskrivs i nedanstående tabell 1. Dessutom visar figurerna 12-17 var passagerarna befann sig vid några olika tidpunkter. Figurerna visar också hur persontätheten varierade under utrymningsförloppet. Persontätheten uppskattas på enklaste sätt med två nivåer: där personer står i kö utan att röra sig (hög persontäthet = mörk färg) och där personer går eller står stilla men det samtidigt är gott om plats runt personen (låg persontäthet = ljus färg). Exempel på de två nivåerna visas i figurerna 10 och 11.



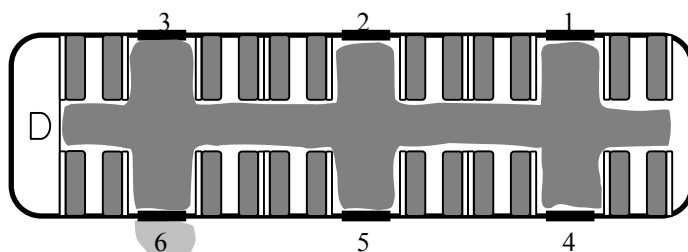
Figur 10. Hög persontäthet.



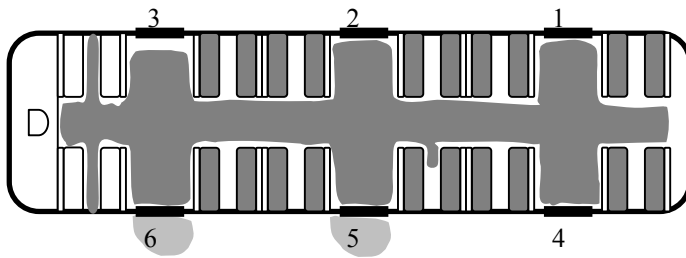
Figur 11. Låg persontäthet.

Tabell 1. Sammanfattning av utrymningsförloppet i försök 1.

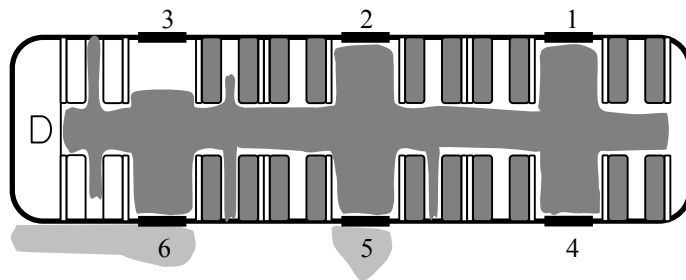
Tidpunkt	Händelse
-8:50	Tåget stannar i tunneln
-7:55	Strömmen till tåget bryts.
-3:55	Passagerarna börjar tala om att de ser och känner rök i vagnen.
0:00 (kl 1:30:05)	Dörr 6 öppnas. Montering av stegen påbörjas.
0:07	Dörr 5 öppnas.
0:55	Stegen på plats utanför dörr 6. Utrymningen kommer igång vid dörr 6.
1:25	Utrymningen kommer igång vid dörr 5.
1:50	Dörr 3 öppnas.
1:58	Dörr 2 öppnas.
2:04	Dörr 4 öppnas.
2:10	Utrymningen kommer igång vid dörr 3.
2:20	Utrymningen kommer igång vid dörr 2 och 4.
2:55	Sista köande person passerar dörr 5.
3:07	Sista köande person passerar dörr 3.
3:21	Sista köande person passerar dörr 4.
3:25	Sista köande person passerar dörr 2.
3:25	Sista person passerar dörr 3. 22 personer använde dörren.
3:27	Sista person passerar dörr 4. 26 personer använde dörren.
3:59	Sista person passerar dörr 5. 32 personer använde dörren.
4:18	Sista person passerar dörr 2. 16 personer använde dörren.
4:37	Sista köande person passerar dörr 6.
5:00	Sista person passerar dörr 6. 25 personer använde dörren.
7:00	Nödbelysningen tänds.



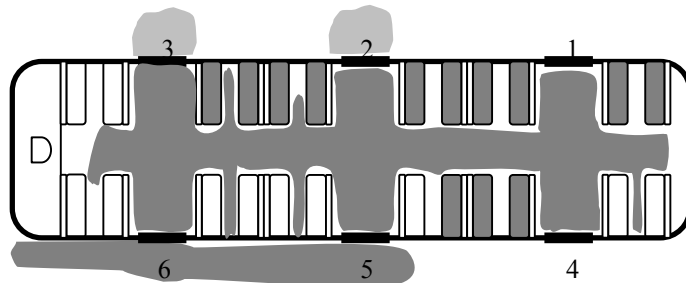
Figur 12. Placering av passagerare i vagn 5 vid tiden $t = 0$ (kl 1:30:05).



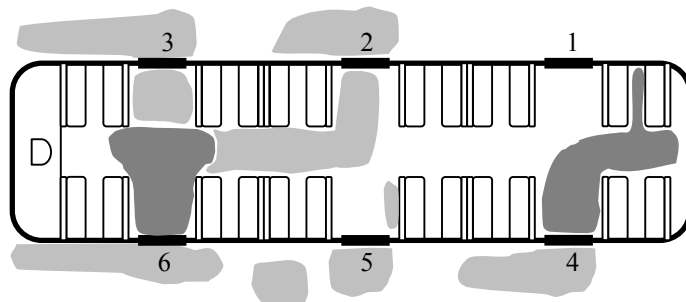
Figur 13. Placering av passagerare i vagn 5 vid tiden $t = 30$ sekunder (kl 1:30:35).



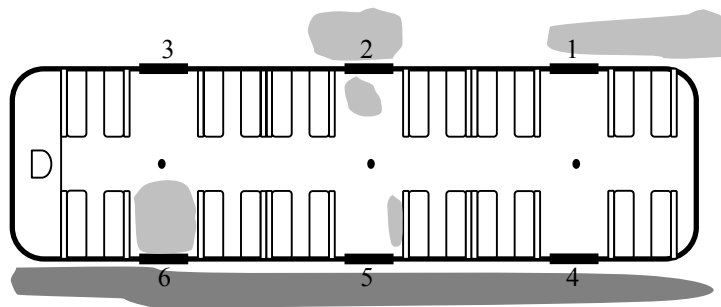
Figur 14. Placering av passagerare i vagn 5 vid tiden $t = 1$ minut (kl 1:31:05).



Figur 15. Placering av passagerare i vagn 5 vid tiden $t = 2$ minuter (kl 1:32:05).



Figur 16. Placering av passagerare i vagn 5 vid tiden $t = 3$ minuter (kl 1:33:05).



Figur 17. Placering av passagerare i vagn 5 vid tiden $t = 4$ minuter (kl 1:34:05).

Det framgår av tabell 1 och figurerna 12-17 att det fanns flera personer kvar i vagnen när köerna försvunnit framför dörrarna. Några personer gick omkring i tåget utan att vilja hoppa ut. Anledningen till att de dröjde sig kvar var att de tyckte att det var för högt för att hoppa ner till marken. Men de bestämde sig efter en stund att ändå hoppa ut och gå mot en station. De sista som lämnade vagnen var passagerare som stod och väntade på att använda dörr 6 där stegen var placerad. Då var det tomt vid de övriga dörrarna. Alla dörrar utom dörr 1 användes för utrymning.

5.1.2 Val av gångriktning

Tidigt i förloppet uppstod diskussioner om åt vilket håll som var mest lämpligt att gå åt för att komma till närmaste station. Denna diskussion var tydligast utanför dörrarna 4, 5 och 6. De flesta i vagnen, 83 passagerare, valde att hoppa ut genom någon av dessa dörrar. Vissa av passagerarna valde sedan att gå i tågets ursprungliga färdriktning, vilket främst var de vid dörr 4, medan flertalet valde att gå åt det andra hållet. På den sidan fanns det inga skyltar som angav riktning och avstånd till närmaste station. Det innebar att de flesta av passagerarna fick gissa sig till åt vilket håll de skulle gå.

På vänstra sidan av tåget fanns avståndsskyltar monterade vilket underlättade valet av gångriktning. Dock valde bara 38 passagerare denna sida och det verkade som om alla dessa valde att gå mot Stadion vilken ju var den närmaste stationen.

Totalt valde 108 personer att gå i riktning mot Stadion varav 56 personer passerade på tågets högra sida i färdriktningen och 52 personer på vänstra sidan. Av dessa satt några inledningsvis i vagn 4. Det betyder att 75% av personerna valde att gå tillbaka mot den station som senast lämnats.

5.1.3 Personflöde genom dörrarna

I princip kan man säga att varje person tog ca 5 sekunder på sig att klättra från vagnen till spåret. Flödet är alltså kring 0.2 personer per sekund. Om personen istället valde att ta sig ner på spåret med hjälp av stegen tog det istället cirka 10 sekunder per person vilket motsvarar ett flöde på 0.1 person per sekund. Det går alltså långsammare att använda stegen jämfört med att hoppa eller klättra utan steg. Det tog också en viss tid att få stegen på plats och det var inte många som hoppade ut genom dörren under den tiden. Det stod dessutom flera personer i kö vid den dörr där stegen placerades fastän flera andra dörrar var outnyttjade.

5.1.4 Gånghastighet i tunneln

Gånghastigheten mättes på flera ställen i tunneln, både där passagerarna gick längs tåget och i tunneln när de passerat bakre änden av tåget, se figuren i bilaga A. Hastigheten mättes vid två olika nivåer på belysningen i tunneln; ingen belysning och med nödbelysning tänd. Gånghastigheterna redovisas i tabell 2. När passagerarna gick längs tåget gav tågets nödbelysning en viss hjälp åt personerna och det var aldrig helt mörkt där. Däremot var röken mer besvärande utmed tågets sidor eftersom branden var relativt nära. Detta påverkade också gånghastigheten.

När nödbelysningen tändes vid $t = 7$ minuter (kl 1:37:05) blev det lättare att förflytta sig och högre gånghastighet uppmättes. Vid den tidpunkten hade alla passagerare passerat mätpunkterna utmed tågets sidor. Den högre hastigheten längs tågets sidor kan därför inte verifieras. Däremot när passagerarna kommit en bit från tåget kan en högre hastighet noteras när nödbelysningen tänds.

Tabell 2. Gånghastighet i tunneln (m/s). Kursiva siffror anger hastighet som uppskattats under osäkra förhållanden (mycket rök framför kameran). Intervallen kompletteras för vissa mätningar med ett medelvärde.

Belysning	Röktäthet	Längs med tåget		I tunneln efter tåget		
		Vänster sida	Höger sida	Vid K13	Vid K14	Mellan K13 och K14
Ingen belysning	tunn rök	<i>0.9-1.0</i>	<i>0.9-1.1</i>	0.5-1.0, 0.7	ej mätt	ej mätt
	tät rök	ej mätt	<i>0.8-0.9</i>	0.5-1.0, 0.7	ej mätt	ej mätt
Nödbelysning	tät rök	ej mätt	ej mätt	1.0-1.45, 1.2	1.0-1.8, 1.4	1.0-1.2, 1.1

Gånghastigheten för personer som går längs tågets sidor är lite osäker eftersom det är svårt att se exakt när personen är inne i mätområdet. Detta berodde främst på att det var förhållandevis tät rök vid dessa mätningar.

Därför är hastigheterna uppskattade efter jämförelser med hastigheter på andra platser. Dessa har markerats med kursiva siffror i tabellen.

När personerna kom bort från tåget och ljusstyrkan minskade ner till obefintlig sikt sjönk gånghastigheten, figurerna 18 och 19. Många personer besvärades av mörkret och från videofilmerna framgår det att det var besvärligt att gå i mörkret och många snubblar lite. Dock observeras inga fall.



Figur 18 och 19. Förflyttning förbi kamera 13 med släckt tunnelbelysning.

Det verkar också som om passagerarna vände sig vid att gå i tunneln eftersom hastigheten ökade något mellan de båda mätningarna vid kamera 13 respektive kamera 14. Vid mätningen strax innan slutstationen nås gånghastigheter kring 1.4 m/s vilket är att betrakta som normal gånghastighet på slätt underlag. Den ökande hastigheten kan eventuellt motiveras av att personen då också ser belysningen från stationen och av den anledningen går fortare. Från försök gjorda i Hong Kongs tunnelbana redovisas gånghastigheter kring knappt 1 m/s när passagerarna eskorteras ut. Det framgår dock inte under vilka ljusförhållanden som dessa data gäller för, Kynaston (1997).

Hastigheten vid första mellanslaget efter tåget vid kamera 13 baseras resultatet på ca 15 personers hastighet. Resultatet för mätningen vid kamera 14 baseras på 24 personers hastighet. Den sista kolumnen i tabell 2 utgörs av resultatet från hastighetsmätning mellan de båda mellanslagen. Där kunde fem personer med säkerhet identifieras och deras hastighet mätas. Orsaken till att inte fler passagerare användes för uppskattningen av hastigheten vid de olika mätplatserna är främst två:

- Röken i tunneln gjorde att det kunde vara svårt att se när en passagerare gick in i eller ut ur mätområdet. Det gällde speciellt för mätning längs tågets sidor.
- För mätningen längs den långa mätsträckan kunde endast de passagerare försedda med reflexband identifieras på båda ställena. För övriga passagerare gjorde röken identifieringen osäker. Dessutom hade flera passagerare hunnit passera det första mellanslaget innan nödbelysningen tändes. Men vid det tillfället hade ingen hunnit fram till andra mellanslaget. De som då befann sig på mätsträckan gick då delvis i mörker respektive nödbelysningsssken.

5.2 Försök 2

Tåget stannade i tunneln vid tiden $t = -3$ minuter och 35 sekunder (kl 2:51:00) och strömmen till tåget bröts vid $t = -3$ minuter och 13 sekunder (kl 2:51:22) vilket gjorde att nödbelysningen i tåget tändes. Passagerarna satt kvar på sina platser och inväntade besked från föraren. Vid tiden $t = -30$ sekunder (kl 2:54:05) meddelade föraren att passagerarna skulle utrymma. Meddelandet hade följande lydelse:

”Jag har ett meddelande till samtliga trafikanter. Det är föraren som talar. Vi har en brand i tunneln så vi måste snabbt utrymma tåget. Jag kommer strax att öppna dörrarna så ni kan ta er ut. Men det är några saker som ni ska tänka på innan ni går ut. Kliv inte på strömskenan då det kan finnas ström där och gå inte på spåret intill då det kan komma tåg där. Närmaste station är Stadion och då fortsätter ni framåt i tågets riktning. Se upp för dörrarna på vänster sida i tågets riktning, jag kommer att öppna dem nu.”

Dörrarna öppnades vid $t = 0$ (kl 2:54:35). Tunnelns reservbelysning var av tekniska skäl redan tänd när tåget stannade. Tabell 3 sammanfattar utrymningen.

5.2.1 Utrymning av tunnelbanevagnen

När väl dörrarna öppnades så påbörjades utrymningen direkt och vagn 5 tömdes på mycket kort tid. Föraren upprepade sitt meddelande kort efter första gången (vid $t = 25$ sekunder, kl 2:55:00). Utrymningen var klar vid $t = 41$ sekunder (kl 2:55:16). Nu var det visserligen färre passagerare i vagnen jämfört med försök 1 men skillnaden är ändå stor. En viss del av den snabba utrymningen kan också förklaras med att passagerarna nu varit med om en utrymning tidigare och visste hur man skulle ta sig ner på spåret på ett enkelt sätt. Stegen användes inte i vagn 5 men däremot i någon av de andra vagnarna. Där stegen användes uppstod ganska snabbt en kö på marken av passagerare som kom från andra vagnar eftersom bredden minskade och det blev svårare att passera.

Tabell 3. Sammanfattning av utrymningsförloppet i försök 2

Tidpunkt	Händelse
-3:35	Tåget stannar i tunneln.
-3:13	Strömmen till tåget bryts.
-0:30	Föraren meddelar passagerarna att de måste utrymma tåget.
0:00 (kl 2:54:35)	Dörrarna öppnas.
0:02	Första person passerar dörrarna 4 och 5.
0:05	Första person passerar genom dörr 6.
0:20	Sista köande person passerar dörr 5. 12 personer använde dörren.
0:32	Sista köande person passerar dörr 6. 13 personer använde dörren.
0:42	Sista köande person passerar dörr 4. 14 personer använde dörren.
7:47	Tunnelbelysningen tänds till ordinarie ljusnivå.

5.2.2 Val av gångriktning

Det stora problemet som uppstod var åt vilket håll som passagerarna skulle gå. Enligt förarens meddelande skulle de gå framåt i tågets färdriktning. Men eftersom tåget bytt färdriktning mellan försök 1 och 2 var det troligen några som inte var medvetna om vilket som var framåt.

När dörrarna öppnades hoppar många ut direkt men blev stående utanför främst för att vänta in alla i vagnen. I de främre vagnarna kunde man tydligt se branden i riktning mot Stadion och de som satt där gick ganska omgående åt det hållet. I vagnarna längre bak i tåget uppstod det tydligare köer på grund av att passagerarna inte visste åt vilket håll de skulle gå åt. Utanför vagn 5 började passagerarna att gå framåt men efter ett tag, cirka 1 minut efter dörrarna öppnades, stannade passagerarna upp.

Det utbröt diskussioner om att ”det är fel riktning” och att ”det brinner här framme” vilket var orsaken till stoppet. Många var ganska högljudda och upprörda över att förflyttningen stannat upp. Vid tiden cirka $t = 3$ minuter och 20 sekunder vände kön och började röra sig bakåt längs tåget. Men alla vände inte om utan några försökte fortfarande att gå framåt och det utbröt viss trängsel.

Några av de som vände gjorde det fastän de visste att Stadion låg i den andra riktningen (framåt) med motivet att ”jag går inte åt det hållet för det brinner där”. Men de flesta som vände gjorde det eftersom så många andra också vände. Vid tiden $t = 3$ minuter och 30 sekunder blev det en tydlig uppdelning av passagerare som går framåt respektive bakåt. Men många passagerare bara väntade i tunneln och kön står därför tidvis helt stilla eller rör sig sakta bakåt respektive framåt.

Cirka 4 minuter efter det att dörrarna öppnades började köerna att röra sig lite snabbare och ungefär vid tiden $t = 5$ minuter var det tomt utanför vagn

5. Då hade alla bestämt sig åt vilket håll de skulle gå åt och det blir snabbt tomt också utanför de andra vagnarna. Totalt valde ca 60 passagerare att gå framåt mot branden. Det innebar att mindre än hälften valde den vägen.

Men orsaken till valet kanske inte enbart bestod i att det brann i den riktningen. Många visste inte vilken riktning som var framåt i tågets färdriktning. En försvårande omständighet i detta försök var att tågföraren uppmanade personerna att gå framåt i tågets längdriktning vilket var samma riktning som mot branden. Det betyder att personerna utsattes för en konflikt i att dels gå mot branden och framåt mot bakgrund av förarens instruktion när de kanske hellre ville gå åt motsatta hållet vilket några personer diskuterar kring.

Något entydigt svar på frågan om hur villig man är att gå mot branden kan nog inte utläsas på grund av förvirringen kring tågets färdriktning.

5.2.3 Personflöde genom dörrarna

Flödet av personer ut vagnen varierade mellan 0.4-0.6 personer per sekund vilket är mycket snabbare jämfört med första försöket. Detta kan bero på att det var betydligt ljusare utanför dörrarna samtidigt som passagerarna just avslutat försök 1. De hade alltså övat utrymning en gång en timma tidigare och visste hur det var att hoppa ut genom dörrarna. Trängseln var dessutom mindre både i vagnen och utanför. Passagerarna fördelade sig jämnt mellan de tre öppna dörrarna i vagn 5. Utrymmet utanför dörrarna var ungefär detsamma som vid försök 1.

5.2.4 Gånghastighet i tunneln

I detta försök var belysningsnivån högre jämfört med försök 1 vilket gör det lättare att förflytta sig. Gånghastigheten längs med tåget var förhållandevis hög, knappt 1 m/s när reservbelysningen var tänd. Detta skiljer inte så mycket från försök 1 där liknande hastigheter uppmättes. Det som styr är hur fort långsammaste personen i gruppen går. Passagerarna gick vanligen efter varandra och gruppbildningen var tydlig. Sikten var förhållandevis god med lite rök i tunneln. Reservbelysningen gav tillräckligt ljus för att det skulle gå att se en längre sträcka i tunneln, figur 20. Figur 21 visar motsvarande situation men med ordinarie belysningen helt upptänd och kameran riktad åt andra hållet.



Figur 20. Bild från tunneln med tänd reservbelysning. Bilden är tagen från kamera 9 fram mot tågets förarhytt och branden syns i bakgrunden.



Figur 21. Bild från tunneln med ordinarie belysning helt tänd. Bilden är tagen från platsen för kamera 9 i riktning bakåt.

Hastigheten för de passagerare som gick mot branden mättes också när de passerat branden, figur 22. När de väl kommit förbi tåget var det lättare att gå i tunneln. Hastigheten var då cirka 1.2 m/s. Denna mätning genomfördes vid kamera 14. Resultatet baseras på mätning av 29 personers gånghastighet. Mätningen är också kompletterad med manuell tidmätning och skillnaden mellan denna och mätningen från videobanden är liten. Hastighetsmätning skedde endast då reservbelysning var tänd men det är inte troligt att hastigheten ökar speciellt mycket om belysning tänts helt.



Figur 22. Passagerare som passerar kamera 14 med tänd reservbelysning.

5.3 Passagerarnas upplevelse av utrymningen

Som en komplettering till de observationer som gjordes med hjälp av videokamerorna användes också enkäter för att ta reda på passagerarnas subjektiva upplevelse av övningen. Enkäterna delades ut till passagerare när de kom fram till Stadion eller till södra änden av försöksområdet. De som valde att gå mot Östermalmstorg stoppades när de nått tågets slut i riktning mot Östermalmstorg.

Totalt fylldes 52 enkäter i och av dessa var det 6 passagerare som fyllde i enkäter i båda försöken. Passagerarna som fyllde i enkäterna valdes ut slumpmässigt när de kom fram till sina respektive slutplatser. Tabell 4 visar en sammanställning av de som deltog i enkäterna. På grund av ett missförstånd var det ingen som fyllde i enkäterna på Stadion i andra försöket.

Tabell 4. Fördelning av passagerare som fyllde i enkäterna i respektive försök.

Försök	Gångriktning	Män	Kvinnor	Totalt
1	Stadion	16	13	29
1	Östermalmstorg	2	3	5
2	Östermalmstorg	10	8	18
Totalt		28	24	52

I försök 1 fanns de flesta passagerarna som besvarade enkäten i vagn 5 det vill säga den där videokamerorna var monterade. I det andra försöket var det dock bara ett fåtal som satt i den vagnen. Det är därför svårt att göra kopplingen mellan beteendet i vagnen och resultatet från enkäten i det andra försöket.

Medelåldern bland dem som besvarade enkäten var 38 år. Medelåldern bland de 5 som i försök 1 gick mot Östermalmstorg var bara cirka 28 år medan för de övriga två fallen var medelåldern för respektive grupp också kring 38 år. Jämfört med den totala populationen i försöken verkar det som om de som fyllde i enkäten är representativa vad avser medelålder och könsfördelning.

5.3.1 Innan dörrarna öppnades

I försök 1 uppmärksammades behovet av utrymning genom att passagerarna såg rök i eller utanför vagnen. Planen för försöket var att ett meddelande skulle höras i högtalarsystemet. Men på grund av tekniska fel så hördes inget eller bara ett mycket svagt meddelande i den vagn där flertalet passagerare befann sig. De fick därför själva fatta beslut om utrymning utan hjälp från försöksledningen. I den andra vagnen där det fanns passagerare i försök 1 hördes meddelandet.

I försök 2 uppgav de flesta att de påbörjade utrymningen så snart som föraren avslutat sitt meddelande och öppnat dörrarna. Detta stämmer också bra överens med videoobservationerna.

I försök 1 skulle passagerarna själva öppna dörrarna för att ta sig ut. Det verkade inte vara något problem att göra detta. De som öppnade dörrarna uppgav att de såg nödöppningsmarkeringen för dörren, se figurerna 3 och 4, innan de öppnade.

Passagerarna fick också uppge sina känslor vid några olika tillfällen. De graderade de olika känslorna på en linjär skala graderad från inte alls till stor. Medelvärdena för denna bedömning redovisas i tabell 5.

Tabell 5. Passagerarnas känslor innan dörrarna öppnades. Maximalt värde är 100.

Försök	Gångriktning	Glädje	Rädsla	Oro	Osäkerhet	Brist på information	Ilska
1	Stadion	17	19	35	51	78	11
1	Östermalmstorg	15	22	26	57	69	41
2	Östermalmstorg	17	16	24	42	26	11

Det bör noteras att spridningen i den subjektiva bedömningen är ganska stor eftersom de olika individerna uppfattar sin situation utifrån sin egen värderingsnorm. Det innebär att vissa variabler till exempel rädsla kan variera från minsta värde till högsta värde i samma försök. Det bör också noteras att antalet passagerare för de tre delresultaten varierar.

Passagerarna upplever sig ha lite information att basera sina beslut på i det första försöket. Det hänger samman med att de inte fick någon information av föraren utan själva fick skaffa sig information för att fatta beslut utifrån. Om inte föraren förser passageraren med information finns det inte många andra källor för en vanlig passagerare.

I övrigt är skillnaderna mellan de olika försöken ganska små för övriga variabler. Det som kan vara värt att notera är att trenden för till exempel oro och rädsla är avtagande från försök 1 till försök 2. Det kan dock bero på att passagerarna i försök 2 redan varit med om ett försök innan och har då hunnit skaffa sig en uppfattning om vad det handlar om.

5.3.2 Efter dörren öppnades

När väl dörrarna öppnades gick de flesta till den närmaste öppna dörren. Ganska många i försök 1 uppgav att de gick till den dörr där stegen monterades. Det kan man också se på videofilmen. Någon av de som hjälpte till med stegen kommenterade att stegen inte passade i några hål i vagnen. Detta gjorde att stegen blev något instabil och fick hållas av två personer.

De flesta tog sig ner på marken genom att hoppa eller hasa sig ut. Vid dörren där stegen monterades kunde passagerarna dock klättra ner lite enklare. Hjälpsamheten var ganska stor i försök 1 där flertalet av passagerarna hjälpte någon annan eller fick hjälp av någon annan med att ta sig ner på marken. I försök 2 var hjälpbehovet tydligen mindre eftersom antalet som hjälpte eller behövde hjälp var lägre. Då var också belysningen bättre vilket underlättade för passagerarna att se var han eller hon hamnade.

De som besvarade enkäten uppgav att de inte tyckte att det var speciellt besvärligt att ta sig ner på marken. Det var bara några passagerare som tyckte att det var svårt att komma ner på marken. Nu var de som deltog i

övningen fysiskt normaltränade eller vältränade vilket till viss del kan förklara resultatet. Ingen av passagerarna hade någon form av fysiskt handikapp. De som uppgav att de var rädda för att hoppa ut uppgav att det berodde på hög höjd samt att de var rädda att snubbla och falla. I försök 1 var sikten tidvis ganska dålig vid vagnarna. I försök 2 är det klart färre som angav att de var rädda för något när de skulle hoppa ut.

5.3.3 Förflyttning i tunneln

Väl ute i tunneln fanns det två riktningar att gå längs. Passagerarna fick uppge vad som var motivet till att de valde en viss riktning. detta redovisas i tabell 6. I tabellen kan en person ha givit fler än ett skäl till valet.

Tabell 6. Motiv till vald gångriktning. Några angav flera skäl.

Försök	Gångriktning	Följde strömmen	Förarens instruktion	Såg skylt	Brand, rök, annat fel	Minst kö i den riktningen
1	Stadion	15	-	3	3	2
1	Östermalms-torg	1	-	-	-	2
2	Östermalms-torg	5	11	-	3	-

I försök 1 är det tydligt att passagerarna gärna väljer att gå i den riktningen som andra går i. Det är ett ganska normalt beteende det vill säga att inte bryta mönstret och att heller följa strömmen. Eftersom en enskild person inte har mer information än någon annan kan det vara så att man tror att någon annan vet lite mer och att valet av riktning är rationellt. De som angav att röken var orsaken till valet uppgav att de först tittade varifrån röken kom och valde sedan riktning.

Ett annat skäl som en person anförde var att problemet borde vara orsakat i främre delen av tåget och den personen valde därför att gå bakåt mot Stadion. Detta är ett rationellt antagande om inget onormalt observerats under resan från senaste station till platsen för stoppet.

Några personer uppgav att de gick åt det håll de trodde var mot närmast station de just passerat (Stadion). Det motivet angav också en passagerare som gick åt andra hållet (mot Östermalmstorg).

I försök 2 motiverade många sitt val av gångriktning med att de följde förarens instruktion. De trodde alltså att tåget fortfarande höll samma köriktning som det hade när det lämnade Stadion efter första försöket. De valde alltså att gå bakåt och bort från förarplatsen, tvärt emot förarens syfte med sitt meddelande. Någon angav att de inte visste vilket håll som Stadion låg åt utan följde bara strömmen.

Passagerarna fick också göra en bedömning av sina upplevelser när de väl kommit ut i tunneln. Detta sammanfattas i tabell 7.

Tabell 7. Passagerarnas känslor innan dörrarna öppnades. Maximalt värde är 100.

Försök	Gångriktning	Glädje	Rädsla	Oro	Osäkerhet	Brist på information	Ilska
1	Stadion	13	30	34	42	78	13
1	Östermalms-torg	18	36	23	45	67	26
2	Östermalms-torg	12	10	15	31	36	2

Också här skall det noteras att spridningen i vissa fall är ganska stor till exempel för variablerna rädsla, osäkerhet och oro. Men som för situationen innan passagerarna lämnat vagnen minskar dessa variabelers medelvärden från försök 1 till försök 2.

Det som kan vara lite anmärkningsvärt är att variabeln brist på information i försök 2 ökar från det att passagerarna lämnat vagnen och beger sig ner på marken. Passagerarna upplever alltså en större osäkerhet och informationsbrist ute i tunneln än inne i vagnen. Detta kan säkert förklaras av den förvirring som uppstod i tunneln om vad som var tågets färdriktning. Flera av de som gick i riktning mot Östermalmstorg var förvissade om att de gick i tågets färdriktning även om så inte var fallet. Detta problem uppstod troligen på grund av att passagerarna inte tillräckligt tydligt informerats om att tåget skulle byta riktning mellan försöken.

Passagerarnas subjektiva bedömning av hur det var att gå i tunneln undersöktes också. Generellt stödjer dessa bedömningar de mätningar av gånghastigheten som gjordes i tunneln. När belysningen är dålig tycker fler att det är komplicerat att gå i tunneln jämfört med när belysningen är bättre.

Flera passagerare svarade att de inte kunde se var de satte sina fötter när belysningen var släckt. Däremot verkar de flesta ha sett något i tunneln även under de sämsta belysningsförhållandena eftersom de uppger att de kunde se andra personer i tunneln. Siktsträckan som passagerarna uppgav sig kunna se i tunneln varierar mycket från några meter till flera hundra meter. Den ungefärliga siktsträckan som passagerarna i försök 1 uppgav ligger i storleksordningen drygt 5 meter medan siktsträckan i försök 2 hamnar kring 20 till 50 meter. I försök 2 verkar det inte vara mörker eller rök som begränsar sikten utan snarare tunnelns krökning. I försök 1 gäller uppskattningen av siktsträckan innan nödbelysningen tändes. Passagerarnas bedömning sammanfattas i tabell 8.

Tabell 8. Bedömning av hur det är att gå i tunneln. Tabellen anger antalet passagerare med en viss uppfattning.

Försök	Gångriktning	Lätt	Svårt
1	Stadion	11	15
1	Östermalms-torg	1	4
2	Östermalms-torg	12	5

Hjälpbekovet minskade från försök 1 till försök 2. I försök 1 angav flertalet, 23 av 34 passagerare, att de tog emot hjälp eller hjälpte någon annan passagerare med att förflytta sig i mörkret. I försök 2 var denna siffra bara 4 av totalt 18 passagerare. Nu kan visserligen hjälpinsatsen vara relaterad till att passagerarna vant sig vid förhållandena i tunneln och att ange att hjälpbekovet styrts av belysningsnivån är kanske inte motiverat. Men det är ändå troligt att belysningsnivån har en bidragande inverkan på hjälpbekovet vilket framgår av de videofilmer från den mörka tunneln. Där går flera av passagerarna i en lång rad och håller varandra i händerna för att inte tappa bort varandra i mörkret.

I försök 2 var troligen inte det fysiska hjälpbekovet så stort. Däremot talade passagerarna ganska flitigt med varandra för att komma fram till gångriktning och vilket som var tåget egentliga färdriktning. Detta kanske inte passagerarna uppfattade som att de hjälpte eller tog emot hjälp av andra passagerare. Typen av hjälp var troligen olik mellan försök 1 och 2.

5.3.4 Övriga kommentarer

Flera av passagerarna kommenterade försöket och beskrev i klartext sina synpunkter. Bland de kommentarer som passagerare i försök 1 gav kan följande redovisas:

- Skylt med pil i båda riktningarna en självklarhet.
- Det totala mörkret en bit bakom tåget gjorde att folk stannade något. Varje ljuspunkt ger något mindre osäkerhetskänsla.
- Det borde finnas en instruktion i vagnarna om hur man ska göra vid utrymning, som man kan läsa vid daglig färd.

Från försök 2 finns följande kommentarer:

- Folk följer strömmen oavsett instruktion. Om folk väljer annan riktning så är det ändå svårt att ta sig förbi.
- Det var väldigt många som inte följde utrymningsordern, det vill säga gick åt motsatt håll. Föraren måste ha varit utanför, alternativt signalerat

så att folk visste vilken sida man befann sig, då flertalet tydligen inte lyssnade eller kunde höger/vänster.

Den gemensamma nämnaren för alla dessa kommentarer är information. Passagerarna eftersöker hela tiden information. Det mest väsentliga är troligen därför att passagerarna får hjälp med att välja åt vilket håll de ska gå åt samt hjälp med att hitta i tunneln. Det betyder att belysningen är avgörande för en snabb utrymning.

Svarsfrekvensen i enkäterna var genomgående hög. Av de som svarade var det bara ett fåtal (maximalt 4) som ej avgav något svar på en fråga.

6 Slutsats, diskussion och fortsatt forskning

Största problemet som angavs i enkäten har att göra med orienteringssvårigheter kring tågets färdriktning i försök 2. Frågan är om detta är ett stort problem i ett verkligt läge om tågen inte byter färdriktning förrän vid ändstationen. Men passagerarna kan ändå tappa orienteringen om vad som är fram och bak om de inte direkt observerat detta innan tåget kommit in i tunneln. Problemet kan förstöras för de fall då tät rök finns i tunneln. I försöken var röktätheten tidvis tät.

Röken var inte heller giftig för de som utrymde. I en verklig brand är rökens påverkan på människa mer påtaglig och svårigheter att orientera och förflytta sig är större. Detta bör beaktas när instruktionen till föraren om lämpligt meddelande för utrymning utformas. Möjligen kan man använda sig av skyltar i tunneln som informerar om riktning till de olika stationerna, se nedan. Tiden tills det att passagerarna påbörjar sin utrymning är då av största vikt.

Belysningsstyrkan i tunneln har i sig inte så stor betydelse jämfört med att det överhuvudtaget finns belysning närvarande. Det kan finnas en psykologisk effekt av att ha separat nödbelysning då den är regelbunden i placering och avstånd. Det är en tydlig signal att det är en belysning som kan följas speciellt om det finns rök i tunneln. Avståndsmarkeringen på utrymningsskyltarna i tunneln verkade ha en positiv effekt vid val av gångriktning. Möjligen kan de också informera om vilka stationer som de pekar åt. Det är då lättare för föraren att få passagerarna att gå åt rätt håll utan att de behöver veta vilket som är framåt på tåget.

Nyttan av stegen kan ifrågasättas eftersom den fördröjer utrymningen. Den har säkert en betydelse för personer som kan ha svårigheter att utrymma själva. Men den används också av de som inte behöver den vilket fördröjer utrymningen. Användandet av stegen kan också vara olika beroende på hur lång tid som finns till förfogande vid utrymningen. I försök två användes inte stegen i kameravagnen eftersom alla påbörjade utrymningen nästan samtidigt och hela förloppet gick väldigt fort. Nu kan detta också bero på att personerna vant sig vid att klättra ut från vagnen och därför visste att de inte längre behövde använda stegen. Tills vidare bör stegen finnas kvar i vagnen.

Försöken skall också försöka ge svar på hur en utrymning kan förväntas ske om tåget är fullsatt med passagerare. I försök 1 satt i princip alla passagerarna i en vagn medan övriga var i det närmaste tomma. Det är därför troligt att utrymningen försåras och förlängs om fler personer är involverade. Frågan är bara hur mycket längre tid tar det att utrymma tåget. En uppskattning kan dock göras mot bakgrund av de erhållna resultaten främst från försök 1.

Det tar cirka 4 minuter att evakuera en vagn så att alla passagerarna befinner sig på marken. Om alla vagnarna påbörjar sin evakuering ungefär samtidigt bör flertalet av passagerarna befinna sig på marken. I den vagn som är längst ifrån branden kan man också anta att flertalet redan påbörjat sin förflyttning i tunneln och är på väg bort från tåget. Om man dessutom antar att det tar cirka 1 minut att förflytta passagerarna från en vagnsplats till nästa tar det 12 minuter tills alla passagerarna har kommit förbi tåget. De är då på väg i tunneln mot en station. Tiden 1 minut att gå från en vagnsplats till nästa är rimlig med tanke på gånghastigheten längs tågets sida från försök 1. Den sträcka som då avses är avståndet från en plats utanför en vagn till motsvarande plats utanför nästkommande vagn i gångriktningen.

Nu öppnar ju föraren bara dörrarna på ena sidan vilket gör att enbart ena sidan är tillgänglig. Men den sida som öppnas är den där det är bredast och mest lämpat att gå. Resonemanget ovan bygger på att flertalet går längs tåget på den smalare sidan eftersom det var så som försök 1 utföll. Det är därför rimligt att anta att det kan ta i storleksordningen 12-15 minuter att förflytta 1000 passagerare längs ett stillastående tåg från det att passagerarna börjar kliva ur vagnarna.

Det som kan ställa till problem och öka svårigheterna är om det finns rök i tunneln vilket sänker gånghastigheten något men främst om passagerare försöker gå mot strömmen. Det behöver inte vara många passagerare som väljer att gå mot strömmen förrän flödet av passagerare som går i rätt riktning begränsas. I denna situation är det synnerligen väsentligt att föraren kan ge korrekt instruktion till passagerarna åt vilket håll de skall gå åt.

En annan omständighet som kan påverka är passagerarnas fysiska kapacitet att verkligen gå i en tunnel. I försöken var inga passagerare rörelsehindrade eller hade barnvagn med sig. I en normal trafiksituation kan detta vara fallet. Förutsatta att inte större delen av passagerarna har svårigheter att förflytta sig bör detta dock inte medföra väsentliga svårigheter.

Som tidigare nämnts var syftet med försöken att studera möjligheten att gå i tunneln. Det fanns alltså mycket få inslag som behandlade det mänskliga beteendet bland passagerarna. Alla passagerare var väl medvetna om att de var med om en utrymning och det påverkade givetvis dessa beteendevetenskapliga inslag i försöken. För att få en mer heltäckande bild av hur människan reagerar i en utrymningssituation i en tunnel borde någon forskning genomföras med detta som syfte. Det behöver då nödvändigtvis inte vara frågan om utrymning från ett tunnelbanetåg. Det kan också vara av intresse att studera beteendet i tåg som trafikerar det vanliga järnvägsnätet. Flera av dessa tåg passerar genom tunnelsystem så problemet är aktuellt för flera typer av spårbunden trafik. I de senare typerna av tåg bör man också räkna in natttåg där det kan förväntas att passagerarna sover.

Vad avser förmågan att praktiskt utrymma en tågagn bör ytterligare undersökningar inriktas på problem med tågens inredning. De använda tunnelbanevagnarna var sparsamt inredda men fjärrtåg är annorlunda konstruerade. De har betydligt fler dörrar inne i vagnen samtidigt som

passagerarna kan ha bagage med sig. Detta utgör en försvårande omständighet som bör beaktas vid bedömning av utrymningsmöjligheten från tåg.

När väl passagerarna kommit ur från vagnen skall de i flera fall gå en längre sträcka i tunneln för att komma till en utrymningsväg eller till tunnelns mynning. I de utförda försöken fick passagerarna gå drygt 200 m i tunneln och då mestadels i relativt rökfri miljö. Det som kan vara intressant att studera är hur människan kan klara av att gå en längre sträcka i en rökfylld tunnel med tanke på att denna situation troligen är mer representativ vid tunnelbrand. Situationen vid de senaste olyckorna i vägtunnlar vilka redovisas i inledningen var sådan. Det som också tillkommer vid en verklig brand är värmebelastningen på människan. Detta studerades inte i de avslutade försöken.

7 Referenser

Donald I, Canter D. Behavioural Aspects of the King's Cross Disaster. Fires & Human Behaviour 2nd ed. Ed D Canter, David Fulton Publishers Ltd, London, 1990.

Fermaud C, Jenne P, Müller W. Fire in a Commuter Train – Rescue Procedures as Perceived by Passengers. 2nd Int. Conf. on Safety in Road and Rail Tunnels, Grenada, 1995.

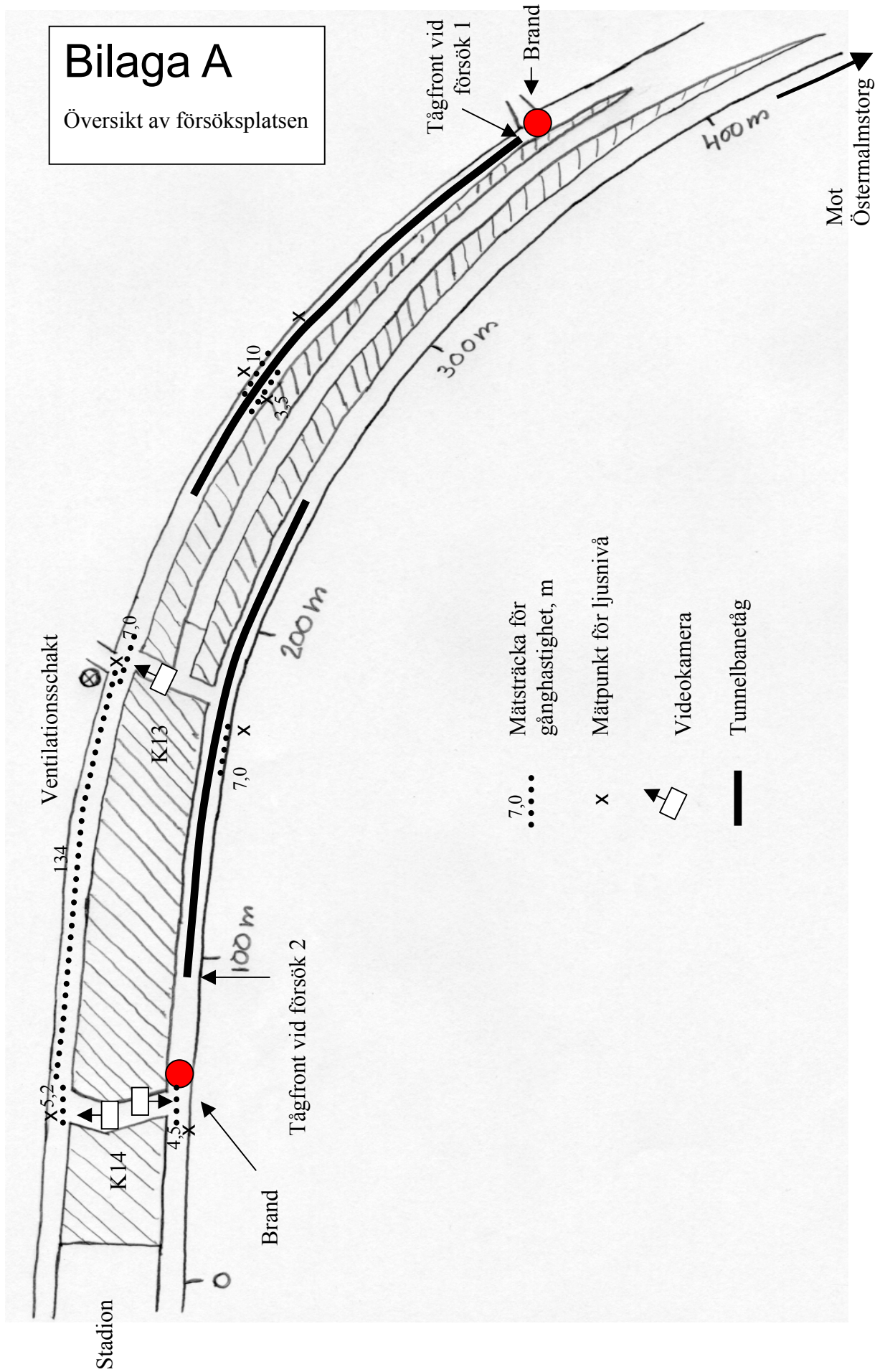
Kynaston R. Tunnel detrainment in action - Hong Kong's practical experience. Proc. Escape from Trains, Heathrow, 1997.

Nygren U. Förstudie till riskanalys avseende brand i Stockholms tunnelbana. Stockholms brandförsvär, Stockholm, 1997.

Rohlén P, Wahlström B. Tunnelbaneolyckan i Baku, Azerbajjan, den 28 oktober 1995. Rapport P22-133/96, Statens räddningsverk, Karlstad, 1996.

Bilaga A

Översikt av försöksplatsen



Bilaga B

Frågeformulär till deltagarna.

Frågor till dig som just evakuerat en tunnelbanevagn

På flera av frågorna kan du skriva flera alternativ!

Inledande frågor

1a. Jag är:

Man

Kvinna

1b. Deltagarnummer: _____

2. Ålder: _____

3. Hur vill du beskriva din fysiska nivå:

Normal

Vältränad

4. I vilken vagn befann du dig i när tåget stannade i tunneln?

Vagnen med monterade videokameror

Den andra vagnen

Innan dörrarna öppnades

5. Hur uppmärksammades du på att något var onormalt? Kraftig inbromsning, rök i vagnen, rök utanför, någon berättade, utrymningsmeddelande

6. Hörde du något meddelande i högtalarna? Om Ja, hur lät det?

7. Vilka känslor kände du (markera med streck på linjen)

glädje ingen alls _____ stor

rädsla inte alls _____ stor

oro ingen alla _____ stor

osäkerhet ingen alls _____ stor

brist på information ingen alls _____ stor

ilska ingen alls _____ stor

annat _____

8. Öppnade du någon dörr? Om ja, hur visste du hur du skulle göra?

Ja

Nej

Efter dörren öppnades.

9. Gick du till den närmaste öppna dörren?

Ja

Nej till en annan dörr

10. Hur valde du dörr?

närmaste,

alla andra gick dit,

såg bäst ut,

använder den alltid

annat:

11. Vilken sida av tåget satt din utgångsdörr på? Sett från tågets färdriktning.

Höger

Vänster

12. Hur tog du dig ner på marken?

hoppade,

kröp och hasade mig ner,

knuffades,

lyftes

annat:

13. Fick du hjälp att komma ner på marken?

Ja

Nej

14. Hjälpte du andra att komma ner?

Ja

Nej

15. Hur upplevde du möjligheten att komma ner på spåret? (Markera på linjen

mycket enkelt _____ mycket svårt

16. Var du rädd?

inte alls _____ mycket rädd

17. Vad var orsaken till rädslan?

- hög höjd,
- jag kunde skadas,
- jag kunde hoppa på någon annan,
- elström på spåret,
- snubbla och falla,
- annat:

18. När du kom ner på marken, hur valde du åt vilket håll du skulle gå.
Varför valde du inte det andra hållet?

19. Såg du branden i tunneln innan du valde åt vilket håll du skulle gå?
Bara försök 2.

- Ja
- Nej

20. Vilka känslor hade du när du skulle gå iväg? (markera på linjen)

glädje ingen alls _____ stor

rädsla inte alls _____ stor

oro ingen alla _____ stor

osäkerhet ingen alls _____ stor

brist på
information ingen alls _____ stor

ilska ingen alls _____ stor

annat _____

21. Hur upplevde du möjligheten att gå i tunneln? (okomplicerat, snubblande, ramlade..)

22. Var du rädd för att passera branden? (markera på linjen). **Bara försök 2.**

inte alls _____ mycket rädd

23. Kunde du se var du satte fötterna?

Ja

Nej

24. Såg du de andra som evakuerade? **Bara försök 1.**

Ja

Nej

25. Hur långt kunde du se i tunneln när belysningen var släckt? Uppskatta avståndet. **Bara försök 1.**

26. Hur långt kunde du se i tunneln? Uppskatta avståndet. **Bara försök 2.**

27. Fick du hjälp av någon när du gick mot stationen?

Ja

Nej

28. Hjälpte du någon annan?

Ja

Nej

29. Är det något annat som du vill berätta eller har synpunkter på?

Tack för din medverkan!

Räddningsverket, 651 80 Karlstad
Telefon 054-10 40 00, telefax 054-10 28 89

Beställningsnummer P21-339/00. Telefon 054-10 42 86, telefax 054-10 42 10
ISBN 91-7253-060-X