

Räddningsinsatser vid tunnelbränder

Probleminventering och miljöbeskrivning
vid brand 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.

Räddningsinsatser vid tunnelbränder

Probleminventering och miljöbeskrivning
vid brand i spårtunnel

Anders Bergqvist, Håkan Frantzich
Kjell Hasselrot och Haukur Ingason

Räddningsverkets kontaktperson:

Sören Lundström, Enheten för skadebegränsande verksamhet, Tel 054-13 53 36

Förord

Räddningsverket driver ett projekt med syfte att studera insatsproblematiken vid olyckor i tunnlar. Gruppen som utför projektet består av Anders Bergqvist på Brandförsvaret i Stockholm, Håkan Frantzich på Brandteknik vid Lunds tekniska högskola (LTH) och Haukur Ingason på SP Sveriges Provnings och Forskningsinstitut och Kjell Hasselrot på BBm fireconsulting. Projektledare och samordnare ifrån Räddningsverket är Sören Lundström.

Projektet berör räddningstjänstens insatssituation vid olyckor i tunnlar där gruppen kommer att:

- utforska brandmiljön i olika tunnlar
- utrymningssituationen
- räddningstjänstens åtgärder vid räddningsinsatser vid bränder i tunnlar och gruvor.

Till projektet finns en referensgrupp knuten.

Johan Hedenfalk	Stockholms lokaltrafik
Tomas Mattson	Norrtälje Räddningstjänst
Janne Malmtorp	Banverket
Bo Wahlström	Swepro Engineering
Gary Hörnaeus	SJ AB

Syfte

Syftet med projektet är att ge räddningstjänsten underlag för planering och bedömning av risker vid genomförande av räddningsinsatser i befintliga järnvägstunnlar. Resultatet från projektet ska också kunna användas av kommuner, järnvägsmyndigheter och länsstyrelser som underlag för att diskutera och bedöma riskerna med befintliga och planerade järnvägstunnlar utifrån ett brand- och räddningsinsatsperspektiv.

Metodbeskrivning

Rapporten inriktas på att beskriva en tänkt olycka i en tunnel. Olyckan beskrivs utifrån tre perspektiv; brandförloppet, utrymningsförloppet och räddningsinsatsen. De två första förloppen beskrivs med hjälp av teoretiska modeller och resultatet har sedan användas som förutsättning för det tredje förloppet. Förutsättningarna för de genomförda beräkningarna baseras på dokumenterade försök och erfarenheter samt på ett kvalitativt resonemang. Även det tredje förloppet beskrivs främst utifrån ett teoretiskt resonemang men försök och enkäter har använts för att komplettera resultatet. Försöken har genomförts under såväl realistiska insatsförhållanden som kontrollerade försök. Enkäten användes för att undersöka hur olika räddningstjänster upplevde möjligheterna att genomföra en insats i en tunnel. Såväl stora som

små kommuner ingick i undersökningen som riktades mot respektive kommuns räddningstjänst. Arbetet har bedrivits i en arbetsgrupp bestående av rapportens författare. Dessutom har projektets referensgrupp medverkat med att ge synpunkter på det som producerats. Referensgruppen har således varit aktiv i att ta fram vissa av de förutsättningar som resultaten baseras på.

Avgränsningar

Arbetet bygger på ett teoretiskt resonemang samt erfarenheter från inträffade brandolyckor och olika forskningsprojekt som berör bränder i tunnlar. Valet av brandscenarier är inte baserat på bakomliggande riskanalys. Vi förutsätter att det uppstår en brand i ett tåg som stannar inne i tunneln. De valda brandscenarierna ska betraktas som typscenarier. Arbetet berör endast konsekvenserna med avseende på situationen inne i tunneln för de utrymmande och räddningstjänsten och inte frågor som berör valet av den tekniska utformningen av tunneln eller säkerhetsutrustning.

Hanteringen av allmänna olycksproblem, såsom bland annat omhändertagande av många skadade och räddningsinsatser vid vinterförhållanden tas ej upp i rapporten.

Innehållsförteckning

Förord	3
Innehållsförteckning	5
Summary	7
Sammanfattning	9
1. Bakgrundsbeskrivning och problembeskrivning	11
2. Typscenariobeskrivning för brand i spårtunnel	19
3. Beräkning av brandgasspridning i en tågtunnel	22
4. Utrymning vid bränder i spårtunnlar	27
5. Räddningsinsatsens genomförande	57
6. Diskussion	64
7. Slutsatser	79
8. Referenser	81
Appendix A Beräkning av temperatur, gaskoncentration och röktäthet	83
Appendix B Beskrivning av modell för utrymning och toxisk påverkan på människan	94
Appendix C Vad klarar en räddningsinsats att genomföra vid en brand i en tunnel, en övningsrapport	98
Appendix D Räddningstjänstens åsikter om en räddningsinsats vid en brand i en spårtunnel, en enkätundersökning	115

Summary

The Swedish rescue services will face severe problems in tackling serious fires in tunnels, due largely to the facts that tunnels are normally below ground level, which means that there is only a limited number of exits (entrances), and that the smoke from a fire cannot be vented away vertically, which means that the tunnel will fill with smoke. Further, the rescue services usually have no view of the site of the fire or accident, so there is no information on which to base decisions. It is therefore from this unknown, smoke-filled tunnel, with long distances to the nearest emergency exit, that victims must be evacuated, and in which the rescue services must perform their work.

Work that has been carried out as part of the National Board of Civil Defence, Rescue and Fire Services' *'Rescue Work in Tunnel Fires'* project has shown that the rescue services must be well prepared and must, if the work is to be performed effectively, have carefully planned such work. It has also shown that the rescue services alone cannot play a decisive active role in the evacuation of passengers from a fire in a rail tunnel.

These conclusions are the results of analysis of various fire scenario involving passenger trains in tunnels: analyses of what the situation facing the evacuating passengers looks like and what results can be expected of self-evacuation.

The analyses of the fire and of the evacuation have provided a basis for investigating the factors involved in carrying out the rescue work. This has revealed a number of specific problem areas facing the rescue services: these areas have been discussed and suggestions put forward for various ways of improving the means of tackling them.

The work has resulted in the production of a general model for rescue services tackling fires in single-track rail tunnels, based on a search of the tunnel in combination with fire gas ventilation, life-saving and fire-fighting. Application of this procedure will result in effective rescue work.

Further work should be carried out on the suggestions for improving the rescue work, hopefully resulting in more specific descriptions of working methods for tackling fires in tunnels. Investigations will be needed of how the fire is affected by ventilation during the evacuation and rescue work, of how the ventilation affects the spread of the fire and of the effect of thermal radiation on fire fighters tackling the fire. Insufficient is known of how persons caught in a fire find accessible ways out of the tunnel environment in the conditions in the tunnel, and of how they then use them. As evacuation safety in tunnels is dependent on this response, it needs to be further investigated.

The work carried out in the project has not resulted in any specific, ready-to-use proposals that can be applied directly to real events at future accident sites.

Sammanfattning

Räddningsinsatser vid omfattande bränder i tunnlar kommer att innebära problem för svensk räddningstjänst. Problemen beror till stor del på att tunneln normalt går under marknivå, vilket gör att det är begränsat med utgångar (ingångar) och att röken vid en brand inte kan ventileras bort vertikalt, utan tunneln kommer att fyllas med rök. Räddningstjänsten inte har någon överblick över olycksplatsen vilket gör att det saknas information att basera besluten på. Det är i denna rökfyllda, okända tunnel, med långa avstånd till närmaste utrymningsväg som människor skall utrymma och räddningstjänsten skall genomföra sin räddningsinsats.

Arbetet inom Räddningsverkets projekt ”Räddningsinsatser vid tunnelbränder” har påvisat att räddningstjänsten måste var väl förbered och måste, om insatsen skall kunna genomföras på ett effektivt sätt, ha planerat en räddningsinsats av denna typ noggrant. Arbetet har också påvisat att räddningstjänsten inte kan ta en avgörande aktiv roll i utrymmandet av passagerare vid en brand i en spårtunnel. Dessa slutsatser har framkommit genom att olika brandscenarier på passagerartåg inne spårtunnlar har analyserats. Dessa brandanalyser har och givit underlag för analyser över hur situationen för de utrymmande tågpassagerarna kommer att se ut och vilket förväntat resultat en självutrymning kommer att ge. Analyserna över branden och över utrymningen har givit underlag för att studera förutsättningarna för och hur en räddningsinsats kan genomföras. Arbetet har givit en rad preciserade problemområden för räddningsinsatsen. Dessa områden har diskuterats och förslag ges på olika möjligheter för att förbättra möjligheterna att hantera dessa problemområden.

Arbetet har påvisat en generell modell för räddningsinsatser vid bränder i enkelrörs spårtunnlar. Denna insatsmodell bygger på genomsökning av tunneln i kombination med brandgasventilation, livräddning och brandsläckning. Detta förfarande skall ge en effektiv räddningsinsats.

I framtiden bör förslagen på hur räddningsinsatser skall genomföras studeras vidare. Dessa studier bör leda fram till mer handgripliga arbetsmetoder för hur räddningsinsatser vid bränder i tunnlar bör genomföras. I detta arbete behöver det studeras hur branden påverkas av en ventilation under utrymningen och räddningsinsatsen, hur ventilationen påverkar brandspridningen samt värmestrålningens påverkan på räddningspersonalen under en brandsläckningsinsats. Kunskapen om hur utrymmande människor kommer att hitta tillgängliga utrymningsvägarna inne i tunnelmiljön och sedan använda sig av dessa utrymningsvägar är osäker och behöver, då utrymningssäkerheten i tunnlar är beroende av detta, studeras vidare.

Arbetet inom projektet presenterar inga färdiga förslag som direkt kan tillämpas på verkliga händelser ute på framtida olycksplatser.

1. Bakgrundsbeskrivning och problembeskrivning

1.1 En olycka har inträffat !

Det osannolika har precis inträffat och räddningstjänsten har fått ett larm om att det står ett X2000 tåg och brinner i den långa spårvägstunneln som finns i kommunen.

Under utryckningen mot olycksplatsen, med initialt totalt fem personer i räddningsstyrkan, kommer en rad frågor upp i huvudet på den ansvarige räddningsledaren. Tåget befinner sig i tunnel och det brinner i tåget, men var i tunnel står det och hur mycket brinner det ? Åt vilket håll

förflyttar sig röken i tunneln och var finns människorna ?

Nu gäller att välja rätt tunnelöppning och första angreppsväg för kunna göra maximalt när det gäller att livrädda dem som finns på tåget.

Räddningsledaren tar nu ytterligare kontakt med SOS- centralen för att få reda på mer uppgifter ifrån den som larmat och ifrån tågtrafikledningen. Nu begär han också mer räddningsstyrkor, ambulanser och poliser till olycksplatsen.

Slutligen väljer räddningsledaren, med tanke på den rådande vinden, att ta samtliga resurser på väg till olycksplatsen till en brytpunkt i anknötning till den stora vägen som passerar strax bortanför den södra tunnelöppningen.

Väl framme vid tunnelöppningen, cirka 10 minuter efter larmet, upptäcker han att det inte går att ta sig ända fram med fordonen utan att man får gå den sista biten. De ser att det befinner sig två människor strax utanför tunnelöppningen, men det syns ingen rök.

Vid tunnelöppningen får han reda på av de två människorna att det brinner i den första passagerarvagnen bakom loket, att tåget står cirka 300 meter in i tunneln och att de två var de enda som har kommit ut ur denna tunnelöppningen.

I detta läget väljer räddningsledaren att skicka in en rökdykargrupp för att orientera om läget inne i tunneln. Då denna rökdykargrupp beger sig in i tunneln har det gått cirka 25 minuter sedan räddningstjänsten larmats och rökdykargruppen fick order om att bara gå in tills de möter röken och försöka skaffa sig en bild av läget och vad som har inträffat.

Nu radar frågorna upp sig i huvudet på räddningsledaren:

- Var finns alla människor, lever dom och hur skall vi göra för att rädda dom ?
- Hur mycket brinner det och hur skall vi göra för att släcka branden ?

- Hur blir riskerna för den egna personalen som går in i tunneln, kan det ske en övertändning och kan tunneln rasa ?
- Hur långt sträcka klarar ett rökdykarangrepp att avancera framåt ?
- Hur skall vi styra röken för att få bort den ifrån tunneln ?

Räddningsledaren har nu en rökdykargrupp inne i tunneln och skickar nu nästa ankommande räddningsstyrka till norra tunnelöppningen och får ifrån denna styrka, cirka 40 – 45 minuter efter larmet, upplysningar om att det kommer rök ut ur denna tunnelöppning. Under tiden har rökdykargruppen inne i tunnel, rapporterat att de mött kraftig rök innan de nått fram till tåget och har varit tvungna att retirera då de inte har med sig någon brandslang med vatten för att säkra arbetsmiljön i en rökfylld miljö.

Detta är en fiktiv olycka som är arrangerad som en förutsättning för projektgruppens arbete. Antagandena bygger på uppfattningar om vad som troligen kommer att inträffa vid en räddningsinsats mot ett tåg som brinner i en tunnel.

1.2 De problem som en räddningsinsats måste hantera vid en brand i en spårtunnel

Säkerhet i tunnlar beror på många olika åtgärder där utrymning och räddningsinsatsen endast påverkar delar av denna säkerhet. Verkligheten visar att bränder kan inträffa i spårtunnlar och den kommunala räddningstjänsten måste enligt Räddningstjänstlagen 1986:1102, 4§, vara förberedda på att hantera räddningsinsatser då det inträffar olyckor i samhället.

Den problemställningen som räddningstjänsten ställs inför vid tunnelbränder förekommer till viss del även vid andra olyckstyper, men räddningsinsatser vid bränder i tunnlar och undermarksanläggningar kommer att skilja sig ifrån de insatserna vid de mer vanliga olyckor, såsom lägenhetsbränder och trafikolyckor, som den kommunala räddningstjänsten normalt utför. Då det inträffar en brand i en spårtunnel kommer den kommunala räddningstjänsten att larmas för att göra en räddningsinsats. En räddningsinsats av detta slag är något som är sällsynt, vilket medför att räddningstjänsten inte har någon stor erfarenhet av att genomföra dessa insatser.

1.2.1 Svårt att få överblick över olycksscenarioet, då olycksplatsen är mycket svåröverskådlig.

Vid en räddningsinsats mot en brand i en spårtunnel kommer de ansvariga för insatsen att ställas inför en svårighet som måste hanteras i denna olyckssituation.

Då larmet mottages av räddningsledaren måste han snabbt göra en bedömning över vad det är för typ av olycka och vad som håller på att hända. Under utryckningen mot olycksplatsen måste han bestämma vilken angreppsväg som han skall låta räddningstjänsten använda sig av för att få bästa tänkbara effekt av insatsen. För att göra detta val måste han bland annat söka svar på följande frågeställningar.

- Var i tunnel befinner sig tåget?
- Var och hur mycket brinner det ombord på tåget?
- Åt vilket håll förflyttar sig röken i tunneln?
- Var i tunneln och på tåget finns de nödställda människorna?

Då valet är gjort och den första angreppsvägen är beslutad måste den fortsatta informationsinsamlingen fortskrida. I detta initiala skedet på en räddningsinsats är troligen informationsinhämtningen och informationstolkningen de mest kritiska arbetet för att räddningsinsatsen skall startas upp på ett effektivt sätt.

Spårtunnlar är normalt sätt relativt långa och stora till omfattning. Detta skiljer sig i högst väsentligt grad ifrån de normala olyckor där räddningstjänsten arbetar. Dessa bränder uppstår i lägenheter och villor som är relativt enkla att under en räddningsinsats skaffa sig en förståelse för. Vid bränder i tunnlar så är det mycket svårt att överhuvudtaget veta vad som verkligen har skett och varför det egentligen ryker. Var branden är belägen och hur mycket det är som brinner är faktorer som är väldigt viktiga att bedöma, men som vid bränder i tunnlar kan vara helt okända. Vindens inverkan på branden kan vara avgörande både beroende på vilken riktning vinden har och vilken påverkan på brandförloppet som den får vilket visade sig under branden i tunneln till glaciärbanetåget i Kaprun, 11/11 2000. Frågan om det finns människor kvar nere i tunneln och var dessa människor finns är också många gånger okända parametrar som är avgörande för inriktningen på insatsen.

Det kan finnas stora svårigheter med att överföra information mellan operatören av tunnelsystemet och räddningstjänsten som genomför räddningsinsatsen vilket visade sig vid branden i vägtunneln i Mont Blanc den 13/4 1999.

Hur skall samordningsproblematiken mellan de olika delarna av räddningsstyrkan vid en så här omfattande räddningsinsats fungera?

Hur skall räddningsstyrkorna hitta rätt till olycksplatsen, till tunnelns öppningar och angreppsvägar och hur skall räddningstjänsten kunna hitta rätt inne i tunneln?

Hur skall räddningstjänsten kunna ta sig fram till tunnelöppningarna för att omhänderta de drabbade som eventuellt utrymmer ut ur tunneln?

Räddningstjänsten möjligheter att hantera utrustningen som skall användas i händelse av brand. Detta är en faktor som oftast inte tas hänsyn till. Här har den lokala räddningstjänsten oerhört svårt att vara ajour med alla objekt som kräver specialkunskap.

1.2.2 Hantera en omfattande utrymnings/ livräddningssituation med mycket människor inblandade.

Vilken utrymningsstrategi tunnlar är dimensionerade med är en viktig parameter att belysa både vid planering och vid genomförande av räddningsinsatser. Är tunneln dimensionerad för självutrymningen eller utrymning assisterad av räddningstjänsten och skall utrymningen ske via nödutgångar eller endast via tunnelöppningarna? Vilken av dessa kan vara rimlig och vilken kapacitet har en kommunal räddningsinsats vid en utrymnings/livräddningssituation?

I en tunnel utan möjlighet att styra luftflödet kommer det att vara svårt att bestämma i vilken riktning som en eventuell utrymning skall genomföras.

Hur skall operatören av tunneln/ tåget kunna hantera och styra eller påverka en utrymning?

Hur människor kommer att reagera är en svår fråga som måste hanteras. Det har visat sig vid ett flertal tillfällen, bland annat branden i Ekbergstunneln, Norwegian Public Road Administration (1996) och enligt författarnas erfarenheter vid ett flertal bränder i Stockholms stad, att människor väldigt ogärna lämnar sina egna bilar för att utrymma genom en separat utrymningsväg.

Utrymningen skall i värsta fall skötas av människor som i sitt normala arbete ej har vana att hantera ovana och kritiska olycksituationer. Detta kan innebära att en utrymning som är beroende av deras beslut kan försvåras. Utrymningen kommer att vara beroende av personalens möjligheter och deras rutiner att hantera situationen. Branden i tunnelbanestationen vid Kings Cross i London den 18/11 1987, visade på att säkerheten i denna typ av komplicerade system var helt beroende av tunnelbanepersonalens agerande. Denna personal var inte utbildade eller övade för att hantera situationen, vilket bland annat också bidrog till att denna katastrof kunde inträffa.

Räddningsinsatsen som genomförs kommer att innebära en rad olika moment. Bara momentet att ta sig till platsen dit människor utrymmer och till tunnelöppningarna kan innebära en hel del problem. Vid framkomsten till dessa platser måste ett omhändertagande av skadade och utrymmande genomföras. Det kommer också behöva göras en livräddningsinsats eller en brandläkningsinsats in i den eventuellt rökfyllda tunneln.

1.2.3 Det är mycket svårt att bedöma riskerna som räddningspersonalen utsätter sig för om de skall göra en insats in i tunneln.

Då brandförloppet vid en brand är svårt att förutsäga om man inte känner till hur mycket det är som brinner, blir en riskbedömning väldigt svår att genomföra vid tunnelbränder. Hur skall man kunna bedöma risken för att branden kommer att få ett mycket häftigt förlopp med hög brandgastemperatur?

Hur tunnelväggarna och tunneltaket beter sig vid påverkan av flammor och värme och hur dessa ytor kommer att bete sig vid en brandsläckningsinsats med vattenpåföring svårt att bedöma. Räddningsledaren måste göra en sådan bedömning under insatsen för att minimera riskerna för insatspersonalen.

1.2.4 Tunneln fylls av brandgaser, vilket gör att ett angrepp måste utföras med skyddsutrustning.

Vid en brand i en tunnel så kommer brandgaserna ej att försvinna på samma sätt som sker vid en normal husbrand. Vid en tunnelbrand kommer huvuddelen av brandgaserna att förflytta sig horisontellt med vindriktningen i tunneln. Detta får till följd att det kommer att ske en successiv avkylning av gaserna och brandgasen kommer att få en temperatur som är ungefärlig som övrig luft i tunneln och den termiska stigkraften på gaserna blir inte längre styrande. Innebörden av detta är att hela tunnelvärsnittet blir fyllt med brandgaser. Denna rökfylldnad kommer att ge stor påverkan på de utrymmande, samtidigt som det försvårar en räddningsinsats för att livrädda de som finns kvar inne i tunneln. I branden vid Kaprun Bergqvist (2001) så överraskades 6 personer av de hastiga rökfyllanden av toppstationen, 3600 meter ifrån branden, vilket medförde att de inte hann ta sig ut ur toppstationen. Brandförsvaret ifrån Zell am See lyckades ta ut dessa 6 personer, men endast 3 personer överlevde, Bergqvist (2001).

1.2.5 Stora och omfattande objekt med långa och komplicerade vägar att förflytta sig ifrån säker miljö utomhus till platsen för branden.

Många räddningsinsatser som har utförts under de senaste åren, där branden Mont Blanc-tunneln, Ministry of the Interior, France (1999) och branden i Tauerntunneln, Bergqvist (2000) har varit de mest omskrivna, har påvisat detta faktum. I båda dessa fallen har räddningspersonalen riskerat sina liv och i Mont Blanc-branden blev detta fatalt för insatspersonalen.

Vad klarar egentligen ett rökdykarangrepp att genomföra under dessa förhållanden och hur långt kan en rökdykargrupp förflytta sig ifrån tunnelöppningen in i en rökfylld tunnel?

1.2.6 Hur skall brandgaserna styras för att underlätta en utrymning, livräddning och en brandsläckningsinsats.

Problemet med hur den kommunala räddningstjänsten skall hantera ventilationen för att underlätta utrymningen, livräddningen och en eventuell brandsläckningsinsats är en stor svårighet. Vad en eventuell forcerad ventilation kan ha för inverkan på effektutvecklingen av branden och en eventuell brandspridning är en fråga som måste hanteras. Att fatta beslut om dessa frågor kan vara mycket komplicerat i en olyckssituation. Felaktiga beslut kan få svåra konsekvenser som vid tunnelbanebranden i Baku Rohlén, Wahlström (1996), där 289 människor dog och 265 skadades. Att detta stora antalet människor drabbades berodde till viss del på att ventilationen användes på ett felaktigt sätt under branden.

1.2.7 Genomföra en brandsläckningsinsats som kan ge ett önskat släckresultat.

Traditionella släckmetoder med brandslang och vanliga strålrör kan vara otillräckligt då det kan vara svårt att nå branden för att få ett kvalificerat släckresultat. Det kan behövas andra metoder för att släcka bränderna. Räddningsinsatsen i Tauern tunneln visade att det var mycket svårt att nå branden med släckvatten även om man i detta fallet kom på den rökfria sidan av branden. Vid denna räddningsinsats kunde man inte komma närmare än cirka 100 meter ifrån branden och på detta avstånd var det mycket svårt att få något resultat av brandsläckningen.

1.2.8 Transport av brandvatten in till platsen där brandsläckningen skall genomföras.

Många av de tunnlar som finns är långa vilket ger stora svårigheter att ta med sig brandvatten från brandbilen fram till en position där släckinsatsen kan genomföras. Det är både praktiska problem som att kunna dra med sig brandslang in i en rökfylld tunnel till hydrauliska problem som att det är svårt att transportera vatten i brandslangar en längre sträcka.

1.2.9 Kommunikation mellan personalen som befinner sig i säker miljö och den del av insatspersonalen som genomför en invändig rökdykarinsats.

Vid rökdykningsinsatser skall det enligt Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter finnas radiokommunikation för att en insats skall kunna genomföras. Tredje paragrafen säger att "Vidare skall kommunikationsradio (rökdykarradio), brandhjälm, branddräkt, brandhandskar, brandstövlar och brandbälte användas." Och tillägget till tredje paragrafen säger att "Av paragrafen följer att de två rök- eller kemdykarna och rökdykarledaren skall ha var sin kommunikationsradio."

Vid insatser i tunnlar kommer inte den normala rökdykarradiokommunikationen som brandförsvaret använder sig av att fungera, då räckvidden på denna ej är anpassad för användning i tunnlar.

Ovanstående problem, som nedan sammanfattas, kommer att ligga som en grund för den vidare diskussionen i slutet av rapporten.

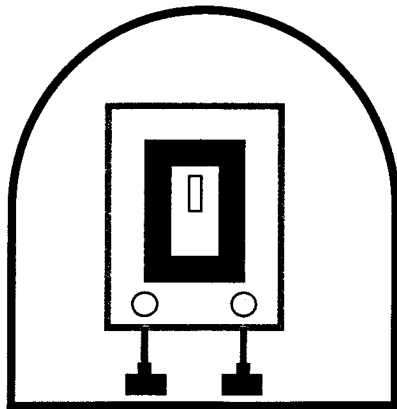
- Det är svårt att få överblick olycksscenarioet, då olycksplatsen är mycket svåröverskådlig. Detta medför att det råder en stor brist på information om vad som sker på olycksplatsen.
- Hantera en omfattande utrymnings/ livräddningssituation med mycket människor inblandade.
- Det är mycket svårt att bedöma riskerna som räddningspersonalen utsätter sig för om de skall göra en insats in i tunneln.
- Tunneln fylls av brandgaser, vilket gör att ett angrepp in i tunneln måste utföras med skyddsutrustning.
- Hur skall brandgaserna styras för att underlätta en utrymning, livräddning och en brandsläckningsinsats.
- Stora och omfattande objekt med långa och komplicerade vägar att förflytta sig ifrån säker miljö utomhus till platsen för branden.
- Kommunikation mellan personalen som befinner sig i säker miljö och den del av insatspersonalen som genomför en invändig rökdykarinsats.
- Transportera brandvatten in till platsen där brandsläckningen skall genomföras.
- Genomföra en brandsläckningsinsats som kan ge ett önskat släckresultat.

2. Typscenariobeskrivning för brand i spårtunnel

Utifrån tidigare allmänna resonemang definieras nu tre stycken typscenarier som skall ligga till grund för det vidare arbetet i denna rapport.

2.1 Beskrivning av tunneln

Vi antar att tunneln är 2 km lång och att det är en enkelspårstunnel med tvärsnittsarea (A) på 50 m². Tunneln antas vara 7 m bred (B) och ha en takhöjd (H) på 7 m. Väggar och tak utgörs av utsprängt berg. På grund av skillnaden i temperatur inne i tunneln och utanför tunneln, kommer det att vara ett naturligt luftflöde inne i tunneln. Detta luftflöde förstärks av en yttre vind mot den södra tunnelöppningen. Temperaturen (T_o) inne i tunneln antas vara 6 °C vid olyckstillfället. Det är ett naturliga luftdrag inne i tunneln.



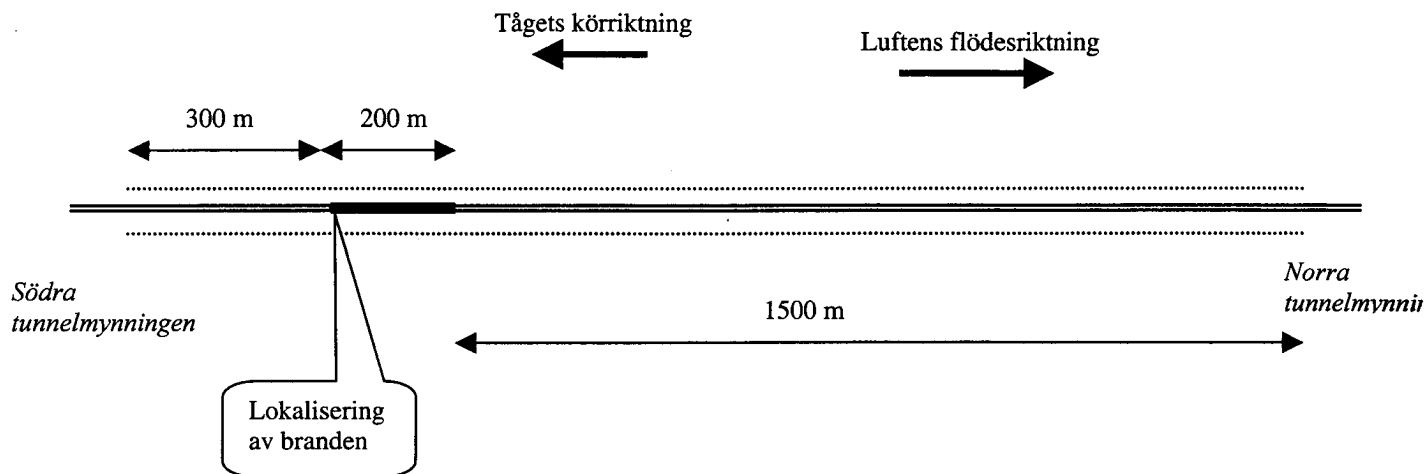
Figur 1 Tvärsnitt med utrymningsväg på båda sidor om tåget

2.2 Beskrivning av scenario 1

Ett passagerartåg med ca 250 passagerare spårar ur inne i en tunnel. Utlösande händelse är att ett objekt på spåret som orsakar en kollision med tåget. Följden av detta blir en urspårning som orsakar en brand i loket.

Tåget stannar med lokets främre del ca 300 m från mynningen. Brand utbryter i loket. Bränsle är oljor och inredningsmaterial i loket. Flödesriktningen på vinden är, på grund av yttre vindpåverkan, då riktad mot tågets tidigare färdriktning. Det betyder att rök från branden sprider sig bakåt över tågets vagnar. På tåget finns förutom föraren, ytterligare tre anställda. Dessa har tillgång till högtalarsystemet vilket gör att de kan kommunicera till alla passagerare. Det antas att alla vagnar med passagerare står upprätt även efter olyckan och att alla dörrar är intakta och möjliga att

använda som utgångar. Det antas också att passagerarna inte skadats så allvarligt av tågstoppet att de därför kan utrymma själva. Utrymningen av tåget kan antagas inledas ganska omgående efter tåget stannat, men inte främst mot bakgrund av att det brinner i tåget. Orsaken är istället att det kan förväntas att passagerarna vill komma från tåget av andra orsaker. Därför antas det att tågpersonalens agerande inte är så väsentligt i detta scenario.

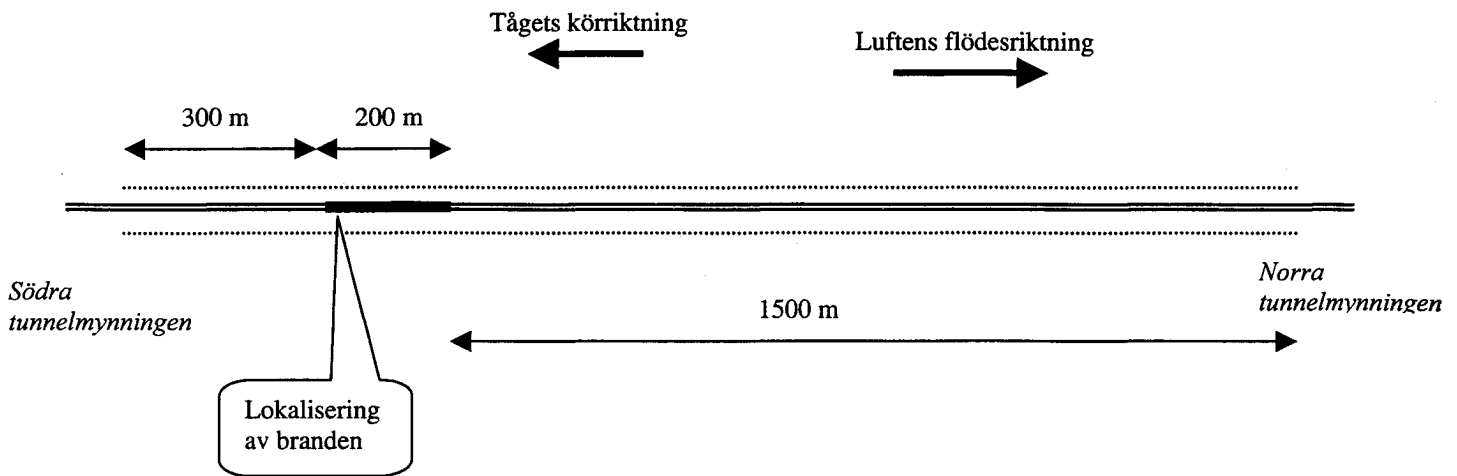


Figur 2 Placering av tåg i tunnel vid scenario .

2.3 Beskrivning av scenario 2

Utlösande händelse är en brand som börjar i en av passagerarvagnarna på ett passagerartåg med ca 250 passagerare. Tåget nödstoppas av en passagerare som observerar en brand i den första passagerarvagnen bakom loket. I detta läge är tåget strax före en tunnel. Stoppsträckan är sådan att tåget stannar inne i tunneln med lokets främre del ca 300 m från mynningen. Bränsle är främst inredningsmaterialet i vagnen. Vagnen inte helt övertänd utan branden sprids relativt långsamt inne i vagnen.

Flödesriktningen på vinden är, på grund av yttre vindpåverkan, då riktad mot tågets tidigare färdriktning. På tåget finns förutom föraren, ytterligare tre anställda. Dessa har tillgång till högtalarsystemet vilket gör att de kan kommunicera till alla passagerare. Efter nödinbromsningen antas det att alla dörrar är intakta och möjliga att använda som utgångar. Det antas också att passagerarna inte skadats så allvarligt av tågstoppet att de därför kan utrymma själva. Utrymningen av tåget antagas inledas efter det att tågpersonalen meddelat passagerarna över högtalarsystemet att de skall lämna tåget. Tågpersonalens agerande är därför väsentlig för förloppets utgång.



Figur 3 Placering av tåg i tunnel vid scenario 2

2.4 Beskrivning av scenario 3

Tredje scenariot är identiskt med andra scenariot förutom det att storleken på branden i tredje scenariot kommer att vara större och vagnen blir helt övertänd. Det innebär att alla glasfönster slås ut samtidigt och branden blir fullt utvecklad i vagnen inom en halvtimme

3. Beräkning av brandgasspridning i en tågtunnel

3.1 Förutsättningar

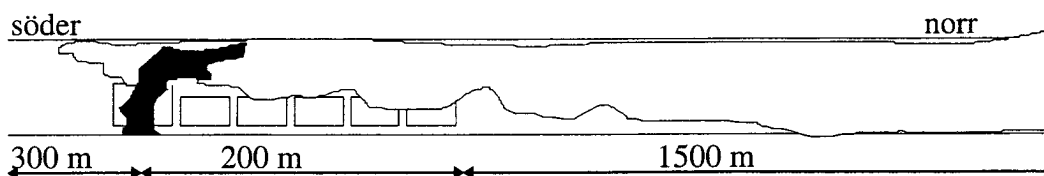
I följande avsnitt beskrivs hur man kan beräkna spridning av brandgaser inne i en tågtunnel. Vi förutsätter att luftdraget inne i tunneln bestäms av rådande vindförhållanden utanför tunneln. Vi antar att termiska drivkraften orsakat av branden inte påverkar luftdraget nämnvärt inne i tunneln. De matematiska modeller som presenteras i appendix A har utvecklats för de tre scenarier som beskrivs nedan. Alla tre scenarierna kommer att analyseras.

Evakuering av passagerare påbörjas och den miljö som bemöter passagerarna i de olika scenarierna beskrivs med hjälp av de matematiska modeller som presenteras i appendix A.

3.2 Scenariobeskrivning

3.2.1 Scenario 1) Brand i lok 25 MW

Tåget antas kollidera med ett objekt som ramlat från taket inne i tunneln vilket orsakar en urspårning av tåget som stannar 300 m från den ena tunnelmynningen (södra). Bakre delen av tåget, som är 200 m långt, stannar ungefär 1500 m från den andra tunnelmynningen (norra). Loket antas börja brinna på grund av kollisionen. Transformator- och dieselolja läcker ut på banvallen och börjar brinna. Branden sprids snabbt till brännbart material i loket som blir helt övertänt inom 6 minuter. Röken sprids från söder till norr.



Figur 4 Brand i lok där luftriktningen är från söder till norr

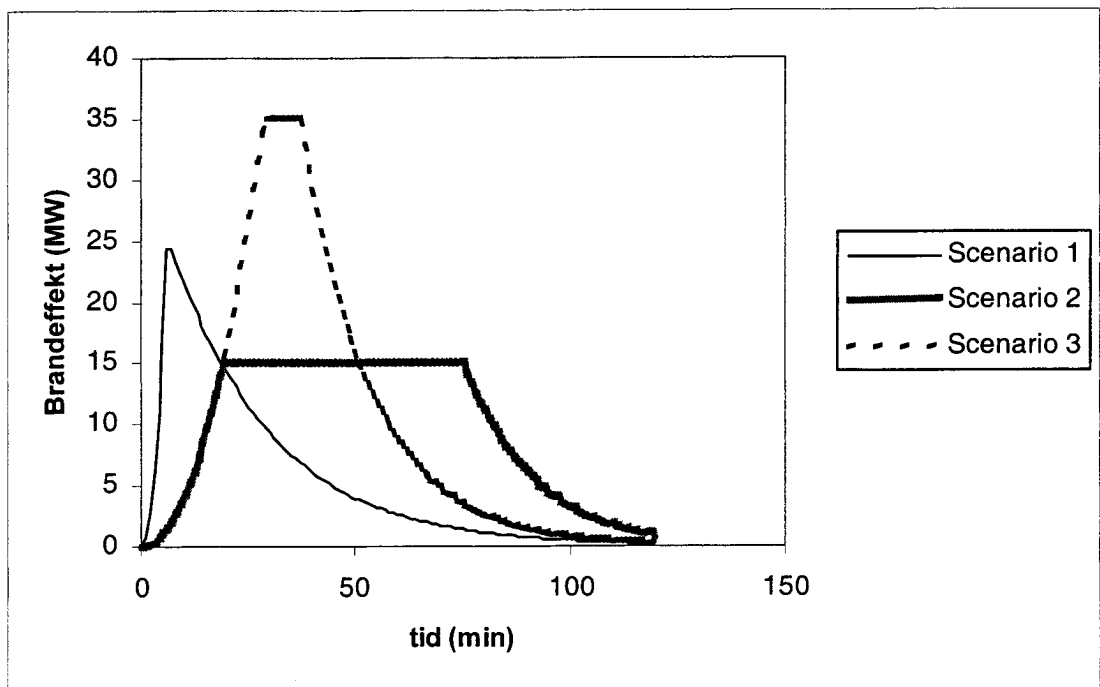
Vi får göra grova antaganden eftersom det inte finns några dokumenterade brandförsök kring bränder i lok. Vi antar att brandutvecklingen är mycket snabb på grund av allt brännbart material i loket. Brandutvecklingen antas följa en ultra fast t^2 brandkurva från NFPA. Den maximala brandeffekten antas bli ungefär 25 MW (Q_{max}) vilket motsvarar en pölbrand på ungefär 3 x 4 m. Den exponerade bränsleytan antas avta strax efter att maximala brandeffekten uppnås vilket innebär att branden antas minska successivt i intensitet, figur 3. Matematiskt kan initialbranden skrivas som:

$$Q(t) = \alpha_L t^2 \text{ för } t \leq 6 \text{ min} \quad (1)$$

där α_L är brandtillväxtkoefficienten för loket (kW/s^2). Enligt NFPA 13E är brandtillväxtkoefficienten lika med 0.1876 kW/s^2 för ultra fast. Vidare så antar vi att när branden har uppnått ungefär 25 MW kommer den att avta enligt följande ekvation:

$$Q(t) = Q_{\max} e^{-\beta(t - \sqrt{\frac{Q_{\max}}{\alpha_L}})} \quad (2)$$

där $Q_{\max} = 24\,400 \text{ kW}$ och $\beta = 0.0007 \text{ s}^{-1}$. De ekvationer som presenteras ovan bygger på erfarenhetsmässiga antaganden om hur en brand skulle kunna utvecklas i ett lok.



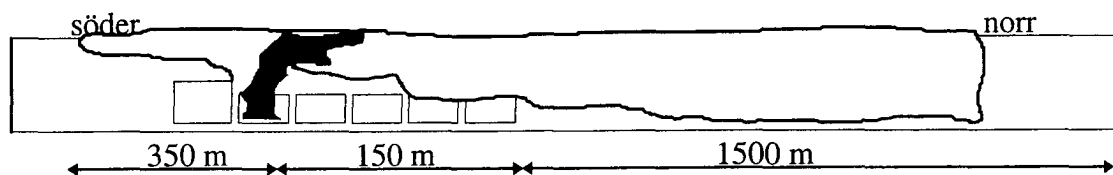
Figur 5 Brandeffektkurvor för olika scenarier



Figur 6 Bilden visar en övertänd tågagn. Branden inträffade i Borås sommaren 2000

3.2.2 Scenario 2) Brand i passagerarvagn 15 MW

Tåget börjar brinna av okänd anledning innan tåget åker in i tunneln. Tåget tvingas stanna inne i tunneln. Vi antar att tåget stannar 300 m från den södra tunnelmynningen. Branden har startat i den första passagerarvagnen räknat från loket.



Figur 7 Brand i passagerarvagn där luftriktningen är från söder mot norr

Branden antas följa en medium fast t^2 brandkurva (NFPA):

$$Q(t) = \alpha_T t^2 \text{ för } t \leq 19 \text{ min} \quad (3)$$

α_L är brandtillväxtkoefficienten för tåget som antas ha ett värde motsvarande en medium brandtillväxtkoefficient som är 0.012 kW/s^2 . Det

ligger mycket nära det värde som uppmättes vid EUREKA försöken i Norge (0.01 kW/s^2). Q_{\max} antas bli 15 MW för den brinnande passagerarvagnen, Ingason (1995). Branden antas efter 19 minuter ha konstant brandeffekt under en begränsad period eftersom eventuell brandspridning till nästa passagerarvagn inte har tagits med i beräkningen. Enligt de ekvationer som Ingason/6 presenterar så kan vi beräkna tiden tills avsvältningsperioden börjar. Om vi antar att brandbelastningen är 70 000 MJ för vagnen och $\beta = 0.001 \text{ s}^{-1}$ så får vi att avsvältningen börjar efter 74 minuter från brandstart.

3.2.3 Scenario 3) En övertänd passagerarvagn 35 MW

En övertänd vagn som den som visas i figur 6 kan teoretiskt utveckla en 35 – 45 MW brand. Dessa beräkningar bygger på en övertänd brand i ett rum med flera fönsteröppningar. Mätningar från Eureka försöken i Norge visar på brandeffekter mellan 12 – 19 MW för motsvarande typ av vagnar (stålskal). Om vagnarna hade varit helt övertända som visas i figur 6 hade de teoretiskt kunnat utveckla bränder som låg upp mot 45 MW.

Det finns en misstanke att vagnarna (stålskal) i Eureka försöken inte har blivit helt övertända på det sätt som visas i figur 3. Det kan finnas flera förklaringar till detta. En möjlig orsak är att brandgaserna inne i tunneln som kan omsluta vagnen kan ha påverkat brandutvecklingen inne i vagnen. Det kan göra att branden inte blir lika kraftig som om den står ute i det fria. En annan möjlig förklaring är den höga fukthalten som fanns i tunneln (95 – 100 % relativ fuktighet) vilket har bidragit till en långsammare brandutveckling än annars. Det kan också vara någon typ av kombinationseffekter. I dag dimensioneras många tunnlar i Sverige enligt den så kallade ”15 MW branden” (scenario 2), det vill säga det maximala medelvärdet från de uppmätta stålvagnarna i Eureka försöken, Ingason (1995).

För att undersöka effekterna av en helt övertänd brand, typ den som visas i figur 3, så antar vi ett tredje scenario med en maxeffekt på 35 MW. Här har vi antagit en viss inverkan av att omslutande brandgaser kan påverka övertändningsförloppet. Vi antar att brandutvecklingshastigheten är den samma som i scenario 2, det vill säga $\alpha_L = 0.012 \text{ kW/s}^2$. Det innebär att maxeffekt på 35 MW inträffar efter 28 minuter.

$$Q(t) = \alpha_L t^2 \text{ för } t \leq 28 \text{ min} \quad (4)$$

Branden antas efter 28 minuter ha konstant brandeffekt under en begränsad period eftersom eventuell brandspridning till nästa passagerarvagn inte har tagits med i beräkningen. Om vi antar samma brandbelastning som i scenario 2, det vill säga 70 000 MJ för vagnen och $\beta = 0.001 \text{ s}^{-1}$ så får vi att avsvälningen börjar efter 36 minuter från brandstart. Det innebär att vagnen är helt övertänd under en period på 8 minuter och efter ytterligare 14 minuter är branden nere på 15 MW.

I appendix A ges exempel på hur man kan utnyttja de brandeffektkurvor som anges ovan för att beräkna brandgastemperaturer, gaskoncentrationer och röktäthet vid olika tidpunkter och olika avstånd från branden. Dessa beräkningsmodeller ligger också till grund för de utrymningsberäkningar som presenteras i nästa kapitel.

4. Utrymning vid bränder i spårtunnlar

4.1 Inledning

Avsnittet beskriver utrymningssituationen för de passagerare som inledningsvis befinner sig på tåget. I samtliga scenarier förutsätts det att passagerarna själva skall ta sig ut från tåget och sedan utrymma genom tunneln till en säker plats. Den säkra platsen kan exempelvis utgöras av tunnelmynningen eller ett parallellt tunnelrör om ett sådant finns.

När passagerarna kommit ned på spåret skall de välja en utrymningsriktning. Från denna tidpunkt och tills respektive person kommit till den säkra platsen, det vill säga ut i det fria blir personen exponerad för brandgas, värme och siktbedövning. Det leder till att personen inandas giftiga gaser och ackumulerar en dos av dessa i kroppen. Efter en tid i tunneln inträffar medvetlöshet och personen kan inte längre fortsätta ut mot det fria. Personen har då andats in så stor mängd giftiga gaser att kroppen inte längre kan hållas vid medvetande. Men detta innebär dock inte att personen omkommer. Ackumuleringen av giftiga gaser fortsätter men i en lägre takt. Det finns alltså möjligheter att via en räddningsinsats rädda personer som fallit i medvetlöshet men som ännu inte omkommit.

Tidsperspektivet för dessa händelser kommer att beskrivas i kapitlet tillsammans med känslighetsanalyser som visar på vilka faktorer som är väsentliga för utgången av en utrymning.

4.2 Förutsättningar för utrymning av tåg

Förutsättningarna för att utrymma säkert från ett tåg som stannat i en tunnel beror på vilken typ av tåg det är frågan om. Nya moderna fjärrtåg av typen X2000 är bättre utrustade, med larm och normalt också något bredare dörrar jämfört med äldre tåg. Dörrarna är placerade i ändarna på vagnen och är försedda med ett par trappsteg för att nå perrongnivå. Regionaltåg av typen Kustpilen eller Öresundstågen är konstruerade på annat sätt med bredare dörrar på vagnens långsidor, några dörrar per vagn. Golvnivån i dessa tåg är också lägre vilket innebär att avståndet från golvet ned till marken är kortare. I nyare tåg finns det normalt batterier för att kunna manövrera dörrarna vid strömbortfall.

På moderna tåg finns normalt ett brandlarm med rökdetektorer. Detektorerna till brandlarmet är kopplade så att de ger en indikation hos

föraren. Larmknappar finns inte. Däremot kan nödbromshandtaget utgöra larmsignal. I fjärrtåg av typen X2000 kan föraren dock välja att kvittera bort nödbromssignalen så att tåget kan fortsätta. Det innebär att tåget inte bromsas automatiskt när någon drar i nödbromshandtaget men föraren blir informerad om att något onormalt inträffat. För loktåg (det vill säga den äldre typen av tåg som dras av traditionellt lok) innebär denna manöver att tåget faktiskt nödbromsas. Däremellan finns det flera system som i varierande grad är försedda med den så kallade nödbromsöverbryggningen.

Tågen kan också vara försedda med andra typer av detektorer, fler för modernare tåg, vilka används som allmän felindikering av det tekniska systemet. Dessa kan också utgöra information om att något inte står rätt till (exempelvis orsakat av att det brinner). Signalen i sig innebär då inte enbart brand men tillsammans med övrig information kan det få föraren att inse att det kan brinna.

När föraren observerat att det kan vara frågan om brand informerar han via högtalarsystemet att han vill ha kontakt med tågpersonalen. Tågpersonalen kontaktar föraren och samråder om lämplig åtgärd. Det finns inget mobilt kommunikationssystem för tågpersonalen utan de måste ta sig till fasta platser om de vill kommunicera med varandra. Tågpersonal kan kontrollera detektorn i den aktuella vagnen och se om det verkligen brinner. Bestämmer man sig för att utrymma tåget bromsar föraren tåget. Tiden att stanna tåget kan vara kring 1 minut.

Det troligaste sättet att detektera en brand i passagerarutrymmet är att någon bland dessa meddelar tågpersonalen. Det kan vara fallet då det är många passagerare i vagnen.

Brand i loket eller under passagerarutrymmet kommer troligen att detekteras av en detektor.

Det finns inget separat utrymningslarm på tåg. Istället kan tågets ordinarie högtalarsystem användas av tågpersonalen för att informera om att en utrymning skall ske. Detta förutsätter då att tågpersonalen klarar av att använda systemet efter en inträffad olycka. Högtalarsystemet har normalt reservkraft i form av batterier och är inte beroende av extern strömförsörjning. Funktionen av högtalarna provas flera gånger under en tågresor.

För kontakt med tågledningscentral kan tågpersonalen använda ett speciellt telefonsystem, GSM-R, som har bättre tillförlitlighet än vanliga GSM-nätet.

Detta GSM-R-nät är för närvarande under utbyggnad. Vid en olycka kommer troligen räddningstjänstens vanliga larmcentral att bli mycket belastad av telefonsamtal från passagerare med GSM-telefoner.

4.3 Utrymningsscenarioer

4.3.1 Beslut att utrymma

I det första scenariot, se kapitel 3, har en kraftig brand inträffat i tågets främre del. Orsaken till att tåget stannat och fattat eld kan vara en urspårning till följd av en kollision. Det betyder att tåget stannar ganska våldsamt. När väl tåget står stilla kommer passagerarna efter en tid att påbörja en utrymning. Det är oklart hur lång tid det kan ta att påbörja utrymningen. Passagerarna vet i detta läge inte att det brinner i tåget så den faran är inte känd. Däremot kan passagerarna vilja försöka lämna tåget bara av orsaken att de observerat att en kollision skett. Men det är långt ifrån säkert att passagerarna ens uppmärksammat att en kollision inträffat. Urspårningen kanske bara berör de främre delarna av tåget. Passagerare i de bakre vagnarna upplever bara en kraftig inbromsning vilken i sig inte är tillräcklig för att en utrymning ska påbörjas. Kraftiga inbromsningar i sig är ingen indikation på att det brinner eller att tåget måste utrymmas.

Röken från branden sprider sig i det aktuella scenariot bakåt över vagnarna vilket leder till att branden uppmärksammas. Röken kommer först till de vagnar närmast branden och dessa påbörjas troligen sin utrymning tidigast.

I scenariobeskrivningen tidigare i kapitel 3 förutsätts att tåget står upprätt och att alla dörrar är möjliga att använda. Tiden innan passagerarna börjar gå mot utgången kan vara flera minuter. Även förflyttningen i vagnen kan vara svår på grund av väskor, kläder mm som fallit ned i gångarna när tåget stannat.

De andra och tredje scenarierna är lindigare så tillvida att tåget nödbromsats men utan att ha kolliderat med något. Flertalet av passagerarna har bara uppmärksammat en kraftig inbromsning och kommer därför troligen inte att själva inleda en utrymning. De har uppfattat situationen som normal om än med en kraftig inbromsning.

För att påbörja utrymningen i samtliga scenarier är tågpersonalens agerande väsentlig. Utrymningen påbörjas troligen inte förrän personalen uppmanat till utrymning. Därefter kan utrymningen komma igång ganska omgående.

Osäkerheten i passagerarnas beteenden och tiden det tar att fatta beslut om utrymning är ganska stor. Det finns inte mycket analysunderlag att tillgå då detta i princip är omöjligt att inhämta från verkliga olyckor. Kvalificerade bedömningar och jämförelse med liknande situationer från övningar ligger till grund för resonemangen. I de analyser som görs senare i kapitlet används begreppet beslut- och reaktionstid. Beslut- och reaktionstiden avser i detta fall tiden som förflyter från det att tåget stannat tills passagerarna börjar komma ut genom dörrarna. I tiden ingår den tidsåtgång som har att göra med passagerarnas beslutsfattande inför situationen, tågpersonalens agerande och förflyttning inom tågvagnen till dörren.

4.3.2 Förflyttning till spårnivån

När passagerarna påbörjat sin förflyttning ska de först ta sig ned till spåren i tunneln. Det förutsätts att dörrarna är möjliga att öppna eller öppnas av personalen. Att sedan ta sig ned till spårnivån är komplicerat eftersom avståndet till marken är ganska stort. Troligen tar det i bästa fall några sekunder för varje passagerare att komma ned till marken men det kan ta längre tid. Försök från utrymning av tunnelbanevagnar i Stockholms tunnelbana visar på flöden i storleksordningen 5 sekunder per person, Frantzych (2000). Då är dörren bred och utan trappsteg. Personerna sätter sig först ned på golvet med benen utanför och hoppar sedan ned till marknivån.

4.3.3 Val av gångriktning

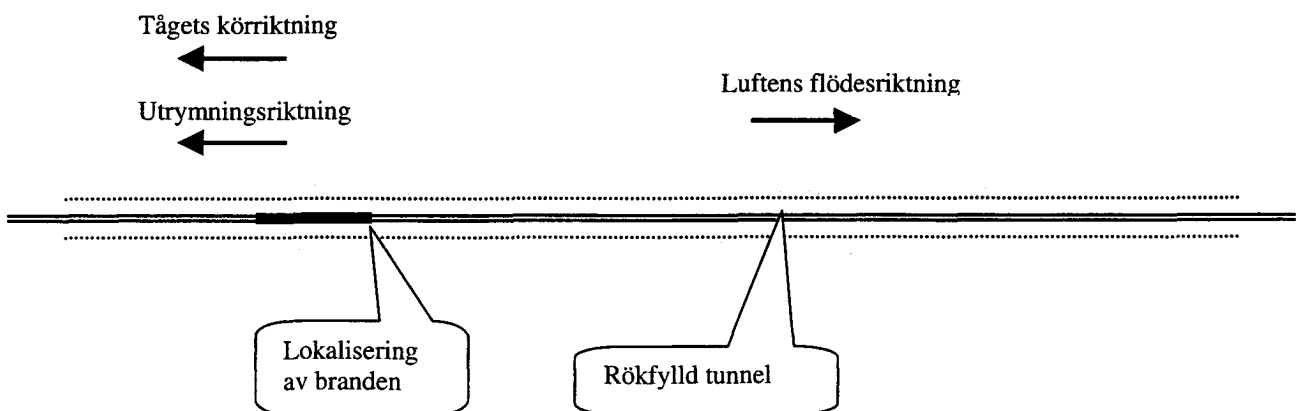
Väl nere på marken skall passagerarna gå åt något håll. Från försöken i Stockholms tunnelbana visade det sig att flertalet passagerare valde att gå tillbaka det vill säga mot det håll de kommit in i tunneln genom. I försöket var passagerarna medvetna om åt vilket håll tåget körde. Resultatet kan förklaras med att det är en mer känd riktning jämfört med att gå i tågets färdriktning. Om det dessutom brinner i den främre delen av tåget innebär det att det alternativet är än mer oattraktivt i valsituationen. Det är högst troligt att passagerarna väljer att gå från branden som utgör ett hot. Denna bedömning gjorde också flertalet av de passagerare som omkom i tunnelolyckan i Kaprun i Österrike november 2000. De passagerare som omkom valde att gå från branden uppåt i tunneln (vilken lutade) även om de gick i rök. Nedströms branden var förhållandena betydligt lindrigare.

Det diskuteras ofta åt vilket håll passagerare går åt i relation till vindriktningen. Tanken som förs fram är att passagerarna som befinner sig i rök skall gå mot vindriktningen för att på det viset snabbare komma till en plats med frisk luft det vill säga uppströms branden. Men det kan innebära en konfliktsituation mellan att gå mot vindriktningen och att samtidigt behöva gå mot branden och passera denna för att komma till platsen med bättre luftmiljö. Det är rimligt att anta att faran från branden dominerar över behovet av att ta sig till den bättre miljön, förutom för väldigt små bränder. Orsaken till detta är förutom oviljan att behöva gå mot en fara också att

miljön kring branden är så oattraktiv att det inte går att vistas där. Strålningsnivån från branden är för hög för att kunna vistas i dess närhet.

I ett tidigt skede av förloppet kan valet av gångriktning underlättas av om det finns skyltar eller annan information som anger riktning och eventuellt avstånd till en utrymningsväg. Det förutsätter att det är så tidigt i förloppet att dålig sikt inte hindrar. Begränsningar att se omgivningen är troligen en dominerande faktor som påverkar utrymningen både vad avser beslutsfattande och fysisk förflyttningsförmåga. Experiment från tunnelbränder visar att röken fort blir mycket tät vilket hindrar sikten.

Eftersom valet av gångriktning styrs av hur attraktiva de båda alternativen på gångriktning är kommer valet att vara beroende på exempelvis brandens placering. Om branden inträffar i tågets bakre del och vinden kommer från främre delen av tåget, figur 8, blir valet tämligen enkelt. Med tidigare resonemang kommer passagerarna att gå från branden och samtidigt gå mot vindriktningen. Miljön att utrymma i är då förhållandevis gynnsam.

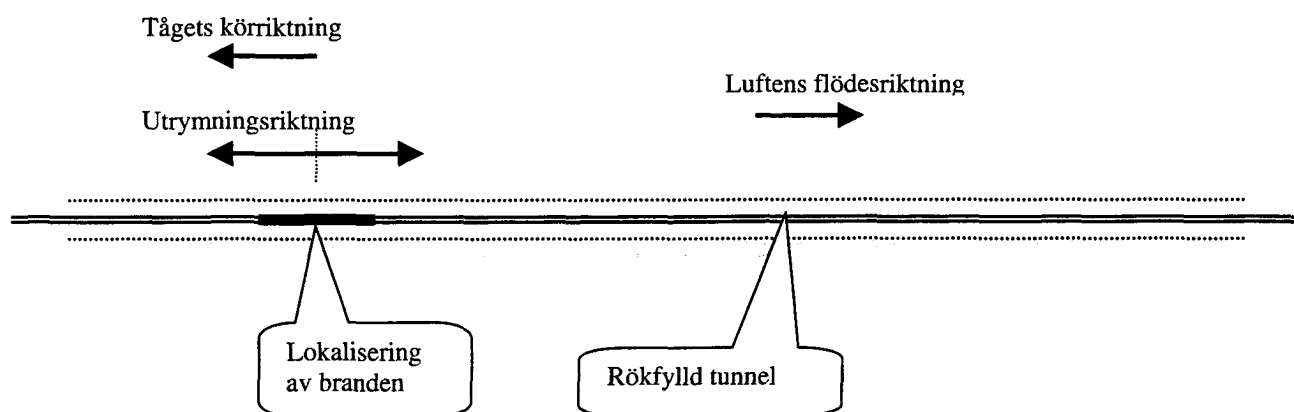


Figur 8. Utrymningsituation med branden lokaliserad i bakre del av tåget samtidigt som vindriktningen är motsatt tågets tidigare färdriktning.

Om det är känt var branden utbrutit och ingen vind råder kan miljön för passagerarna förbättras med hjälp av mekanisk ventilation. Detta är dock väldigt vanskligt eftersom det förutsätter kunskap om brandens placering. Vid branden i Bakus tunnelbana 1995 användes mekanisk ventilation på ett sätt som utsatte många passagerare som var i färd med att utrymma för rök i en tidigare rökfri miljö Rohlén, Wahlström (1996).

Om branden inträffat någonstans mitt på tåget, figur 9, kommer situationen för en större del av passagerarna att bli värre jämfört med situationen ovan. Fler passagerare kommer då nedströms branden och tvingas utrymma genom röken om de väljer att gå från branden. Övriga passagerare som

befinner sig på andra sidan branden får en gynnsam utrymningsmiljö likt den i beskrivningen ovan. Eftersom denna situation kan inträffa är det motiverat för att i ett inledningsskede vara restriktivt att med hjälp av fläktar försöka tränga undan röken, vilket kräver stor kunskap och försiktighet. Denna problematik tas upp i samband med beskrivningen av räddningsinsatsen.



Figur 9. Utrymningsituation med branden lokaliserad centralt i tåget samtidigt som vindriktningen är motsatt tågets tidigare färdriktning.

Vad som också kan noteras för detta fall är att passagerare kommer att utrymma åt båda hållen. Det innebär att räddningstjänsten kommer att möta utrymmande passagerare på båda sidorna av tunneln. Dessa personer skall då tas omhand och eventuellt ges vård. Det kan innebära ett resursproblem vilket också diskuteras vidare i avsnittet som beskriver räddningsinsatsen.

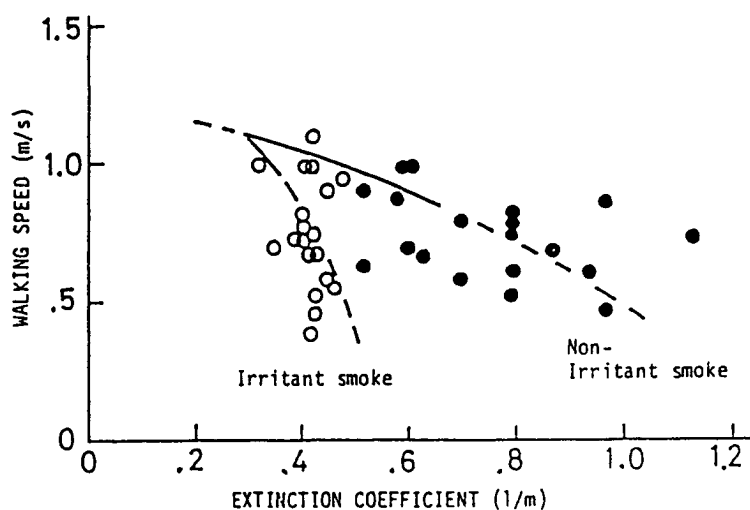
Den värsta situationen vad avser antal passagerare som utsätts för rök är om branden inträffar i främre delen av tåget med i övrigt oförändrade förutsättningar, figur 2. Det är också de scenarier som förutsätts vid de analyser som görs i rapporten. Men en fördel med det fallet är att alla passagerarna förväntas gå åt ett håll, det vill säga från branden. Men vid en verklig brand kan detta naturligtvis inte förutsättas gälla till 100 %.

4.3.4 Förflyttning genom rök i tunneln

Förflyttningen i tunneln sker vanligen direkt på ett underlag av makadam om det inte finns förberedda gångvägar att använda. Sådana finns enbart i nyprojekterade tunnlar. Gånghastigheten i tunneln styrs i hög grad av belysningsnivån samt av sikten i tunneln. Experiment visar att gånghastigheten på makadam i en tunnel kan vara förhållandevis hög så länge det finns någon form av belysning i tunneln, Frantzich (2000). Gånghastighet kring 1,4 m/s är en rimlig hastighet. Det motsvarar gånghastighet på vanligt plant underlag. Passagerarna vänjer sig efter hand att gå på det ojämna underlaget vilket leder till en hög hastighet även då.

Men om belysningen helt saknas sjunker hastigheten ned till ca 0,5 m/s i ett ogynnsamt fall. Dessa värden förutsätter att sikten är måttligt begränsad det vill säga minst några meter.

Om röken är så tät och samtidigt irriterande kan ännu lägre gånghastigheter förväntas, figur 10. Experiment visar att gånghastigheten snabbt sjunker om röken är irriterande. I dessa fall hade belysningsnivån i princip ingen betydelse.



Figur 10. Gånghastigheten i relation till röktheten, Jin & Yamada (1985). Röktheten, k , är beräknas enligt ekvation 5.

Röktheten definieras i denna rapport som

$$k = \frac{1}{L} \ln \frac{I_0}{I} \quad (5)$$

där L är sträckan över vilken ljusintensiteten från en lampa minskar från I_0 till I till följd av rökpartikelabsorbtionen. Vid en känd brand kan röktheten k uppskattas med antaganden om produktion av sot. Detta beskrivs i appendix A. Där definieras rökkoncentrationen C_s . Röktheten k kan sedan beräknas som

$$k = 2,3 \cdot 3300 C_s \quad (6)$$

Faktorn 2,3 måste användas eftersom konstanten 3300 är baserad på förutsättningen att röktätheten definieras med 10-logaritmen istället för den naturliga logaritmen som används i ekvation 1. Siktsträckan i röken kan uppskattas med hjälp av ekvation A8 i appendix A eller något mer approximativt som

$$\text{Siktsträcka} = \frac{2}{k} \quad (7)$$

Detta innebär att gånghastigheten för irriterande rök hastigt avtar redan vid en siktsträcka kring 5 m. Det är troligt att röken kommer att ha just sådan irriterande effekt på andningsvägar och ögon eftersom det är kolväten som brinner.

Personerna fortsätter sedan att gå mot den säkra platsen vilket i de flesta fall är en tunnelmynning. I de fall då parallella tunnlar finns kan även den säkra platsen utgöras av det andra tunnelröret. Tvärförbindelser mellan de två rören utgör då en möjlighet att snabbare komma till en bättre miljö jämfört med att gå en längre sträcka till tunnels mynning. Men det bör observeras att passagerare kan ha svårt att hitta till dessa tvärförbindelser om röken i tunneln är tät. Passagerare som kommer ut i tunneln på den sida om tåget som är vänd från det parallella tunnelröret kommer inte att hitta dessa tvärförbindelser i den täta röken. Avståndet mellan en tunnels väggar kan vara flera meter vilket kan innebära orienteringssvårigheter i sådana fall.

Passagerarna som då befinner sig på fel sida i tunneln och följer tunnelväggen eller som väljer att försöka orientera sig med hjälp av rälsen kommer troligen att fortsätta att följa dessa hela vägen ut. Hela detta resonemang bygger på att branden orsakar en rök som är så tät att orienteringssvårigheter kan uppstå. I lindrigare fall kan säkert tvärförbindelser vara användbara.

4.4 Påverkan på människan

4.4.1 Påverkansmodell

Under hela förflyttningen till det fria eller annan säker plats kommer respektive person att andas in rök. Röken innehåller en mängd giftiga gaser främst koloxid (CO), koldioxid (CO₂) och vätecyanid (HCN) samt sotpartiklar och vattenånga. Dessa gaser och partiklar påverkar förmågan att förflytta sig. Den sammanlagda effekten av dessa gaser kan uppskattas med en så kallad fraktionsdosmodell (FED, Fractional Effective Dose). Denna anger bidraget till den dos som människan kan tåla för respektive gas och för given koncentration och exponeringstid. När summan av de tolerabla

doserna når värdet 1,0 överskrider ett gränsvärde vilket kan vara definierat som medvetslöshet eller dödliga förhållanden. Vilket som avses bestäms av hur gränsvärdet beräknas. Den vanligaste modellen för att bestämma fraktionsdosen är beskriven av Purser (1995). I denna finns angivet hur såväl medvetslöshet (FID, Fractional Incapacitation Dose) och dödliga förhållanden (FLD, Fractional Lethal Dose) kan uppskattas.

I modellen ingår fraktionsdosen för kombinationen av CO, CO₂ och HCN. Det finns också kompletterande fraktionsdoser för enbart CO₂, förhöjd temperatur och partikelkoncentration. I rapporten kommer fraktionsdos för kombinationen CO, CO₂ att användas tillsammans med fraktionsdoser för enbart CO₂ och för förhöjd temperatur. Alla tre används för att bestämma tidpunkten då medvetslöshet inträffar, det vill säga $FID = 1,0$. Fraktionsdosen för CO och CO₂ används dessutom för att uppskatta om dödliga förhållanden inträffar, $FLD = 1,0$. Dessutom finns en kontroll som indikerar om syrehalten i luften understiger en alltför låg nivå.

4.4.2 Koloxid

Koloxiden verkar främst narkotiskt genom att den blockerar blodets syreupptagande förmåga. Halten av karboxylhemoglobin (COHb) i blodet kommer gradvis att öka när personen andas in gasen. Halten bestäms av hur lång tid en person är exponerad för gasen och för vilken koncentration. Höga koncentrationer leder till medvetslöshet inom några minuter (1 vol% CO under 3-4 minuter). Men även lägre koncentrationer är allvarliga men då måste exponeringstiden vara längre för att uppnå samma effekt. Vid en halt av ca 30 % COHb i blodet är det troligt att personen faller i medvetslöshet och vid halter över ca 50 % COHb avlider personen. Variation i känslighet för höga halter av COHb kan vara stor och upptaget kan också variera mellan olika personer främst på grund av olika kroppsvikt. Barn och personer med nedsatt hjärtfunktion klarar normalt inte så höga doser.

Halten C/Hb i blodet kan uppskattas utifrån experiment för olika koncentrationer av CO och olika aktivitetsgrad uttryckt i RRV (respiration minuter volume) det vill säga inandningshastigheten i l/minut. RMV för en person som utför ett lätt arbete ligger kring 25 l/min. För en person i vila är motsvarande siffra 8,5 l/min. Det leder till att ett uttryck kan bestämmas som anger andel av den totala fraktionsdosen för koncentrationen $koncCO$ under tiden t , F_{CO} :

$$F_{CO} = \frac{K(koncCO^{1,036})t}{D} \quad (8)$$

Konstanten K är beroende på personens RMV och D anger den tolerabla COHb-dosen, 30 % för medvetlöshet eller 50 % om dödliga förhållanden avses. Beräkningen baseras på det så kallade LC₅₀-värdet för COHb.

4.4.3 Koldioxid

Koldioxid är visserligen också giftigt i höga koncentrationer (> 10 vol%) men den viktigaste effekten med denna gas är att den ökar andningsfrekvensen. Detta i sin tur leder till ett snabbare intag av övriga gaser t ex koloxid. En koncentration på ca 3 vol% innebär en fördubblad andningsfrekvens. En omräkningsfaktor för andningsfrekvensen kan beräknas med följande ekvation

$$VCO_2 = \frac{e^{2,0004+0,1903\text{konc}CO_2}}{7,1} \quad (9)$$

Genom försök finns det även information om hur fraktionen av den dos som en person tål innan medvetlöshet inträffar kan beräknas vid exponering av koldioxid. I det fallet är koncentrationen CO₂ betydligt högre jämfört med nivån för att bara öka andningsfrekvensen

$$F_{CO_2} = \frac{1}{e^{(6,1623-0,5189\text{konc}CO_2)}} t \quad (10)$$

där $\text{konc}CO_2$ anges i vol%.

4.4.4 Syre

Brist på syre i luften kan också vara en faktor som försvårar utrymningen. Vanligen ligger gränsvärdet kring 9 vol% som leder till att personen blir medvetlös. Vid denna nivå är branden kraftigt underventilerad och sådana förhållanden är typiska för mindre lokaler. I en tunnel är det inte troligt att så låga syrehalter kommer att förekomma. Men även vid nivåer över den akut farliga nivån påverkar låga syrehalter kroppen. På samma sätt som för övriga gaser kan fraktionsdosen beräknas för koncentrationen $\text{konc}O_2$ under exponeringstiden t :

$$F_{O_2} = \frac{1}{e^{8,13-0,54(20,9-\text{konc}O_2)}} t \quad (11)$$

På liknande sätt kan påverkan på personen uppskattas för övriga gaser i röken. I den modell som senare används kommer dock inte fler gaser att behandlas.

4.4.5 Rökpartiklar

Även rökpartiklarna det vill säga den sot som finns i röken är i viss mån giftig för personen. Inandning av alltför stor mängd sot leder till medvetlöshet på grund av den sammanlagda effekten av innehållet i röken. Att använda rökpartikeldosen som ett mått på rökens giftighet kan anses vara en första approximation främst eftersom det är tämligen lätt att bestämma partikelkoncentrationen. Från försök har det visat sig att den dödliga dosen av rökpartiklar varierar mellan 150 till 1800 g * minut/m³. I många handböcker anges att ett genomsnittsvärde för den dödliga dosen för de flesta bränslen är kring 300 g * minut/m³.

4.4.6 Termisk påverkan

Personer som utsätts för förhöjd temperatur kommer också gradvis att få svårare att utrymma. Påverkan sker genom att kroppstemperaturen ökar vilket påverkar vitala kroppsfuntioner exempelvis hjärtverksamheten. Den temperaturnivå som är aktuell är främst sådan som är för låg för att orsaka brännskador. Temperaturhöjningen i kroppen är mycket beroende på hur personen är klädd och nivån av fukt i luften. Höjningen är då orsakad av att kroppen inte kan göra sig av med överskottsvärmen eftersom temperaturen är högre i omgivningen. Vid hög luftfuktighet blir det än mer svårt att frigöra överskottsvärmen. Ett förenklat uttryck för att bestämma tid till medvetlöshet anges av Purser (1995).

Detta kan sedan utnyttjas för att bestämma termisk dos som en person klarar av att absorbera under utrymning. Ekvationen är framtagen utifrån genomsnittliga värden för luftfuktighet och klädsel.

$$F_{temp} = \frac{1}{e^{5,18-0,0273T}} t \quad (12)$$

Ekvationen ovan kommer att ge ett bidrag till temperaturdosen oavsett hur varmt eller kallt det är. Det är dock rimligt att anta att man bara behöver räkna med ett bidrag för temperaturer över kroppstemperaturen. I annat fall är det frågan om en avkylning.

Termisk påverkan kan också ske genom värmestrålning. Normalt klarar en person att utsättas för ca 2,5 kW/m² under en längre tid. Detta värde kan därför användas som övre kriterium för acceptabla förhållanden.

Information om dessa gaser kan användas för att skapa en modell för hur länge en person kan fortsätta sin utrymning genom en tunnel. Påverkansmodellen bestämmer den ackumulerade dosen av t ex förhöjd temperatur, giftiga gaser och rökpartiklar. När första variabels gränsvärde inträffat antas det att medvetlöshet inträffat. Tid till det att personen

omkommer kan bestämmas med samma typ av modell men där gränsvärdet sätts högre. De fraktionsdoser som beräknas i analysen samt en beskrivning av modellen redovisas i appendix B.

4.5 Modell för utrymning

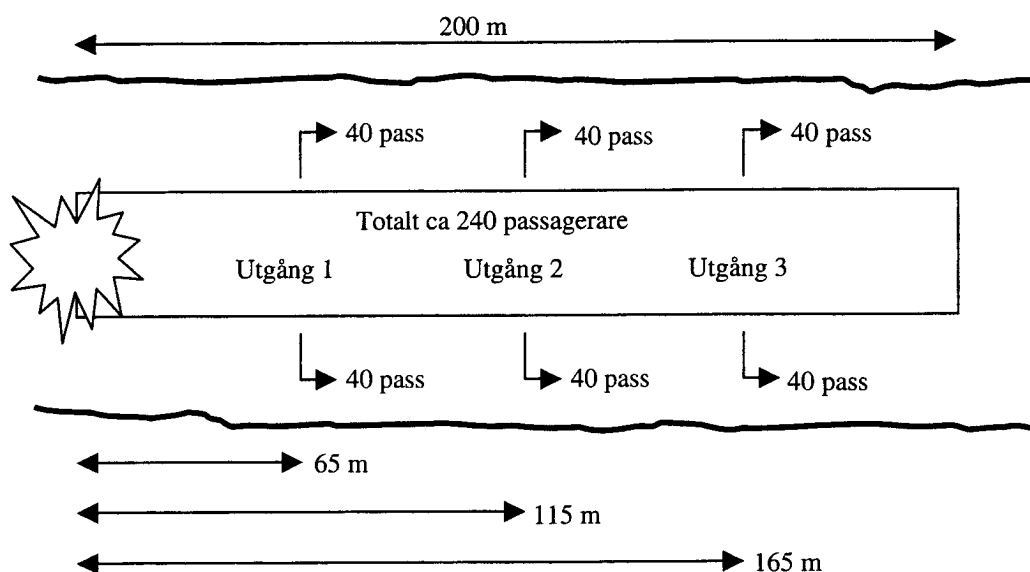
Syftet med analysen är att uppskatta antalet omkomna, antalet medvetlösa i en tunnel och antalet som hinner utrymma. Det föreligger dessutom ganska stora osäkerheter i hur ett verkligt brandförlopp och utrymningsförlopp kommer att gestalta sig. Det betyder att en modell för utrymning kan betrakta personer som utrymmer som medlemmar i grupper och individer behöver inte följas specifikt. En förenkling av utrymningsituationen kommer därför att göras.

Alla beräkningar i modellen sker i tidssteg om 30 sekunder. Den utrymningstid som undersöks sträcker sig maximalt 2 timmar efter branden startat.

Tåget delas upp i tre delar med vardera ca 80 personer i varje del. Dessa 80 personer utrymmer genom två dörrar, en på vardera sidan av tåget. Dörrparen benämns utgång 1 - 3 med början närmast branden. Genom en dörr kommer således 40 personer att utrymma.

Det antas att 10 personer hinner utrymma på 30 sekunder. Detta högre flöde jämfört med tidigare redovisade experiment skall kompensera för att fler dörrar verkligen används för de 40 som nu antas komma ut genom en öppning.

Dörrarna är placerade jämnt fördelat utefter tåget, se figur 11.



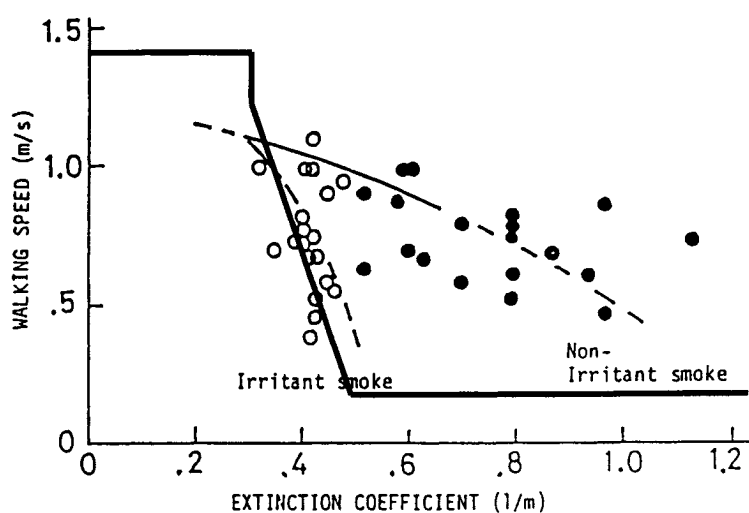
Figur 11. Modell för utrymning av tåg i tunnel. Placering av utgångar.

De 10 personer som på 30 sekunder kommer ut genom en dörr antas gå tillsammans i en grupp. Från respektive dörr kommer det då 4 grupper. Det antas vidare att dessa grupper inte inverkar på varandra vad gäller gånghastighet till följd av trängsel eller har något övrigt informationsutbyte. De är helt oberoende av varandra.

Passagerare som ännu inte kommit ut i tunneln påverkas inte av rök eller värme från branden. I vagnen är miljön opåverkad av branden.

I tunneln utsätts varje person eller grupp för brandens exponering i form av koloxid, koldioxid, förhöjd temperatur, låg syrehalt och rökpartiklar. Den ackumulerade dosen ökas för varje tidssteg beroende på de för tiden och platsen aktuella förhållandena.

Gruppen förflyttar sig i tunneln så länge som inte medvetlöshet inträffat. Gånghastigheten bestäms av siktsträckan för den aktuella tiden och platsen baserat på data från Jin & Yamada (1985), se figur 12.



Figur 12 Gånghastigheten i tunneln. Tjock heldragen linje anger den hastighet som används i analysens grundscenarier.

Minsta gånghastighet, oberoende av siktsträcka är 0,2 m/s.

Alla passagerare går från branden mot tunnelmynningen.

När personerna i en grupp nått kritisk ackumulerad dos för medvetlöshet upphör förflyttningen för den aktuella gruppen. Detta kriterium kan vara orsakat av upptag av koloxid, koldioxid, förhöjd temperatur eller låg syrehalt. Gruppen fortsätter att exponeras på den aktuella platsen men upptaget av CO och CO₂ är lägre eftersom andningsfrekvensen minskat till följd av medvetlösheten. Personerna i gruppen antas vara vid liv tills något

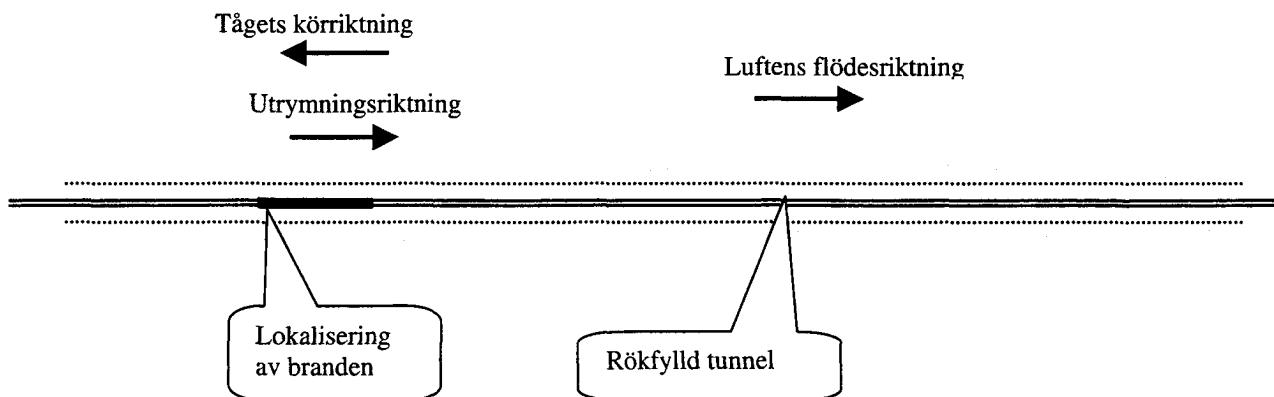
dödligt kriterium inträffat. Modellen beskrivs med använda ekvationer i appendix B. All information till modellen vad avser brandförloppet beräknas utifrån ekvationerna i appendix A.

Alla figurer som visas senare i detta kapitel redovisar resultaten för de fyra grupper som utrymmer från den utgång som studeras. Det finns alltså en linje för varje grupp om 10 passagerare i varje diagram.

4.6 Utrymningsberäkning

4.6.1 Scenario 1

Det första scenariot innebär att brand inträffat i främre delen av ett tåg. Vindriktningen är sådan att röken kommer att passera förbi hela tåget och alla passagerare kommer att tvingas utrymma genom röken, figur 6. Grundscenariot baseras på informationen i kapitel 3 och 4. Det innebär att branden är kraftig och växer till ca 25 MW på 6 minuter. Därefter avtar branden. Vindhastigheten är konstant och 1 m/s. På grund av osäkerhet vid olyckstillfället antas det att passagerarna inte påbörjar sin utrymning (eller egentligen förflyttningen) förrän efter 3 minuter. Först efter 3 minuter kommer alltså de första passagerarna ut i tunneln. I anslutning till resultaten presenteras också en känslighetsanalys för att studera inverkan av några variabler på antalet personer som omkommer, är medvetslösa och hur långs dessa personer då kommit.



Figur 13. Utrymningsscenario.

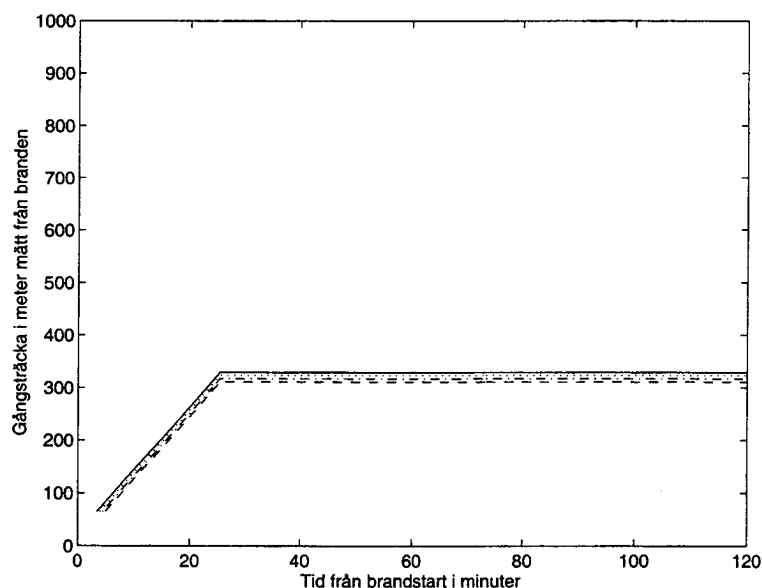
Grundscenario

Förutsättningarna för scenariot är

- brandscenario 1
- beslut- och reaktionstid 3 minuter
- vindhastighet 1 m/s

- minsta gånghastighet för passagerare 0,2 m/s
- tunnelns dimensioner 7 x 7 m².

Figur 14 visar hur långt personerna som utrymmer från utgång 1 når innan de blir medvetslösa. I princip kommer de lite drygt 300 m från branden innan de blir medvetslösa. De 10 passagerare som först kommer ut i tunneln hinner lite längre (ca 10 m) än de som kommer ut sist.



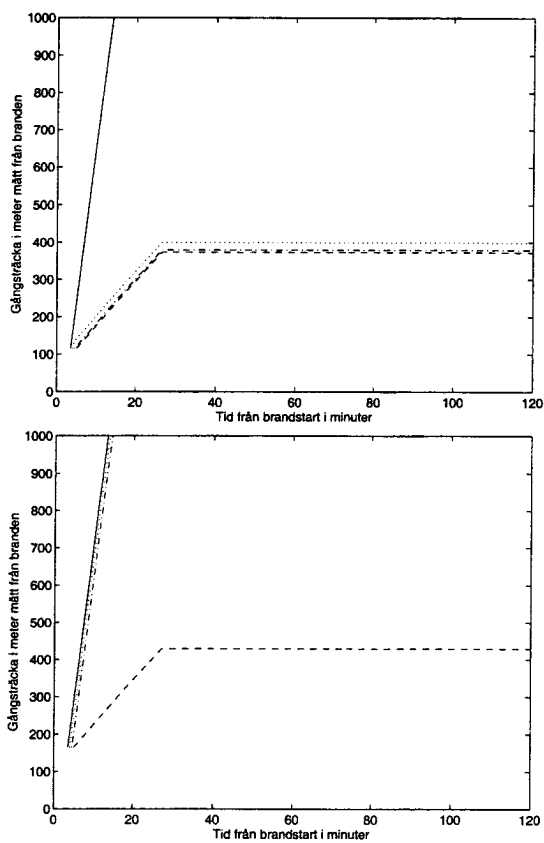
Figur 14. Gångsträcka för passagerare (4 grupper) som använder utgång 1. Beslut- och reaktionstid är 3 minuter.

För de passagerare som utrymmer genom utgångarna 2 och 3, figur 15 och 16, är situationen mer gynnsam eftersom de redan inledningsvis befinner sig längre från branden. Rökfronten rör sig med ca 1 m/s från branden start och är mindre farlig längre bort från branden.

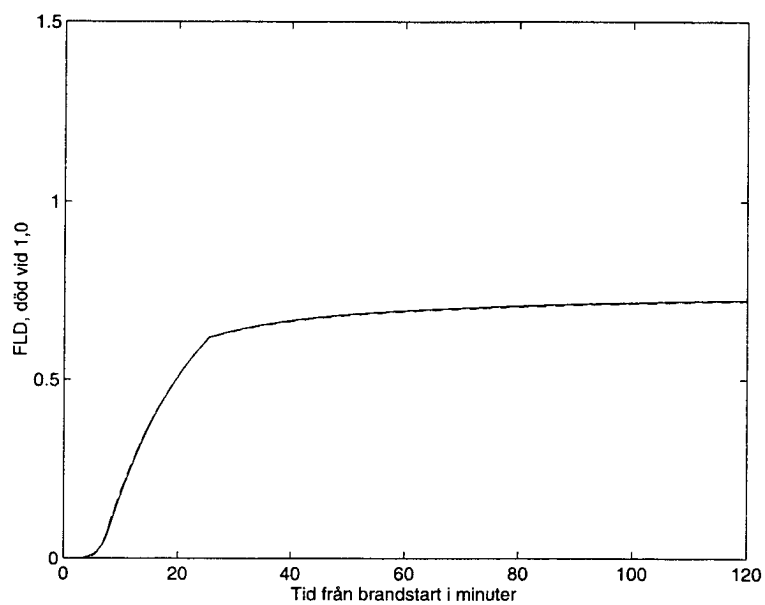
Av de fyra grupper som lämnar utgång 2 på respektive sida hinner de första grupperna på 10 passagerare på vardera sidan tåget att undkomma röken. De övriga tre grupperna kommer att ackumulera en sådan dos av giftig rök och värme att de tvingas stanna efter ca 380 m från branden. De passagerare som inledningsvis befinner sig längst från branden och utrymmer från utgång 3 har då störst chans att undkomma. Här är det bara den sista gruppen som lämnar tåget som inte kan ta sig ut till en säker plats. Dessa passagerare stannar ca 430 m från branden. Totalt är det i detta scenario cirka 160 passagerare som inte hinner undkomma röken och som blir kvar medvetslösa i tunneln.

Men frågan är om de passagerare som är kvar i tunneln kan räddas. Under sin flykt i tunneln ackumulerar de en viss dos giftig rök. Intaget av denna

minskar i samband med att medvetslöshet inträffar. Figur 17 visar fraktion av dödlig dos till följd av inandning av koloxid och koldioxid.



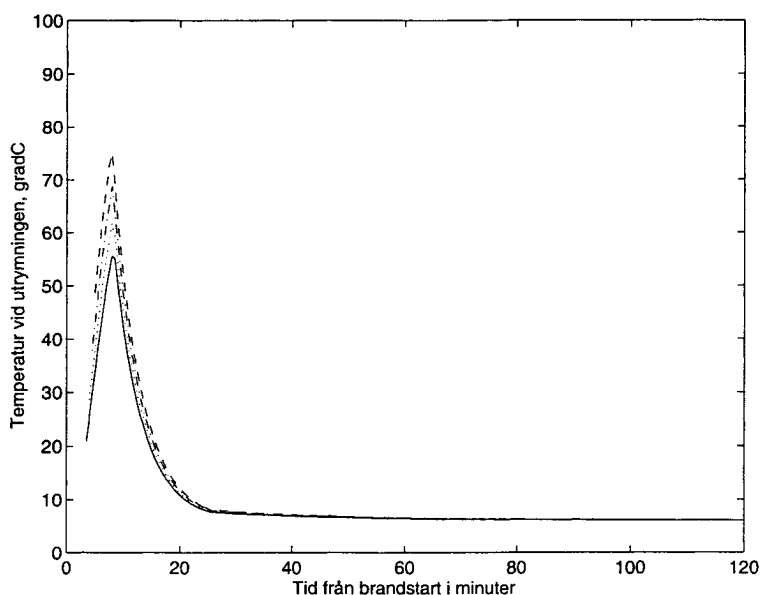
Figur 15 och 16. Gångsträcka för passagerare som använder utgång 2 respektive 3. Beslut- och reaktionstid är 3 minuter.



Figur 17. Ackumulerad dos av CO och CO₂ i relation till dödlig dos (FLD) för passagerare från utgång 1.

När den ackumulerade dosen når värdet 1,0 indikerar det att den dödliga dosen för hälften av en population är nådd. I det aktuella fallet nås inte värdet 1,0 vilket innebär att det finns stora chanser att personerna inte avlidit till följd av inandning av giftiga gaser. Det gäller då 2 timmar efter branden startat. Det kan dock innebära att någon person kan ha omkommit eftersom det finns en viss variation i en individs tålighet för de aktuella toxiska nivåerna. För passagerare från de övriga utgångarna är situationen än mer gynnsam.

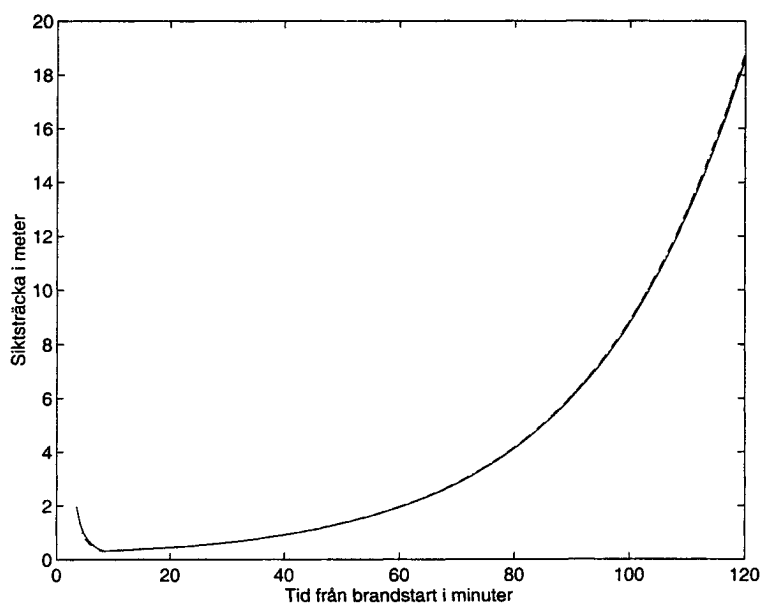
Även om det kan tyckas gynnsamt att värdet för FLD inte når 1,0 innebär detta inte att miljön i tunneln är bra. Det är en synnerligen otrevlig miljö dessa passagerare befinner sig i. Eftersom passagerarna hinner ta sig en sträcka från branden är inte temperaturen speciellt hög. Temperaturen de utsätts för är i storleksordningen 50°C till 100°C, figur 18. Den temperaturdos som passagerarna ackumulerar under sin utrymning är heller inte speciellt hög. Den når för gruppen från första utgången ett värde kring 0,2 där 1,0 innebär medvetslöshet till följd av överhettning. Eftersom att temperaturen i röken inte är så hög kommer inte heller strålningen från röken att vara så hög. Nära branden kan värmestrålningen från flammorna vara besvärande. Men eftersom avståndet till branden redan i början av utrymningen är förhållandevis långt kommer inte heller denna strålning att vara över kritisk nivå.



Figur 18. Temperatur för de fyra grupper som utrymmer genom utgång 1. Värden anger temperaturen för de aktuella platserna längs utrymningssträckan.

Det som gör att passagerarna blir medvetslösa under utrymningen är inandningen av CO och CO₂. Värdet för FID för dessa gaser når värdet 1,0 vilket innebär medvetslöshet. Då upphör utrymningen och passagerarna stannar i tunneln.

Det som passagerarna troligen främst lägger märke till är sikten i tunneln. För de passagerare som hinner komma ut i tunneln innan rökfronten passerat har god sikt. Därefter minskar sikten snabbt ner till under 1 m, figur 19.



Figur 19. Siktsträcka under utrymningen för passagerarnas aktuella positioner i tunneln. Gäller de som utrymmer från utgång 1.

Om siktsträckan är mindre än en meter är det mycket svårt att orientera sig vilket i sin tur leder till att passagerarna går långsamt. Nu ska det noteras att modellen att bestämma siktsträckan är ganska grov med tanke på rökens skiktning i ett tidigt skede. Men utgångarna från tåget är redan på ett förhållandevis långt avstånd från branden vilket betyder att röken bör vara relativt väl omblandad.

Den dåliga sikten innebär också att det är tveksamt om eventuella tvärförbindelser till ett parallellt tunnelrör kommer att upptäckas. Personer som kommer ut i tunneln lär försöka orientera sig utan hjälp av synen och kanske följa tunnelväggen med ena handen. Att i en sådan miljö, med beaktande av att röken irriterar ögon och andningsvägar, kunna hitta en dörr till en säker plats måste anses som ytterst svårt.

Några av de viktigare resultaten från grundscenariot sammanfattas i tabell 1.

Känslighetsanalys

Det grundscenario som beskrivs i föregående avsnitt är inte valt som speciellt representativt för de verkliga förhållandena. Det utgör istället en tänkbar beskrivning av förhållandena vid en utrymning. Därmed inte sagt att det är orimligt. För att undersöka variation i de antaganden som görs kan en känslighetsanalys genomföras. De variabler som kan vara mest intressanta att studera är:

- Tiden från brandstart tills passagerarna börjar lämna tåget, beslut- och reaktionstid, R .
- Vindhastigheten i tunneln.

- Passagerarnas långsammaste gånghastighet.

Dessutom undersöks kombinationer av dessa variablers förändring.

De resultat som kommer att undersökas är hur långt de olika grupperna hinner innan de blir medvetslösa samt om de då också hinner avlida, det vill säga om FLD-värdet når upp mot 1,0. Tabell 1 nedan redogör för de olika analyserna som genomförs.

I en utökad analys kan ytterligare några variablers inverkan på säkerheten studeras. Några som kan vara intressanta att vidare undersöka är

- Avstånd mellan brand och utgångar
- Tunnelns tvärsnittsarea
- Utrymning på en sida av tåget

I slutet av detta avsnitt görs en kvalitativ värdering av dessa variablers inverkan.

Tabell 1. Resultat av känslighetsanalysen. De resultatvärden som anges avser passagerare som utrymmer från utgång 1, 2 respektive 3. ∞ anger att alla från utgången hinner ta sig i säkerhet. Resultaten gäller förhållandena 2 timmar efter branden startat.

Förutsättningar	Avstånd från branden innan medvetlöshet, m.	Omkommer passagerare? FLD-gräns 0,9.	Antal medvetlösa vid 2 tim.	Antal som tar sig ut
Grundscenario	310, 380 ¹⁾ , 430 ³⁾	n, n, n	160	80
Grundscenario och R = 90 sekunder	330-430 ²⁾ , ∞, ∞	n, n, n	40	200
Grundscenario och R = 240 sekunder	310, 370, 420 ¹⁾	n, n, n	220	20
Grundscenario och R = 300 sekunder	310, 360, 420	n, n, n	240	0
Grundscenario och vindhastighet = 0,5 m/s	140 ¹⁾ , ∞, ∞	ja 3 grupper (60 personer), n, n	60	180
Grundscenario och vindhastighet = 2 m/s	∞, ∞, ∞	n, n, n	0	240
Grundscenario och minsta gånghastighet = 0,3 m/s	410, 480 ¹⁾ , 540 ³⁾	n, n, n	160	80
Grundscenario och minsta gånghastighet = 0,1 m/s	205, 260 ¹⁾ , 310 ³⁾	n, n, n	160	80
Grundscenario och vindhastighet = 0,5 m/s och minsta gånghastighet = 0,3 m/s	220 ¹⁾ , ∞, ∞	ja 3 grupper (60 personer), n, n	60	180
Grundscenario och R = 240 sekunder och vindhastighet = 2 m/s	∞, ∞, ∞	n, n, n	0	240

1) En grupp hinner förbi rökens utbredning

2) Två grupper hinner förbi rökens utbredning

3) Tre grupper hinner förbi rökens utbredning

Beslut- och reaktionstid

Passagerarnas beslut- och reaktionstid påverkar när de kommer ut i den rökfyllda tunneln. Kortare tider innebär att möjligheten finns att hinna ut i tunneln innan rökfronten passerar. I annat fall gäller som för föregående variabel att tiden påverkar hur långt i tunneln passagerarna hinner.

Skillnaden i detta avstånd ökar dessutom för kortare beslut- och reaktionstider eftersom branden är i en växande fas och miljön ändras ganska fort under det tidiga utrymningsförloppet.

Vindhastighet i tunneln

En viktig variabel är vindhastigheten i tunneln. Om den ökar förbättras möjligheterna att utrymma något. Den dos av giftiga gaser som passagerarna tar upp når inte de kritiska nivåerna och personerna kan därför fortsätta att utrymma. Röken blir alltså mer utspädd vid högre vindhastigheter. Dock går det långsamt eftersom sikten är dålig, kring 1 meter. Det bör dock

observeras att ökad vindhastighet högst troligt också medför att brandeffekten ökar. Det kan alltså vara svårt att med bestämdhet säga om situationen verkligen blir bättre med ökad vindhastighet. I det antagna brandscenariot är brandeffekten oberoende av vindhastigheten vilket leder till det redovisade resultatet. Vid låga vindhastigheter hinner de som kan ta sig ut i tunneln innan rökfronten passerat fortsätta ut i det fria. De som däremot tvingas ut i tunneln efter det att rökfronten passerat kommer i en värre situation eftersom röken är mer koncentrerad. Det är också vid dessa tillfällen som dödsfall kan förväntas.

Minsta gånghastighet

Passagerarnas minsta gånghastighet är inte så betydelsefull för utfallet. Variabeln bestämmer i princip bara var passagerarna befinner sig när medvetlöshet eller död inträffar. Sannolikheten att klara sig ökar inte nämnvärt eftersom förhållandena i övrigt är ogynnsamma.

Avstånd mellan brand och utgångar

Något som hittills inte studerats närmare är hur viktigt det inledande avståndet till branden är. I resultaten ovan antas att utrymningen påbörjas från de tre dörrarna som är placerade på 65 m, 115 m respektive 165 m från branden. Om den dörr som är närmast branden flyttas ytterligare närmare branden får det till följd att miljön inledningsvis försämras. För grundscenariot ändras i princip enbart avståndet från branden till platsen där medvetlöshet inträffar. Avståndet minskar med i ungefär samma stäcka som utgången flyttas närmare branden. Övriga resultat påverkas enbart marginellt.

Tunnelns tvärsnittsarea

Förändringar i tunnelns geometriska utformning förefaller vara en viktig faktor för utgången av en utrymning. I det aktuella fallet är tunnelns tvärsnittsarea 50 m^2 . Om arean minskar kommer koncentrationen av giftiga gaser att öka. Det leder i sin tur till att tiden till passagerarna i tunneln förlorar medvetandet minskar vilket innebär att de inte hinner så långt förrän de tvingas ge upp utrymningen. Om ingen annan förändring sker än att tunnelns tvärsnittsarea minskas till 25 m^2 ($5 \cdot 5 \text{ m}^2$) kommer de som utrymmer från utgången närmast branden att hinna ca 100 m innan de blir medvetlösa. Tiden innan dödliga förhållanden inträffar kommer då också att minska jämfört med i tunnlar med större tvärsnittsarea. I det aktuella fallet nås $FLD = 1,0$ redan efter ca 15 minuter från brandstart. Alltför långtgående slutsatser skall dock inte göras av denna överslagsberäkning eftersom brandförloppet troligen också påverkas av den minskade tvärsnittsarean. I och med att arean minskar påverkas återstrålningen från flammor och varm brandgas mot bränslet samtidigt som luftströmmarna kring branden ändras. Den generella slutsatsen att förloppet påskyndas av minskad tvärsnittsarea kvarstår dock.

Utrymning på en sida av tåget

I analysen har det hittills antagits att passagerarna kan utrymma på båda sidorna om tåget. Om endast en sida är tillgänglig kommer

utrymningsförloppet att bli mer utdraget. Det innebär att scenariot blir mer ogynnsamt eftersom fler passagerare kommer att exponeras.

4.6.2 Scenario 2

Detta scenario är lindrigare jämfört med det första. Därför görs enbart en mindre undersökning och en mer ytlig känslighetsanalys. Skillnaden gentemot scenario 1 är att brandutvecklingen är annorlunda. I detta scenario är det en vagn i främre delen av tåget som brinner vilket får till följd att brandeffektökningen är långsammare. Den högsta effekten, 15 MW nås efter 19 minuter och förblir sedan konstant på den nivån till 74 minuter efter brandstart för att sedan avta.

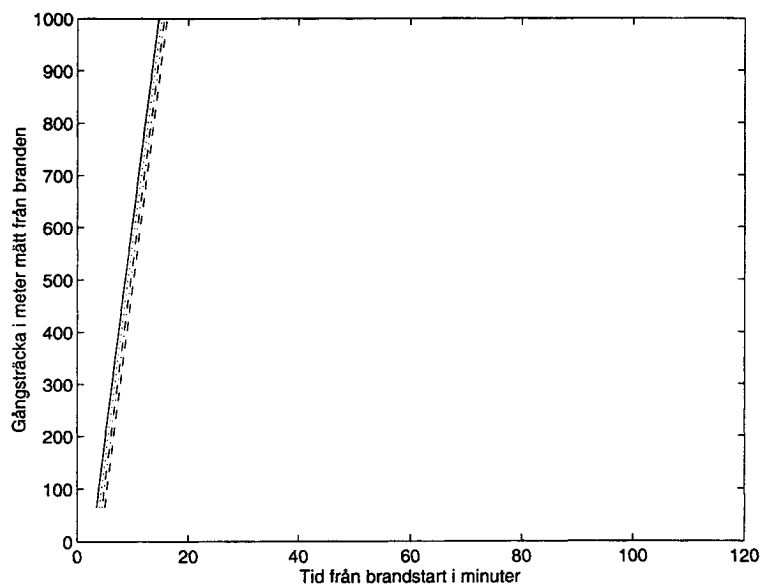
Grundscenario

Förutsättningarna för scenariot är

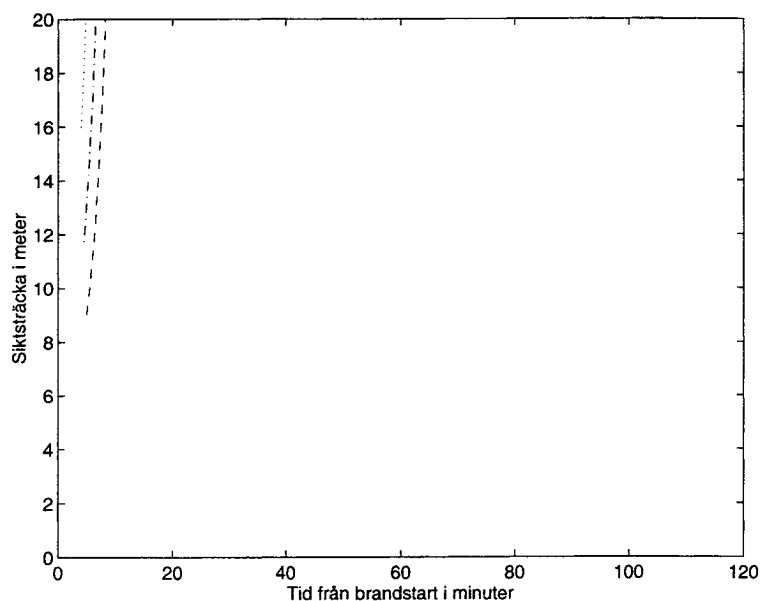
- brandscenario 2
- beslut- och reaktionstid 3 minuter
- vindhastighet 1 m/s
- minsta gånghastighet för passagerare 0,2 m/s
- tunnelns dimensioner 7 x 7 m².

Förutsättningarna för grundscenariot är alltså förutom brandförloppet identiska med förra scenariots grundscenario. De analyser som presenteras gäller endast för den första gruppen det vill säga de som utrymmer genom utgång 1. I känslighetsanalysen studeras även förhållandena för de passagerare som utrymmer längre bak i tåget (utgång 2 och 3).

Passagerarna som utrymmer från utgång 1 hinner sätta sig i säkerhet innan röken påverkar utrymningsförmågan i någon större utsträckning. Figur 20 visar gångsträckan som passagerarna hinner förflytta sig under förloppet. Figur 21 visar dessa passagerares siktsträcka under det förloppet. Som figuren visar är sikten god hela tiden vilket får till följd att gånghastigheten också är förhållandevis hög. Det är då motivet till att förloppet får en gynnsam utveckling.



Figur 20. Gångsträcka för passagerare som utrymmer från utgång 1.



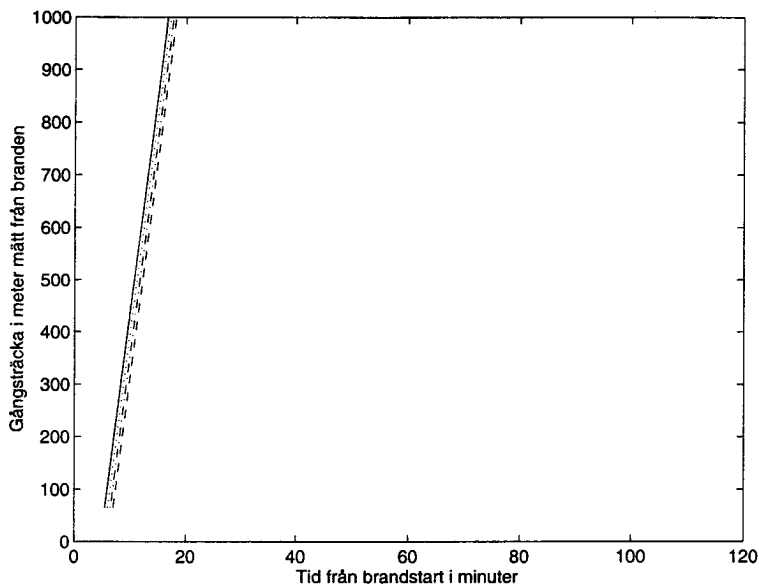
Figur 21. Siktsträcka under utrymningen för passagerarnas aktuella positioner i tunneln.

Beräkningarna visar också att den ackumulerade dosen av CO och CO₂ är väldigt låg (ca 0,05 efter 2 timmar). Personerna exponeras i princip inte alls av röken vilket beror på det utdragna brandförloppet.

Känslighetsanalys

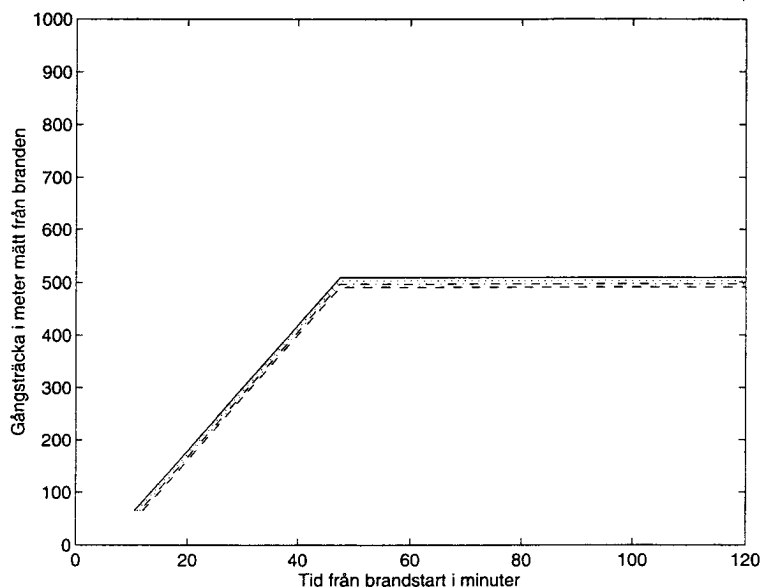
Eftersom scenariot är ganska lindrigt finns det en möjlighet att passagerarna inte uppfattar att de ska utrymma. Det finns i princip inget förutom en kraftig inbromsning som kan indikera att något är onormalt. Om tågpersonalen inte informerar passagerarna via högtalarsystemet eller gör det väldigt sent kan det försvåra utrymningen. Figur 22 visar hur långt passagerarna hinner för det fall då beslut- och reaktionstiden är 5 minuter. De passagerare som avses är den som utrymmer via utgång 1. Det innebär

också att passagerarna som utrymmer från utgångarna längre bort från branden också klarar sig.



Figur 23. Gångsträcka för passagerare som utrymmer från utgång 1. Beslut- och reaktionstiden är 5 minuter.

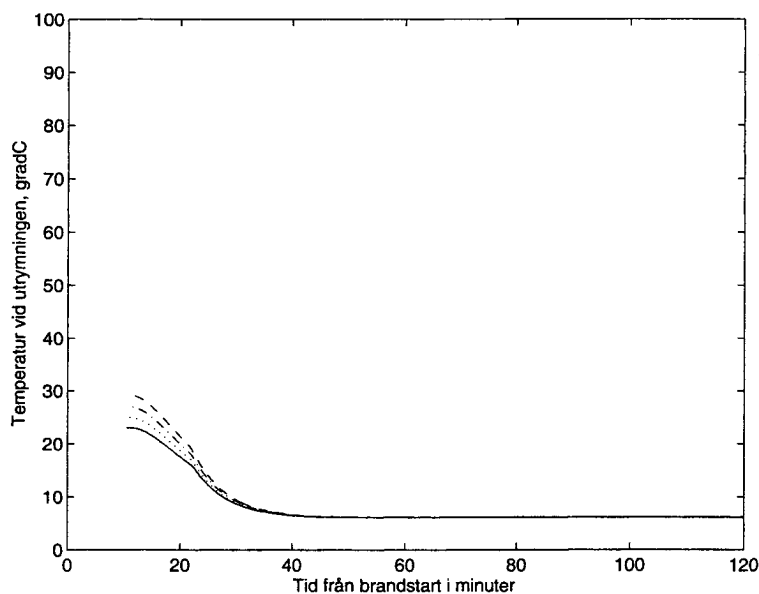
Om däremot beslut- och reaktionstiden ökar till 10 minuter är förhållandena avsevärt mycket sämre. Figur 23 visar hur långt passagerarna från utgång 1 hinner för 10 minuters beslut- och reaktionstid.



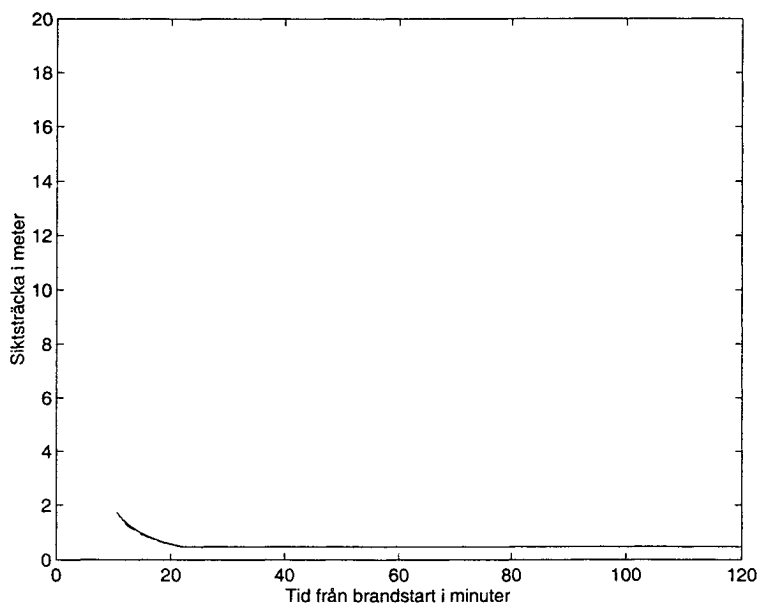
Figur 23. Gångsträcka för passagerare som utrymmer från utgång 1. Beslut- och reaktionstiden är 10 minuter.

Först i detta sista fall med 10 minuters beslut- och reaktionstid kommer passagerarna att få problem att utrymma. Figuren visar att passagerarna från utgång 1 kommer ca 500 m innan de blir medvetslösa. Det temperaturförlopp och siktförlopp dessa utsätts för redovisas i figurerna 17

och 18. Nu börjar situationen likna den som råder för scenario 1. Samtliga passagerare blir medvetslösa men med skillnaden att det sker långt senare i förloppet. Det är troligt att flertalet passagerare fortfarande är vid liv efter 2 timmar eftersom den ackumulerade dödliga dosen av CO och CO₂ då nått 0,8. Dödliga förhållanden förväntas ha inträffat när FLD når 1,0. Men även innan denna nivå kan några passagerare redan ha hunnit avlida. För passagerare som utrymmer längre bak i tåget (utgångarna 2 och 3) är situationen densamma men de når lite längre bort från branden innan de når medvetslöshet, 600 m respektive 625 m.



Figur 24. Temperatur för de fyra grupper som utrymmer genom utgång 1. Värden anger temperaturen för de aktuella platserna längs utrymningssträckan.



Figur 25. Siktsträcka under utrymningen för passagerarnas aktuella positioner i tunneln. Värden anger sikten för de aktuella platserna längs utrymningssträckan för passagerare som utrymmer från utgång 1.

4.6.3 Scenario 3

Brandförloppet i detta scenario är liknande det i scenario 2 förutom att branden fortsätter att växa och når 35 MW efter 28 minuter. Därefter är branden konstant till 36 minuter för att sedan avta. Det leder till att förhållandena inledningsvis blir identiska med dem som råder i scenario 2.

Grundscenario

Förutsättningarna för scenariot är

- brandscenario 3
- beslut- och reaktionstid 3 minuter
- vindhastighet 1 m/s
- minsta gånghastighet för passagerare 0,2 m/s
- tunnelns dimensioner 7 x 7 m².

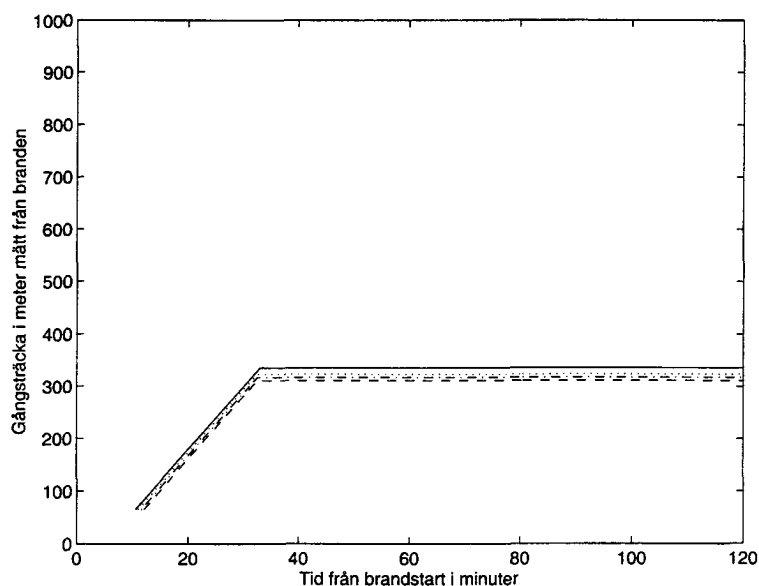
Förutsättningarna i grundscenariot är inledningsvis lika de som råder för scenario 2 vilket gör att resultatet blir identiskt. Eftersom beslut- och reaktionstiden är så kort som 3 minuter hinner alla sätta sig i säkerhet innan branden utgör någon fara. Det gäller fastän brandeffekten fortsätter att öka till 35 MW.

Känslighetsanalys

Eftersom också detta scenario är ganska lindrigt vad avser brandtillväxten kan det medföra att passagerarna inte uppfattar faran så snabbt som grundscenariot gör gällande. Det kan alltså vara motiverat att studera förhållandena i tunneln när beslut- och reaktionstiden ökar. Därför görs en analys med en beslut- och reaktionstid på 10 minuter motsvarande den som redovisades för scenario 2. I övrigt är förutsättningarna som för grundscenariot.

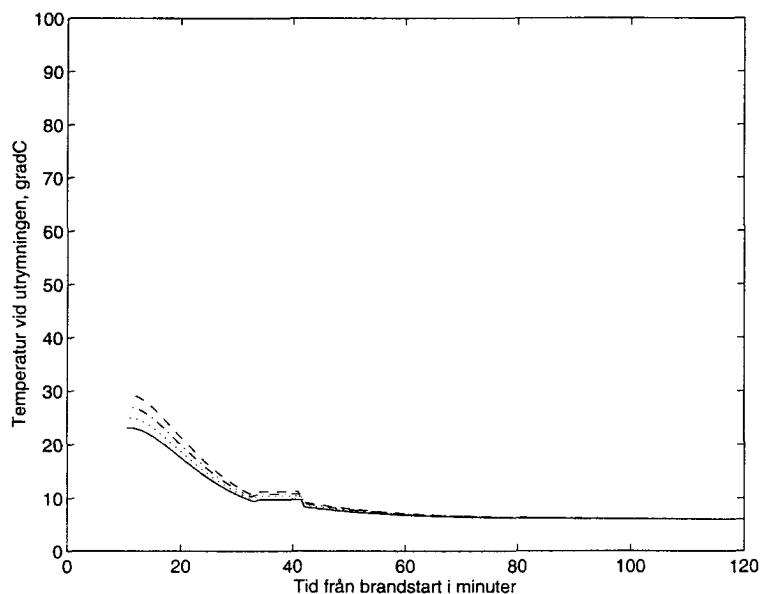
När beslut- och reaktionstiden ökar svårigheterna att utrymma tunneln.

Figur 19 visar hur långt passagerarna som utrymmer från utgången närmast branden hinner innan de blir medvetslösa.

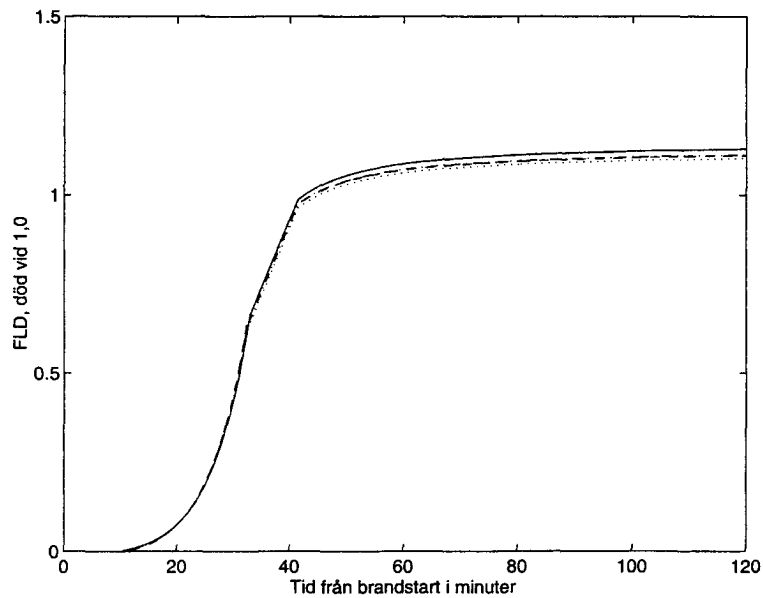


Figur 26. Gångsträcka för passagerare som utrymmer från utgång 1. Beslut- och reaktionstiden är 10 minuter.

Enligt figuren kommer passagerarna inte mer än cirka 350 meter från brandkällan. Temperaturen under utrymningen är inte heller i detta fall speciellt hög, figur 20. Vad som är mer allvarligt är att passagerarna med stor sannolikhet också omkommer strax efter de blivit medvetslösa, figur 28. Detta sker endast cirka 10 minuter efter passagerarna blivit medvetslösa.

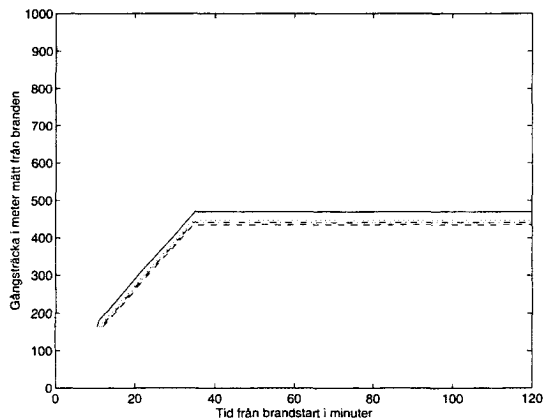
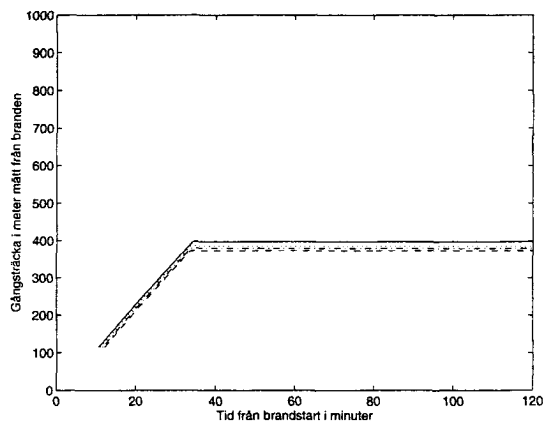


Figur 27. Temperatur för de fyra grupper som utrymmer genom utgång 1. Värden anger temperaturen för de aktuella platserna längs utrymningssträckan.

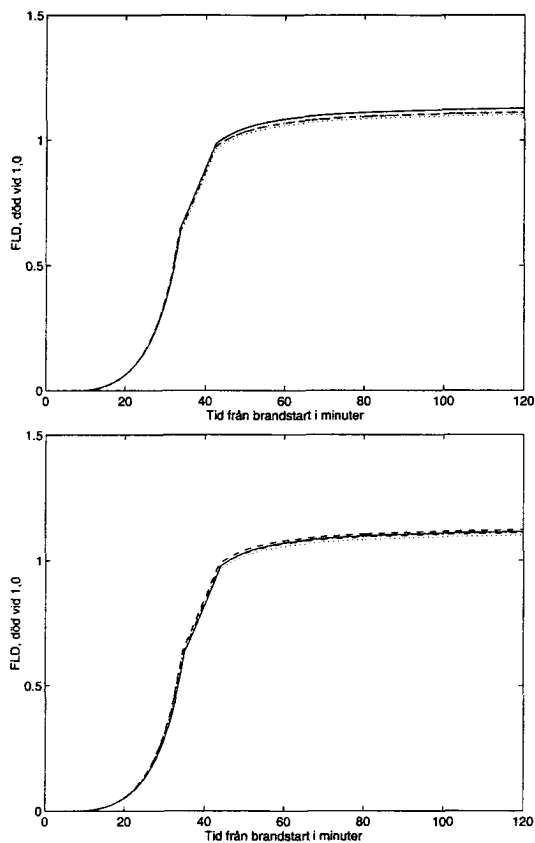


Figur 28. Ackumulerad dos av CO och CO₂ i relation till dödlig dos (FLD) för passagerare från utgång 1.

Förhållandena för de passagerare som utrymmer genom utgångarna längre från branden (utgång 2 och 3) kommer också att utsättas för dödliga förhållanden. Gångsträckorna för dessa passagerare redovisas i figurerna 22 och 23. Den dödliga dosen till följd av inandning av CO och CO₂ redovisas i figurerna 24 och 25.



Figur 29 och 30. Gångsträcka för passagerare som använder utgång 2 respektive 3. Beslut- och reaktionstid är 10 minuter.



Figur 31 och 32. Ackumulerad dos av CO och CO₂ i relation till dödlig dos (FLD) för passagerare från utgång 2 och 3.

Resultatet visar att om scenariot inträffar kommer det att resultera i att samtliga passagerare på tåget omkommer inom en timma efter branden brutit ut. Eftersom förhållandena skiftar så drastiskt mellan grundscenariot och det fall då utrymningen fördröjs med 10 minuter är det av stor vikt för tågpersonal att inleda en utrymning snarast efter att en brand konstaterats. Sikten för dessa senare grupper av passagerare är inledningsvis ca 2 meter när de kommer ut i från tåget för att sedan sjunka ner mot 0,5 meter efter ca en halvtimme.

4.7 Resonemang kring avstånd mellan utrymningsvägar

Tunnlar som utförs som två parallella rör utförs ofta med tvärförbindelser mellan rören. Dessa tvärförbindelser skall i gynnsamma fall kunna användas som utrymningsvägar vid brand. Tanken är att passagerare skall kunna ta sig till en bättre miljö utan att behöva förflytta sig hela vägen till tunnelns mynning. Tidigare beskrevs att detta troligen endast är möjligt om riktätheten inte är besvärande det vill säga att brandförloppen är tämligen lindriga men ändå sådana att en utrymning blir nödvändig.

En intressant fråga är då på vilket avstånd skall dessa utrymningsvägar vara från varandra sett utifrån ett utrymningsperspektiv. Om det kritiska avståndet beräknas till 300 m enligt någon vedertagen modell kan det hävdas att då kan utrymningsvägarna placeras med 600 m intervall. Längsta gångsträcka blir då maximalt 300 m till närmaste utgång. Men det resonemanget bortser helt från brandens inverkan och från personers troliga beteenden.

Det konstaterades tidigare att passagerare som utrymmer troligen väljer att gå från en brand då den utgör ett hot som föranleder att utrymningen blir nödvändig. Skulle det falla sig så att en utrymningsväg är placerad nära branden kommer den vägen ut att väljas bort av passagerarna. Då återstår nästa utrymningsväg 600 m bort. Men eftersom det kritiska gångavståndet bara var 300 m kommer passagerarna inte att nå utrymningsvägen. I detta fall är sannolikheten ganska stor, närmare 50 %, att passagerarna inte klarar av att utrymma eftersom tåget stannat alltför långt från en säker utgång.

Resonemanget är naturligtvis starkt förenklat men visar på behovet att ta hänsyn till hur människan resonerar under en utrymning.

5. Räddningsinsatsens genomförande

5.1 Inledning

Räddningsinsatsen vid en brand i en spårtunnel styrs till stor del av hur mycket människor som är i fara för konsekvenserna av branden, av vad det är som brinner och hur omfattande branden är. Informationen som kan ge upplysningar om detta är vid inledningen på räddningsinsatsen många gånger okända. Rapportens tre brandscenarier, se kapitel 2, är alla tre omfattande både gällande storlek på brand och gällande antalet människor som är utsatta. För räddningstjänstens insats kommer dock inte valet av scenario att nämnvärt påverka räddningsinsatsen, i varje fall inte under uppbyggnaden och under den första tiden. Av denna anledning behandlas alla tre scenarierna lika i detta kapitel.

5.2 En olycka har inträffat och en räddningsinsats pågår

Räddningsstyrkorna har under framkörningen och vid framkomsten till olycksplatsen försökt skaffa sig en klarare bild över vad det är för en typ av olycka som har inträffat. Räddningsledaren försöker få klarhet i en rad frågor som han har.

I samtliga tre scenarier väljer Räddningsledaren en initial angreppsväg för insatsen ifrån den södra tunnelöppningen. Valet beror till största del på den rådande vindriktningen som är ifrån söder mot norr. Undersökningen i appendix D visar att detta är ett beslut som erfarna räddningsledare skulle ha fattat, det skall dock påpekas att undersökningen i appendix D gav mer information än vad en räddningsledare normalt sätt har i en motsvarande situation. Vid inträffade bränder kommer många gånger larmen till räddningstjänsten ifrån personer som har observerat rökutvecklingen. Detta får till följd att räddningstjänsten dessa gånger larmas till platsen för rökutvecklingen. Denna plats behöver inte alla gånger vara den mest lämpliga plats för att genomföra en räddningsinsats ifrån, då man vid en tunnelbrand är kraftigt begränsad i gällande räckvidden på ett angrepp som genomförs i rökfyllda utrymmen. Vid bränder i tunnlar kan det vara effektivare att söka andra angreppsvägar via andra tunnelöppningar. Detta för att minska arbetet i rökfyllda utrymmen.

Ett generellt problem vid alla räddningsinsatser är att upplägget av insatsen måste basera sig på den information som räddningstjänsten har vid tidpunkten för sin bedömning och sina beslut. Vad som gör det hela mycket komplicerat vid insatser vid bränder i tunnlar är att det är mycket svårt att få en överblick över olycksplatsen och som följd av detta blir informationsunderlaget för bedömningen av olyckan och för besluten av inriktningen på insatsen mycket begränsat.

Den information som räddningstjänsten måste kunna få presenterat för sig är följande:

- Hur lång är tunneln?
- Var i tunneln befinner sig tåget?
- Var på tåget eller var i tunneln brinner det?
- Var i tågsetet befinner sig människorna?
- Finns det människor i tunneln och i såfall var någonstans?
- Finns några andra tågset i tunneln?
- Hur mycket brinner det och hur utvecklar sig branden?
- Vilken flödesriktning är det på luften i tunneln?
- Hur stor är lutningen i tunnel?
- Vilka angreppsvägar finns det in i tunneln?

För att skaffa mer information skickar Räddningsledaren in rökdykargrupper in i tunneln för att orientera, samtidigt som han skickar styrkor till norra tunnelöppningen, båda med uppgift att samla information om läget. Kontaktvägar etableras med bland annat bandrift- och tågtrafikledningen för att skaffa information ifrån dessa.

Räddningsledaren får efterhand information ifrån tågtrafikledningen om att det finns cirka 240 passagerare på tåget. Rökdykargruppen rapporterar att de möter rök cirka 150 meter in i tunneln och avstannar där i brist på uppbackning. Styrkan ifrån den norra tunnelöppningen rapporterar att det kommer mycket rök ut ur denna tunnelöppning.

Räddningstjänsten möjligheter att kunna hjälpa till vid en utrymning är att använda sig av kombinationer av följande arbetsmetoder:

- en rökdykarinsats in i tunneln för att släcka branden och på så sätt undanröja hotet mot de utrymmande
- en rökdykarinsats in i tunneln för att underlätta för de utrymmande att komma ut ur tunneln
- en släckningsinsats/ventilation av branden från utsidan av tunneln för att underlätta utrymningen
- ett aktivt arbete med omhändertagande av utrymmande på utsidan av tunneln.

5.3 Rökdykaroperationer i komplicerade miljöer

Förflyttningen av rökdykargrupper inne i ett rökfyllt utrymme kan innebära stora svårigheter.

De faktorer som troligen kommer att skapa problemen vid denna förflyttning är för det första bristen på seende och begränsningen i tiden som den kan vistas inne i röken, sedan är det branden och konsekvenserna av denna med den eventuella värmestrålningen från brandgaserna och branden, avsökning av området för att leta efter folk, belastningen av utrustningen som skall flyttas med in i tunneln och förflyttningen av brandslang.

Vid en rad undersökningar, Danielsson, Leray (2000), Lennmalm (1998) och appendix C, som har genomförts, har det visat sig att detta arbete innebär stora påfrestningar på människan och arbetet kommer att ha stora begränsningar. Studierna har visat att aktionstiden och räckvidden på rökdykarinsatsen vid vissa tillfällen begränsas av hög värme, även om det är ovanligt vid insatser i tunnlar. Detta påvisas i de temperaturberäkningar som genomförts i denna rapport, se kapitel 3 och appendix A.

Aktionstiden begränsas däremot ständigt av fysisk utmattning hos rökdykarna med förhöjd kroppstemperatur och belastningen av slangdragning, bristen på sikt på grund brandröken och begränsningen av luftförrådet som normalt bärs med i tryckflaskor. Luftförrådet som brandpersonalen bär med sig räcker normalt för cirka 30 minuters arbete.

Hittar insatspersonalen väl drabbade människor under detta arbetet, kommer det innebära enormt stor påfrestning att förflytta dessa ut ur tunneln. Tester, Danielsson (2000) visar att två brandmän klarar att i rökfri miljö förflytta en människa med bår 300 meter ut ur en tunnel innan dessa brandmän i princip inte kunde genomföra ytterligare insatser.

Det finns lite tillgänglig information på förflyttningshastigheten för en rökdykargrupp i en tunnel. Vid tester som genomfördes i industrilokaler, vilket skulle grovt kunna jämföras med andra rökdykaroperationer med långa inträngningsvägar såsom tunnlar, Lennmalm (1998), var förflyttningshastigheten på ett rökdykarangrepp i medeltal 6 meter/minut.

Vid tester som genomförts vid Malmö Brandkår har man, enligt samtal med Swen Krook på Malmö Brandkår, kommit fram till att en maximal insatssträcka för rökdykare med slang är 125 meter, sedan blir det för tungt att dra slangen. Vid längre insatssträckor är förutsättningarna att det finns ett brandpostnät i tunneln, med då kan man ifrågasätta om man gör för stora avsteg ifrån säkerheten för brandpersonalen.

Rökdykarreglementet vid Stockholms brandförsvaret ger endast utrymme för att tränga in med rökdykare till en maximal sträcka av 75 meter.

Vid tester genomförda på Stockholms brandförsvär har förflyttningshastigheten, tabell 2, undersökts under olika förhållanden, se appendix C.

Tabell 2 Sammanställning av försök gjorda med förflyttning av rökdykargrupper

Genomförd Test	Förutsättning	Förflyttningshastighet
Övning 1	Rök, ej vattenfylld slang	4,3 meter/ min
Övning 2	Utan rök, med slangdragning	18 meter/ min
Övning 3	Utan rök, ej slangdragning	80 meter/ min
Industrilokal		6 meter/min

Sammanställs dessa olika tester och med förutsättningen att alla använde sig av luftförråd på 2400 liter kommer maximala förflyttningssträckan enkel väg in i tunneln, vid rökdykaroperationer, bli en tabellen nedan. Beräkningen förutsätter en luftförbrukning för rökdykarna på cirka 62 liter per minut och att de inte använder reservluften för planerad insats.

Tabell 3 Maximal förflyttningssträcka, baserad på luftförbrukning vid genomförda tester

	Övning 1	Övning 2	Övning 3	Industrilokal
Maximal sträcka (Enkel väg)	58 meter	243 meter	1080 meter	80 meter

Kunskapen i svensk räddningstjänst om denna typ av insatser verkar vara väldigt begränsad vilket undersökningen i appendix D påvisar. Differensen mellan olika räddningstjänster uppfattning om slagkraft och begränsningar pekar på att kunskapen och erfarenheten är mycket begränsad. Undersökningen påvisar stora skillnader i uppfattningen om hur en avancerad rökdykaroperation genomförs och det skiljer sig mycket i uppfattningen om hur långa avstånd en operation kan genomföra och hur lång tid dessa tar att genomföra.

Använder man sig av resultaten i tabell 3 och beräkningarna i kapitel 4.6 över var de utrymmande människorna befinner sig, visar det att rökdykarinsatser ifrån den norra tunnelöppningen kommer att få mycket svårt att nå de utrymmande människorna som befinner sig i tunneln.

5.4 Släckning av omfattande bränder i tunnlår

Kunskapen och erfarenheten av att släcka omfattande bränder i tunnlår är begränsad. Vid en utbruten brand i en vagn eller ett lok kommer brandsläckningsoperationen att bli mycket svår att genomföra då både värmestrålningen, brandgaserna och det fysiska hindret som karossen utgör, försvårar för släckmedlet att nå brandhården.

De konventionella släcksystemen som räddningstjänsten använder sig av, vilket innebär olika typer av vattenbaserade släcksystem, bygger på att släckmedlet når brandhården för att något släckresultat skall erhållas. Detta skapar problem då rökdykarnas möjligheter att närma sig det brinnande loket eller vagnen kraftigt begränsas av värmestrålningen.

Beräkningarna i kapitel 3 tar inte hänsyn till att det kan ske en brandspridning till ytterligare vagnar i tågsetet. Skulle detta ske kommer en brandsläckningsoperation att ytterligare försvåras.

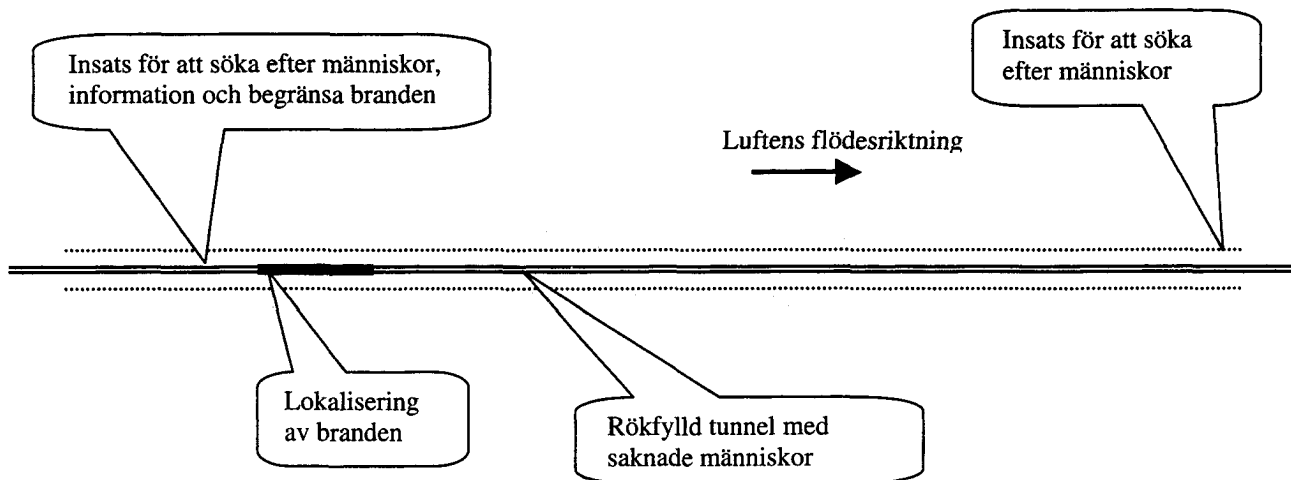
5.5 Räddningsinsatsen fortskrider

Räddningstjänstens upplägg på räddningsinsatsen har inte skiljt sig mellan de tre olika scenarierna fram till denna stund. Detta beroende på att branden i samtliga tre fallen är så omfattande, att det utanför tunneln ej märks någon skillnad på de tre olika bränderna.

Rökdykargrupperna har ifrån södra sidan av tunneln under tiden kunnat avancera sig fram mot tågsetet och har på denna sida inte funnit några människor, se figur 33.

I scenario ett observerar rökdykargrupperna att branden är i loket och rapporterar om en kraftig värmestrålningen som försvårar avancemanget mot tågsetet och försvårar ett eventuellt släckförsök.

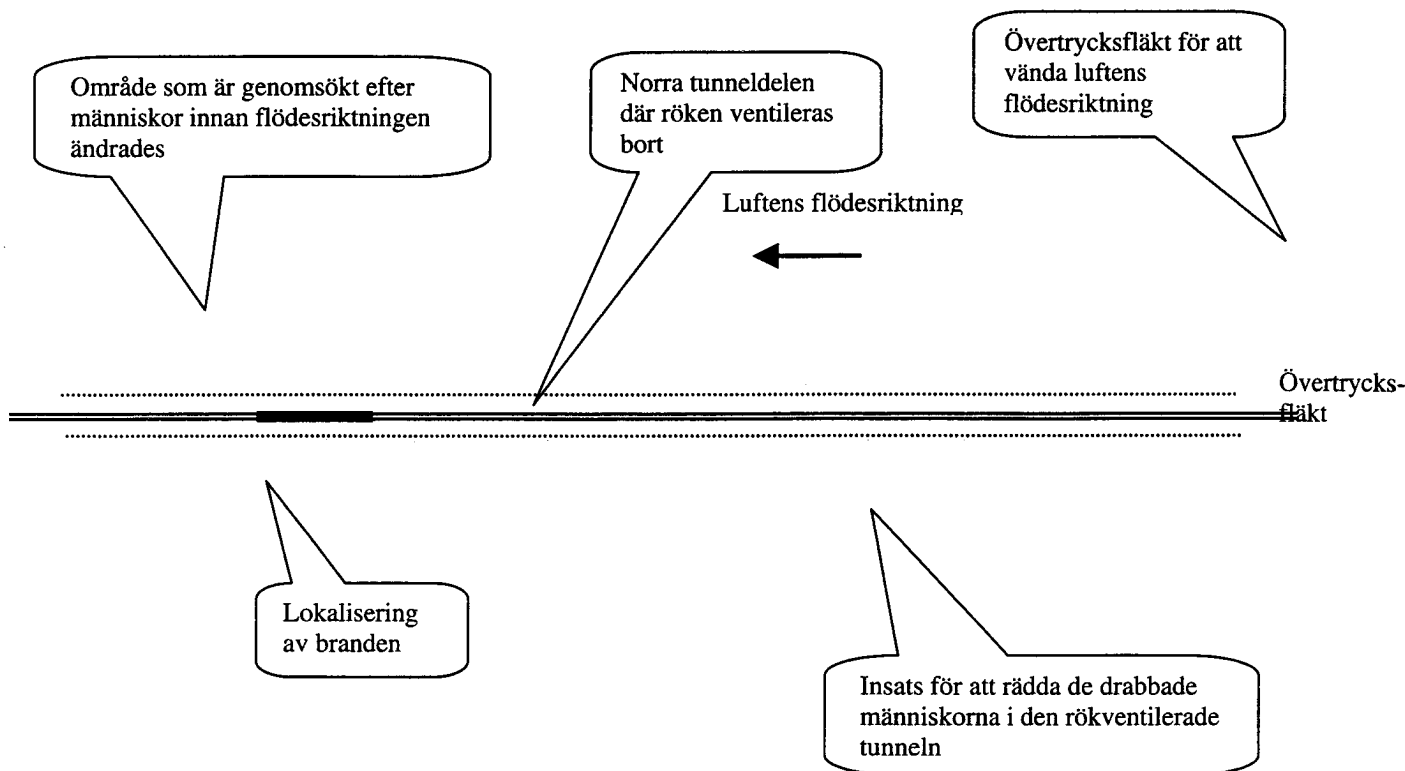
I scenario två och scenario tre kan rökdykargrupperna avancera fram emot loket och tolkar som att branden befinner sig i någon vagn bakom loket. Vid området kring loket och bakåt är tåget är hela tunneltvärsnittet fyllt med brandrök och sikten är obefintlig på grund av röken. Då man avancerar fram vid loket är värmestrålningen hög vilket försvårar arbetet och stoppar ett vidare avancemang.



Figur 33 Överblick över olycksplatsen i den rökfyllda tunneln

Räddningsledaren har under tiden insett att det är mycket komplicerat och troligen effektlöst att genomföra en genomsökning efter överlevande utrymmande människor av det rökfyllda området mellan tåget i tunneln och den norra tunnelmynningen. Den taktiska grundinriktningen för räddningsinsatsen har fram till detta skede varit att livrädda människorna genom att assistera vid en utrymning och försöka lindra den skadliga miljön i tunneln genom att släcka branden.

När räddningsledaren har kunnat bedöma de uppgifter han fått in ifrån insatsstyrkorna inne i tunneln bestämmer han sig för en ny arbetsmetod för att rädda de människor som befinner sig i området mellan branden och den norra tunnelöppningen. Bedömningen är den att det inte finns några levande människor mellan branden ombord på tåget och den södra tunnelöppningen och att de människor som är levande, befinner mellan branden ombord på tåget och den norra tunnelöppningen. Räddningsledaren bedömer också att det med hjälp av rökdykarinsatser inte går att hjälpa dessa människor ut ur tunneln eller att rökdykargrupperna effektivt kommer att kunna bekämpa branden. Baserat på denna bedömning bestämmer sig räddningsledaren för att ändra på flödesriktningen på luften inne i tunnel i syfte att få bort den farliga miljön i den norra tunneldelen där de utrymmande människorna troligen befinner sig. Istället rökfylls den södra tunneldelen, men då denna redan är avsökt efter utrymmande människor kommer detta vara att föredra. Ändringen av flödesriktningen skall göras med hjälp av övertrycksfläktar och skall samordnas med att den södra tunneldelen utrymmer på räddningspersonal. Då den norra tunneldelen blir rökfri skall det skickas in räddningspersonal för att rädda och omhänderta de utrymmande människorna i denna del, se figur 34. Dessa människor kommer troligen att vara i behov av vård, men den direkt hotande miljön för flertalet, kommer i och med denna åtgärd att begränsas.



Figur 34 Resultatet av en övertrycksventilation av den rökfyllda tunneln

För att kunna hantera ventilationen som en metod för dessa insatser, måste en rad frågeställningar beaktas för att en eventuell ventilation inte skall förvärra förhållandena för de utrymmande. Dessa frågeställningar är för det första hur branden påverkas av den ökade ventilationen i tunneln, för det andra var människorna befinner sig i tunnel och för det tredje hur en ventilationsoperation praktiskt skall genomföras. För att få reda på detta måste man ha mer kunskap om brandens lokalisering, storlek och spridningsmöjligheter. Den andra frågeställningen är också avgörande och det är var människorna befinner sig i tunneln.

Samtidigt som operationen mot själva tunneln och branden pågår bygger man upp en skadeplatsorganisation för att kunna omhänderta de skadade människor som man förväntar sig komma ut ur tunneln. I denna ingår sjukvård och ett omhändertagande av de drabbade människorna. Denna rapport kommer inte att behandla denna del av insatsen, då hela den delen av räddningsinsatsen finns väl beskriven i övrig litteratur.

6. Diskussion

Under arbetets gång har många olika uppslag och idéer framställts. Det har också visat sig hur stor bristen på information och kunskap är om hur räddningstjänsten skall hantera problemen med bränder i publika spårtunnlar. För att på ett effektivt sätt kunna angripa olika lösningar på de problemställningarna som presenterades under rapportens första kapitel så kommer diskussionen att struktureras efter dessa problempunkter. Under dessa punkter kommer också olika förslag på lösningar av problemen att diskuteras. Diskussionen baseras på de tre typscenarierna, beräkningsresultaten avseende brandgasspridning, utrymning vid brand och genomförandet av en räddningsinsats.

6.1 Det är svårt att få överblick olycksscenarioet, då olycksplatsen är mycket svåröverskådlig, Detta medför att det råder en stor brist på information om vad som sker på olycksplatsen.

Informationspresentationen måste ha den utformningen att den skall gå att kunna hantera utav räddningstjänstens beslutsfattare i en stressig olyckssituation på en olycksplats.

Den svåröverblickbara olycksplatsen kommer att skapa stora samordningsproblem för den operativa ledningen av räddningsinsatsen. Det relativt stora geografiska området och avstånden som normalt är aktuella vid dessa insatser kommer att kraftigt försvåra samordningen av insatsen, då räddningstjänsten kan behöva genomföra sina angrepp mot olyckan ifrån flera olika platser längs med tunneln. Branden i Mont Blanc tunneln, Ministry of the interior (1999), visade hur viktigt det är med en riktig samordning av räddningsinsatsen. Vid denna insats fungerade inte samordningen av insatserna utförda av den franska räddningstjänsten och den italienska räddningstjänsten. Samordning fungerade inte heller mellan de olika räddningstjänsterna och tunneloperatören eller samordningen mellan tunneloperatören på den franska sidan och tunneloperatören på den italienska sidan av tunneln. För att en insats av denna omfattning skall fungera är det av stor vikt att insatsen är väl planerad och genomtänkt. För att detta skall fungera så måste det ha genomförts en noggrann olycks- och insatsplanering för de olycksscenarioer som kan vara aktuella. Tunneloperatörerna och räddningstjänsterna i Norden har generellt en dålig planering inför olyckor och räddningsinsatser i tunnlar, Bergqvist (1999).

6.1.1 Förslag på möjligheter att hantera problemen

Tunneln måste utrustas med olika former av övervakningsutrustning. Informationen ifrån denna utrustning måste presenteras så att den kan användas för att få svar på ovanstående frågeställningar.

Övervakningsutrustning kan vara i form av detektorer för exempelvis CO, CO₂, och O₂, vilka används i Eurotunneln, det kan vara i form av luftflödesmätare (vindmätare), TV-övervakning, varmgångsdetektorer, kombinationer av temperatur och rökdetektorer och indikatorer för positionering av tåget. Tågets lok och vagnar bör utrustas med detektorer för en snabb larmning av tågets personal och för att räddningstjänsten skall kunna bedöma storlek och utbredning av branden.

Räddningsinsatsen måste vara väl planerad för att kunna fungera då en olycka inträffar. Denna planering måste omfatta både uppgifter och information om objektet, de tekniska systemen och förslag till upplägg av räddningsinsatsen.

6.2 Hantera en omfattande utrymnings/ livräddningssituation med mycket människor inblandade.

Den absolut viktigaste åtgärden för att människor vid brand skall kunna komma ut ur tunneln är avstånden till säker miljö, vill säga där de giftiga brandgaserna och höga temperaturer inte kan påverka de utrymmande. Detta avståndet kan inte vara speciellt långt om människor skall hinna att ta sig dit oskadade, se kapitel 4.6.

Vid en utrymningssituation av ett tåg i en tunnel, tyder mycket på att den mänskliga reaktionen kommer att styra människan till att ta sig ifrån brandplatsen utan att i detta skede ta hänsyn till rökspridningen. Innebörden blir att de utrymmande människor kommer att gå ifrån brandplatsen oberoende av vindriktningen. Följden blir i de valda scenarierna att människorna kommer att utrymma i vindriktningen och ha lång sträcka innan de når säkerheten utanför tunneln, se kapitel 4.3.3.

Finns det utrymningsvägar inne i tunneln är det av stor vikt att dessa är utformade på det sättet att människor kommer att använda sig av dem för utrymning. Stor vikt måste läggas på att människor hittar dem i den situation som uppstår då en utrymningsväg behövs användas.

Enkätundersökningen, appendix D, har visat att vid en räddningsinsats kommer en av de första åtgärderna vara att försöka att genomföra en orientering in i tunneln. Syftet med denna är att skapa sig en bättre uppfattning om vad som sker och eventuellt genomföra ett släckförsök mot branden. Vi förenklade med att genomföra den första insats med vinden i ryggen, vilket innebär att i de valda scenarierna att insatsen genomförs på den sida av tåget där människor inte befinner sig. Vi vet dock inte om detta kommer att ske i verkligheten. Vissa intryck pekar på att räddningstjänsten i

verkligheten genomför en första insats ifrån tunnelöppningen det ryker ifrån. Innebörden av att en första insats genomför ifrån den södra sidan av tunneln är att de utrymmande människorna befinner sig på ena sidan av det brinnande tåget, i röken, medan räddningstjänstens personal befinner sig på andra sidan tåget. Skulle inte släckförsöket få någon effekt på branden, kommer räddningsinsatsen inte att kunna göra något åt utrymningen med denna arbetsinriktning.

Som presenteras i scenarioberäkningarna under utrymningskapitlet kommer människor att i vissa fall kunna överleva under en relativt lång tid i denna brandrök även om de på grund av bland annat medvetlöshet inte kan ta sig ut. Detta faktum visade sig vid olyckan och branden i den norska Seljestadstunneln, Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern (2000) där två kvinnor och två barn satt inne i en rökfylld vägtunneln i över en timme innan brandförsvarets rökdykare lyckades undsätta dem och rädda dem till livet.

Resultatet av utrymningen, tillsammans med vetskap om möjligheterna för att överleva länge i en rökfylld tunnel, ställer höga krav på räddningsledarens åtgärder. Sannolikhet kommer människor som befinner sig inne i röken mellan det brinnande tåget och norra tunnelöppningen att vara vid liv under en längre tid. Det är av stor vikt att branden bekämpas så omgående som möjligt, då det finns stor risk för att tiden för överlevnad för människorna inne i tunneln förkortas om branden sprider sig till ytterligare vagnar i tåget.

Vid de valda scenarierna kommer maximalt 240 personer att utrymma ifrån tåget. En stor del av dessa kommer att gå mot den norra tunnelöppningen och därmed befinna sig i en rökfylld tunnel. En räddningsinsats med inriktning på att understödja utrymningen genom att skicka in rökdykargrupper i en rökfylld tunnel kommer troligen inte att vara effektiv.

Svensk räddningstjänst är inte dimensionerad för att kunna hantera denna typ av räddningsinsats. Att genomföra en utrymning med rökpåverkade och medvetlösa personer kommer att fordra stora resurser. Det kommer att behövas ges ren luft för att minska förgiftningen och sedan transportera människorna ut ur tunneln.

Det är alltså svårt att med räddningstjänstens insatser rädda människorna ur tunneln, utan det är självräddning som är den naturliga strategin för personsäkerhet. I långa tunnlar kan det då övervägas om utrymningsvägar i tunneln, till ett intilliggande tunnelrör eller till det fria, skall installeras. På det viset finns det då tillgång till utrymningsvägar inom ett kortare avstånd jämfört med att utrymma till tunnelmynningen. En fråga som då blir aktuell är om dessa utrymningsvägar gör någon nytta. Om man studerar de beräkningsresultat på siktsträcka som redovisas i avsnitt 4 så är den för många scenarier väldigt kort, bara några meter. Det kan därför vara svårt att ens upptäcka en utrymningsväg om personen och utrymningsvägen inte befinner sig på samma sida om spåret i tunneln. Utformningen och sättet som utrymningsvägen kan göras uppmärksam på är därför väldigt viktig. Nu är de scenarier som ingår i analysen förhållandevis allvarliga och kanske

inte de mest sannolika, men det kan knappast vara tillräckligt att använda samma teknik i tunnlar som i byggnader.

En släckningsinsats och ventilation av branden från utsidan av tunneln för att underlätta utrymningen, kan vara en arbetsmetod som skulle kunna ha möjlighet att rädda många människoliv. Metoden kräver dock mycket information om branden och människornas lokalisering, se vidare nedan, för att kunna genomföras på ett säkert sätt. Åt vilket håll ventilationen av brandgaser skall ske är ett mycket viktigt och avgörande beslut där det idag finns små möjligheter att fatta detta beslut på analytiska grunder. Saknas information kan risken annars bli att ventilationen förvärrar miljön för de drabbade människorna i tunneln, Detta visade sig vid branden i Kaprun, Bergqvist (2001), där den termiska ventilationen i den lutande tunnel skapade ett mycket kraftigt luftflöde, vilket skapade svåra förhållanden för de utrymmande.

Det sista alternativet som räddningstjänsten har för att kunna hjälpa de utrymmande är att ha en effektiv skadeplatsorganisation för omhändertagandet av många skadade. Denna arbetsmetod måste användas som komplement till alla av de tre övriga metoderna eller kanske vara den enda arbetsmetod som genomförs för att rädda liv. Vid de senaste årens stora och uppmärksammade bränder, Mont Blanc, Tauern och Kaprun har räddningsinsatsen ej kunnat rädda många människoliv ifrån tunneln, utan de har till största begränsats till att ta om hand de människor som av egen kraft kunnat ta sig ut ur tunneln.

Summerar man dessa olika punkter torde det luta åt att räddningstjänsten vid omfattande bränder, borde koncentrera sig på att underlätta utrymningen med hjälp av ventilation för att få bort röken ifrån de utrymmande.

6.2.1 Förslag på möjligheter att hantera problemen

För att minska tiden för utrymningen måste tågets personal vara utbildade och övade för att hantera människor i olyckssituationer. De bör också ha tillgång till tekniska hjälpmedel för att på ett effektivt kunna styra .

Räddningstjänsten bör arbeta fram metoder för att rökdykarna bättre skall kunna assistera människor som ej är avsvimmade ut ur röken.

Räddningstjänsten måste arbeta fram bättre metoder för att underlätta utrymningen genom att styra undan röken ifrån de utrymmande människorna och bättre metoder för att kunna släcka branden och på så sätt kunna undanröja hotet. Ventilation och släckning kommer att diskuteras mer nedan i rapporten. Arbetet med att underlätta utrymningen kräver, som sagt tidigare, ett gediget beslutsunderlag som måste vara tillgängligt för räddningsledaren vid insatsen början och fortlöpande under insatsen.

Det bör också undersökas hur utrymningsvägarna skall utformas för att personer skall kunna uppfatta att de finns även om röken är tät och sikten begränsad.

6.3 Tunneln fylls av brandgaser, vilket gör att ett angrepp in i tunneln måste utföras med skyddsutrustning.

Branden kommer att medföra en kraftig rökutveckling som kommer att fylla tunneln med rök. I vindriktningen ifrån branden kommer brandröken att vara skiktad de första 100-150 metrarna innan röken fördelar sig över hela tunneltvårsnittet. Mot vindriktningen kommer röken att förflytta sig på grund av den så kallade backlayeringeffekten, vilken innebär att det kommer att bli en rökfylld på cirka 150 meter även mot vindriktningen, se kapitel 3. Backlayering effekten kommer att avsevärt försvåra en räddningsinsats mot tåget.

För att kunna genomföra en förflyttning i tunneln kommer räddningstjänsten att vara tvungen att skydda sig mot de giftiga brandgaserna. Detta innebär att räddningstjänstens insatser kommer att kraftigt begränsas på grund av tillgången på luft för rökdykarna och minskningen av förflyttningshastigheten i rök.

Branden i Kaprun visade att brandförloppet påverkas kraftigt av lutningen på tunneln. Detta innebär att räddningstjänsten möjligheter att påverka brandens utveckling minskar då lutningen på tunneln ökar.

Våra studier har visat, se appendix A och kapitel 4, att den överhängande faran för insatspersonalen troligen är en kombination av dålig sikt och påverkan av de giftiga brandgaserna. Detta baserar vi på att miljön inne i tunneln inte blir så varm som är vanligt i mer normala bränder. Detta beror bland annat på avkylningseffekten som omgivningsytorna har på brandgaserna. Detta fenomen innebär att en fullständig övertändning inne i tunneln troligen inte kommer att vara den mest överhängande faran. Däremot är det möjligt att det kan ske en övertändning inne i en vagn eller inne i ett lok. Denna brand kommer att däremot att kunna resultera i en omfattande värmestrålning som kan sätt stora begränsningar i möjligheterna att närma sig tåget. Detta fenomen visade sig tydligt vid branden i Tauertunneln, där räddningstjänsten inte kunde komma närmare branden än cirka 100 meter, då strålningsnivån från branden och brandgaserna var för höga.

Branden i Kaprun påvisar riskerna med giftig brandrök. Vid denna olycka avled människor i toppstationen då den rökfylldes av branden som var lokaliserad flera kilometer därifrån. Räddningstjänsten fick använda sig av rökdykare för att kunna ta dessa människor ifrån toppstationen, Bergqvist (2001)

6.3.1 Förslag på möjligheter att hantera problemen

För att kunna planera en räddningsinsats måste räddningstjänsten få reda på vilken flödesriktning det är på vinden i tunneln. Det behövs också möjligheter på att indikera hur rökspridningen ser, så att denna kan följas

upp under insatsen. I detta ingår att kunna göra en bedömning över hur miljön ser ut inne i tunneln.

Avancerade räddningsinsatser måste förberedas och planeras noggrant. I detta ingår också färdigheter för att kunna genomföra ventilation och styra brandgaserna. Dessa frågor diskuteras mer under kapitel 6.6.

6.4 Det är mycket svårt att bedöma riskerna som räddningspersonalen utsätter sig för om de skall göra en insats in i tunneln.

Invändiga brandsläcknings- och livräddningsinsatser med andningsskydd, normalt kallade rökdykarangrepp, är reglerade enligt Arbetsmiljöverkets författning om rökdykning (1995). I denna föreskrift beskrivs vad en räddningsledare måste genomföra vid en rökdykarinsats. Elfte paragrafen säger att "Räddningsledare skall se till att de risker som en rök- eller kemdykare utsätts för är rimliga med tanke på vad som kan uppnås med insatsen." och tillägget till elfte paragrafen säger att "Det är viktigt att en bedömning av riskerna vid en rök- eller kemdykarinsats görs innan insatsen påbörjas.

Det centrala för att göra denna riskbedömning är kunskap om objektet, vad som har inträffat och vilka möjligheter och begränsningar som räddningsstyrkan har för sina arbetsmetoder. Bränderna i tunnarna i Mont Blanc och Tauern påvisar rasproblematiken under pågående brand. Under räddningsinsatsen vid branden i Mont Blanc, dog en person insatsstyrkan och ett flertal var under lång tid av denna insats i direkt livsfara. Detta pekar på att de ansvariga befälen ej gjort/kunnat göra en korrekt riskbedömning och missbedömt riskerna. Vid insatsen i Tauern räddades troligen insatspersonalen på grund av att misstagen som gjorts i Mont Blanc cirka två månader innan, vilket medförde att de avbröt den aktiva invändiga insatsen på ett tidigt skede och på så sätt ej utsatte personalen för extrema risker.

Praktiska brandförsök utförda av Telia, Bengtson och Lundin (1995) påvisade också de stora riskerna med ras vid brandpåverkan på bergtunnlar, då stenblock lossade och rasade ner under dessa försök.

Risken för ras ifrån den brandutsatta tunneln verkar vara mest troligt inträffa i ett senare skede av branden, då utrymningen torde vara avslutad, och i samband med att ett aktivt brandsläckningsarbete pågår inne i tunneln. Vid all typer av räddningsinsatser på spårområden måste hänsyn tagas till de stora riskerna med elektricitet och påkörning. Dessa risker förekommer givetvis även vid insatser i tunnlar.

6.4.1 Förslag på möjligheter att hantera problemen

Räddningstjänsten måste i framtiden på ett mycket mer genomarbetat sätt ta fram riktlinjer för hur räddningsinsatser skall genomföras vid olika typer av

objekt. Framtagandet av dessa riktlinjer måste ske i samverkan med objektinnehavaren. En detaljerad olycks- och insatsplanering måste ske utifrån ett objektivt synsätt där räddningstjänstens möjligheter och begränsningar är väl identifierade. För att kunna genomföra en korrekt riskbedömning under en pågående räddningsinsats måste den ansvarige räddningsledaren kunna ha bra kunskap om vilken kapacitet räddningsstyrkan har vid den aktuella objektstypen. Det bör vara klart vad räddningsinsatsen kan genomföra och vad de inte kan genomföra. Utifrån dessa riktlinjer vet den ansvarige räddningsledaren vilka ramar han har att agera inom. Det är lika viktigt att objektinnehavaren är medveten om vad räddningstjänsten kan utföra. Denne kan utifrån denna kunskap dimensionera övriga delar av säkerhetssystemet.

De ansvariga beslutsfattarna måste övas i att genomföra denna aktiva komplicerade riskbedömning i en olyckssituation. Dessa utbildningar och övningar måste genomföras baserade på de olika komplicerade situationer som beslutsfattarna kan bli utsatta för.

Räddningsledaren måste ha ett aktivt stöd för att genomföra riskbedömningen. Detta stöd kan vara utformat som olika typer av checklistor och översiktliga planer som kan användas för att ge ett bättre underlag för insatsen. Det bör genomföras ett aktivt arbete där riskexponeringen för insatspersonalen analyseras och där man utifrån denna analys försöker aktivt att minska riskexponeringen för insatspersonalen.

Under insatsens genomförande måste räddningsledaren ha möjlighet att övervaka olycksplatsen och räddningsinsatsen.

6.5 Stora och omfattande objekt med långa och komplicerade vägar att förflytta sig ifrån säker miljö utomhus till platsen för branden

Beroende på hur räddningsinsatsen genomförs, kan det behövas att räddningstjänsten måste förflytta sig långa sträckor inne i tunneln. Är tunneln rökfylld kommer denna förflyttning att skapa stora begränsningar på räddningsinsatsen. Enligt Arbetsmiljöverkets föreskrift om rökdykning (1995), så innebär rökdykning inträngande i tät brandrök i syfte att bekämpa brand, rädda liv eller dylikt. Rökdykning genomförs normalt med två brandmän, ett rökdykarpar, klädda i skyddsutrustning och en rökdykarmedare som står utanför röken och de bildar tillsammans en rökdykargrupp.

Sammantaget innebär detta att en rökdykargrupp inte hinner avancera någon längre sträcka innan reträtten mot säker miljö måste påbörjas. Detta innebär också att om man skall kunna avancera in någon längre sträcka så måste flera rökdykargrupper användas för att successivt kunna söka av områden och avancera längre in i tunneln då man kan utnyttja tidigare grupper rekognosering för att öka hastigheten förflyttningen. Innebörden av detta blir att insatser av detta slag blir mycket resurskrävande. Samtidigt kommer

längre angreppsvägar att innebära att rökdykargrupperna har längre avstånd till säkerhet om det inträffar någon incident.

Svaren på enkäten i appendix D påvisar att räddningsledare känner stor osäkerhet om hur bränder skall hanteras och pekar också på att en rökdykarinsats kommer initialt att genomföras enligt de rutiner och med den erfarenheten som räddningstjänsten har av lägenhets- och husbränder. Det påvisar att svensk räddningstjänst behöver ha mer kunskap om hur avancerade rökdykaroperationer skall genomföras och vilka möjligheter och begränsningar dessa har.

Utrymningsvägar i tunnlar kan användas som angreppsvägar vid en räddningsinsats. Det

är viktigt att eventuella utrymningsvägar är utformade för och möjliga att använda vid en räddningsinsats

6.5.1 Förslag på möjligheter att hantera problemen

Det viktigaste är att räddningstjänsten arbetar fram rutiner som överensstämmer med verkligheten, den hotbild som föreligger och vilket arbete som skall utföras, beskrivet i kapitel 3 och 4. Detta innebär att exempelvis den gängse standardrutinen för att arbeta med säkra rökdykarinsatser bör revideras, då bränder i tunnlar ej går att jämföra med bränder i exempelvis stora och omfattande lagerbyggnader.

Ta fram tekniska hjälpmedel för att underlätta svårigheterna med att genomföra rökdykningsuppdrag i dessa miljöer. Dessa hjälpmedel kan vara utrustning för att orientera i rökfylld miljö, utrustning för kunna arbeta med seende i brandrök och utrustning för att på ett säkert och effektivt sätt kunna snabbt förflytta sig genom tunneln och söka av området efter skadade människor. Detta hjälpmedel bör kunna hantera transporter av annan utrustning in i tunneln och transporter av skadade ut ur tunneln.

Räddningsinsatsen kommer att behöva bättre hjälpmedel och rutiner för att kunna hantera vattenförsörjningen vid ett eventuellt släckförsök. Vattenförsörjningen bör planeras fasta brandpostsystem i tunneln, kombinerat med lättare och smidigare slangutrustning för att koppla ihop med brandposten vid brandplatsen. För att samtidigt ha en hög säkerhet för att kunna hitta ut, då brandslang inte används, måste det finnas enkla hjälpmedel för att kunna märka ut de angreppsvägar som man använder sig av. Exempel på detta skulle kunna vara att rökdykargruppen lägger ut någon form av lysande rep bakom sig för att underlätta avancemanget för nästa grupp och för att underlätta reträtten. Ett bättre och mer funktionsdugligt orienteringsunderlag för rökdykarna bör arbetas fram och användas för dessa insatser. Utrustningen för dessa insatser bör utformas för att minska påfrestningarna på insatspersonalen, vilket innebär att det bör finnas exempelvis isvästar och lättare utrustning.

Då mycket pekar på att förgiftningsrisken och bristen på dålig sikt i kombination med långa inträngningsvägar, verkar vara den överhängande

faran för insatspersonalen, se appendix A och kapitel 3. Detta skiljer denna räddningsinsats från mer normala hus- och lägenhetsbränder där hög brandgastemperatur och därmed risk för övertändning ses som den största risken. Detta medför att det bör finnas andningsutrustning som har luftförråd för tidsmässigt längre insatser och möjligheter att förbättra seendet i brandrök. Detta skulle också kunna öka säkerhetsmarginaler för att luften tar slut vid rökdykarinsatser. Det bör också kunna vara möjligt att öka möjligheterna att hantera haverier på rökdykarnas utrustning så att arbetsmetoderna och andningsutrustningen anpassas efter den typ av olycksplatser som insatser vid bränder i tunnlar innebär.

6.6 Hur skall brandgaserna styras för att underlätta en utrymning, livräddning och en brandsläckningsinsats.

En räddningsinsats vid en brand i en tunnel kan innebära att alternativet att med hjälp av fläktar kunna styra brandgaserna måste övervägas. Att kunna styra bort de giftiga brandgaserna ifrån de utrymmande människorna verkar vara en effektiv åtgärd för att underlätta utrymningen.

Mycket tyder på att brandeffekten successivt ökar med en ökad lufthastighet, speciellt vid fasta bränslen. Det finns en övre gräns för denna effektökning eftersom till slut kyleffekten av luftmassan tar över, jämför med att blåsa ut ett ljus. Ett resonemang som dock inte vore praktiskt genomförbart vid denna typ av brand. Försök visar att brandeffekten kan öka som mest med en faktor två till tre, beroende på lufthastigheten, bränslets geometri och typen av bränsle. Vad den övre gränsen för maximalt utvecklade effekt går är oklart, men klart är att lufthastigheten påverkar brandens effektutveckling ganska mycket, Ingason (2001).

Backlayeringfenomenet som kan ställa till med problem genom att avsevärt försvåra en räddningsinsats mot tåget, kommer att påverkas av brandens effektutveckling och av vindhastigheten i tunneln. I dag byggs många tunnlar som grundar sig på konceptet att man ska kunna blåsa bort all rök uppströms branden. Därmed skulle räddningstjänsten ha fri lejd fram till branden. I detta sammanhang uppstår dock ett problem, om den långsgående lufthastigheten inte överskrider en viss hastighet, den så kallade kritiska lufthastigheten, så finns det risk att röken ”backar” uppströms, då får man en backlayering. Det som kan ställa till problem vid insatsen när man har backlayering är strålningpåverkan mot insatspersonalen från de varma brandgaserna i taket. Eftersom den rök som ”backar” har högre temperatur jämfört med den luft som räddningstjänsten har i ryggen så utsetts brandmännen för värmestrålning som kan vara mycket besvärande för insatspersonalen, trots att det kan vara bra sikt fram till branden. En brand på 15 MW i en tunnel med 7 m takhöjd och 1.5 m/s lufthastighet kan medföra att rök som backar ungefär 70 – 90 meter och för en brand på 35 MW kan detta avstånd bli 90 - 110 meter. Strålningen från det varma brandgaslagret ovanför insatspersonalen ökar allteftersom de kommer

närmare branden. Till slut så blir situationen för personalen ohållbar på grund av värmen. För att hantera detta måste man tillgripa andra metoder, vilket kan vara att föra in vatten i luftströmmarna eller öka lufthastigheten med hjälp av mobila fläktar.

Det som påverkar i första hand hur långt uppströms brandgaserna stannar upp är först och främst:

- takhöjden (ökad takhöjd innebär att röken backar längre uppströms)
- brandstorlek (ökad brandstorlek innebär ökad backlayering)
- bredden på branden (ökad bredd innebär kortare backlayering)
- lutningen på tunneln (ökad lutning i vindriktning innebär ökad backlayering)

Studier visar på att en vindhastighet på cirka 2 till 2,5 meter per sekund verkar kunna reducera bort backlayeringfenomenet.

Tunnelns utformning kommer att stor inverkan på möjligheterna till att få resultat av ventilationsmetoden. I tunnelsystem med många olika tunnelrör som är sammankopplade, exempelvis ett tunnelbanesystem, kommer det att bli svårt att få ett flöde genom tunnelrören. Detta har visat sig i studier som genomförts i tunnelbanan i Stockholm, vilket framkom vid diskussioner med Bo Wahlström, SWEPRO Engineering. I tunnlar med ett rör och endast två utgångar verkar det som om ventilationsproblematiken är betydligt enklare.

För att kunna styra röken i en speciell riktning måste räddningsledaren ha klar information om ovanstående frågeställningar. När detta väl är klarlagt kan han arbeta med ventilationen på ett säkert sätt.

En tunnel som lutar kan få olika dragförhållanden inne i tunneln beroende på om det är vinter eller sommartemperaturer utanför tunneln. En järnvägstunnel som är längre än t ex 1 km har oftast relativt konstanta lufttemperaturer året runt. Det kan röra sig om 0 – 10 °C inne i tunneln beroende på tunnelns geografiska läge och storlek. När vi har kallare (vinter) utanför tunneln så tenderar luftdraget att strömma med tunnelns lutning. Om det är mycket varmare (sommars) utanför tunneln så tenderar luftdraget att strömma mot tunnelns lutning. Yttre vind mot tunnelmynningen kan lätt övervinna dessa luftströmmar och då styrs luftdragets riktning av den vindhastighet som finns i närheten av tunnelmynningarna.

De termiska krafterna orsakade av branden kan så småningom börja motverka de naturliga strömningarna. Det gör att rökens strömningsriktning kan plötsligt vända mitt under brandens utveckling. Detta i sin tur komplicerar både utrymningen och räddningsinsatsen.

En av slutsatserna från testerna, Ingason H, Werling P (1999) som genomfördes i en modelltunnel var att termisk brandgasventilation inte var speciellt effektiv för att ventilerar bort brandgaserna i tunnlar. Anledningen är att brandgastemperaturen sjunker snabbt med avståndet från brandkällan.

Det gör att efter 100 – 150 m från branden så har vi relativt låga temperaturer, strax under 100 °C. Det gör att schakten inte fungerar effektivt på grund av för låg termisk stigitkraft. Stora delar av brandgaserna passerar helt enkelt schaktet vilket gör dem ineffektiva.

Sammantaget ger detta oss att vi inte kan ge några förslag på vilken typ av ventilation som skall användas eller med vilken flödesriktning som ventilationen skall appliceras.

En förutsättning för att påverka flödesriktningen är att räddningstjänsten har tillgång till det nödvändiga beslutsunderlaget som behövs för analytiskt fatta dessa beslut.

6.6.1 Förslag på möjligheter att hantera problemen

Det behöver genomföras mer grundläggande studier. Det behövs ta fram kunskap om hur ventilationen kan påverka möjligheterna för att hantera tunnelbränder. Det saknas idag mycket kunskap om hur en ventilation skall genomföras vid en brand i en tunnel.

Räddningstjänsten bör arbeta fram arbetsmetoder för att kunna kombinera avsökning av tunneln för att ta reda på den viktiga informationen som behövs, med användandet av fläktar för att få bort röken ifrån de utrymmade. Detta skall ge möjligheter för livräddning och en aktiv släckinsats för att dämpa branden. Inom detta område bör det utredas hur kombinationer av ventilation och släckmedelspåföring kan genomföras och vilken effekt detta kan ge på utrymningsmöjligheter och för brandsläckningen.

6.7 Kommunikation mellan personalen som befinner sig i säker miljö och den del av insatspersonalen som genomför en invändig rökdykarinsats.

Kommunikation under en insats är avgörande av två anledningar, dels för att samordningsmässigt kunna hantera en stor och komplicerad insats och för att kunna få en snabb och effektiv återkoppling, dels för säkerheten för den invändiga rökdykaroperationen.

Tillgången på kommunikation är avgörande för att en rökdykaroperation skall kunna genomföras, då det finns krav på detta i Arbetsmiljöverkets föreskrifter för rökdykning. Tillgången på kommunikation är också avgörande för tryggheten för både personalen inne i den rökfyllda tunneln och de ansvariga utanför röken.

För att radiokommunikationen skall kunna fungera så måste detta vara planerat på varje objekt. Räckvidden på normal radiokommunikation är sådan att det måste finnas förberedda system för att detta skall fungera. Det

som idag verkar fungera är de system där det finns fasta installerade läckande kablar för att förstärka möjligheterna för ett effektivt samband.

Idag finns olika typer av mobila system för att förstärka radiokommunikationen i de anläggningar där den normala rökdykarradiokommunikationen inte har tillräcklig räckvidd. Exempel på dessa kan vara de crossbandrepeatrar som används av Stockholms brandförsvaret. Denna utrustning har visat sig vara mycket svår att praktiskt få att fungera på en olycksplats, då användarvänligheten skapar svårigheter.

6.7.1 Förslag på möjligheter att hantera problemen

De tunnlar där en räddningsinsats med en rökdykning kan vara aktuell att genomföra bör förses med ett system av för att säkerställa rökdykarradiokommunikationen.

Det bör också utvecklas bättre mobila system för att kunna användas för att förstärka kommunikationen på de anläggningar där inte det finns fasta installerade system.

6.8 Transportera brandvatten in till platsen där brandsläckningen skall genomföras.

Erfarenheter ifrån räddningsinsatser påvisar att transporter av släckvatten kan innebära stora problem. Transporten av brandvatten i brandslang innebär dels rent hydrauliska begränsningar för att få fram tillräckligt med vattenflöde och vattentryck. Det innebär också en rent fysisk begränsning för människan att dra med sig vattenfylld brandslang. Anledning till att slangerna hela tiden måste vara vattenfylld är att brandmännen skall ha möjlighet att släcka ner eventuella övertändningar.

För att kunna genomföra en effektiv släckning med den typ av släckutrustning som används på svensk räddningstjänst idag, måste det finnas ett vattenflöde på minst 300 liter per minut och ungefär 60 mvp vattentryck vid strålröret. Detta ställer stora krav på vattentransporten till släckplatsen. Vid omfattande bränder kommer denna vattenmängd troligen inte att vara tillräcklig för att bekämpa en brand.

Arbetsmiljöverkets föreskrifter för rökdykning ställer stora krav på att det måste finnas säker vattenförsörjning för att en rökdykningsoperation skall kunna genomföras. Ursprunget till dessa föreskrifter verkar vara att risken för övertändningar måste kunna hanteras av rökdykargruppen. Som tidigare nämnts verkar inte risken för övertändningar vara det överhängande hotet för rökdykarinsatsen.

6.8.1 Förslag på möjligheter att hantera problemen

Tunnlar som hanterar transporter av människor bör förses med ett fast släckvattensystem så att en eventuell räddningsinsats lättare kan hantera problemet med att få fram vatten till brandplatsen. Detta släckvattensystem måste kunna erbjuda samma säkerhetsmässiga nivå som ett normalt släckvattensystem för rökdykning kan erbjuda.

Räddningstjänsten bör arbeta fram rutiner för att genomföra slangdragning i dessa miljöer med de aktuella hotbilderna som finns.

6.9 Genomföra en brandsläckningsinsats som kan ge ett önskat släckresultat.

Små bränder är generellt lätta att släcka. Detta innebär att en tidig detektering och ett tidigt släckförsök måste vara målet för att bekämpa alla typer av bränder. Det är också viktigt att så tidigt som möjligt släcka branden för att minska risken för brandspridning.

Släcka omfattande bränder med rökdykargrupper är ett stort problem vilket visade sig tydligt vid branden i Tauerntunneln, Bergqvist (2000), där insatsstyrkan inte kom närmare än 100 meter ifrån branden på grund av värmestrålningen. Detta fick till resultat att släckmedlet inte nådde brandhårdarna och därmed lyckades man inte få något släckresultat. Vid branden i Eurotunneln lyckades inte insatsstyrkan släcka branden. Resultatet blev att brandspridningen begränsades så att branden inte spred sig mot vindriktningen, medan resterande delar av tåget, från startplatsen för branden och i vindriktningen, förbrändes fullständigt. Detta har framkommit vid samtal med Ian Muir, Kent Fire Brigade, Storbritannien.

Vad som inte tas upp i denna rapport, men som också bör beaktas innan olyckan inträffar, är vikten av att genomföra en brandsläckningsinsats inte bara för att rädda människoliv utan också för att bevara viktiga samhällsfunktioner. Dessa problemställningar kommer troligen annars att uppstå vid en eventuell olycka och då kommer räddningstjänsten att utsättas för stora påtryckningar för att genomföra denna typ av insats, utan att systemet var dimensionerat för en egendomsräddningsinsats. Ett tydligt exempel på detta är räddningsinsatsen vid branden i kabeltunnel i nordvästra Stockholm under våren 2001.

6.9.1 Förslag på möjligheter att hantera problemen

Släckmedelssprinkler av lok och vagnar kan vara en väg för att höja skyddet på detta transportsystem. En tidig detektering i kombination med ett automatiskt släcksystem kommer att radikalt öka möjligheterna för att hantera inträffade bränder i tåg. För att komplettera dessa system måste personalen ombord på tåget övas i att hantera bränder på ett effektivt sätt.

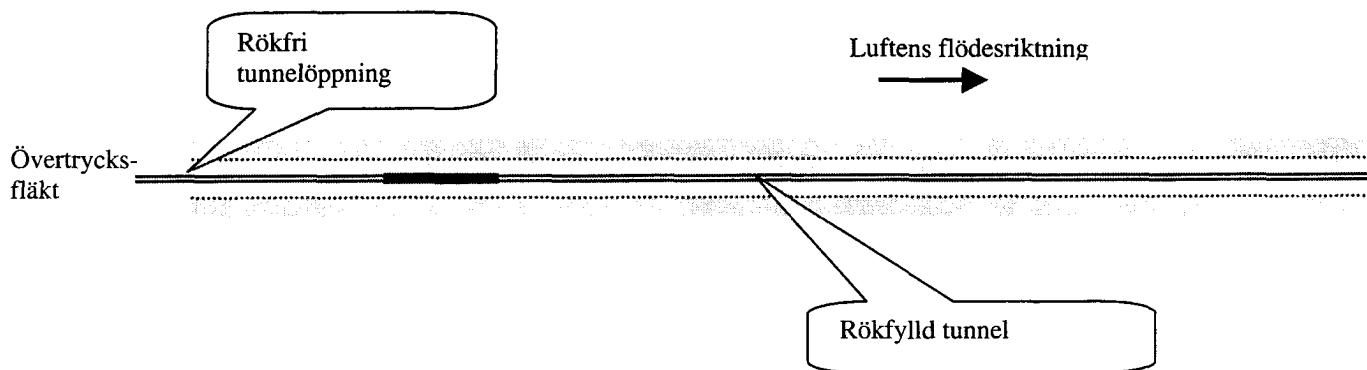
Vilka släcksystem och vilka släckmedel som är användbara i dessa sammanhang måste undersökas på ett bättre sätt i framtiden, då det idag

saknas mycket information om vad som fungerar effektivt. I detta sammanhang bör det studeras hur kombinationer av omfattande ventilations- och släckinsatser fungerar tillsammans.

6.10 Insatsmodell för bränder i enkelrörstunnlar

Vid starten på insatsen saknar räddningstjänsten en övergripande bild över olycksplatsen, vilket medför att det saknas underlag för att genomföra en bedömning över vad som har inträffat och hur olyckan kan utveckla sig. Samtidigt är det en stark tidspress för att kunna genomföra en livräddningsinsats in i tunneln. En första insats bör göras in i den rökfria tunnelöppningen, se figur 35. Syftet med denna insats är att undersöka vad som har inträffat, underlätta utrymningen i denna riktning ifrån branden och om möjligt angripa och släcka branden.

För att skapa en säkrare arbetsmiljö och reducera eventuell backlayeringeffekt förstärks, vid denna insats, luftens naturliga flödesriktning med en övertrycksfläkt. Denna skall förhindra en snabb och oplanerad förändring av flödesriktningen, utan att påverka branden.

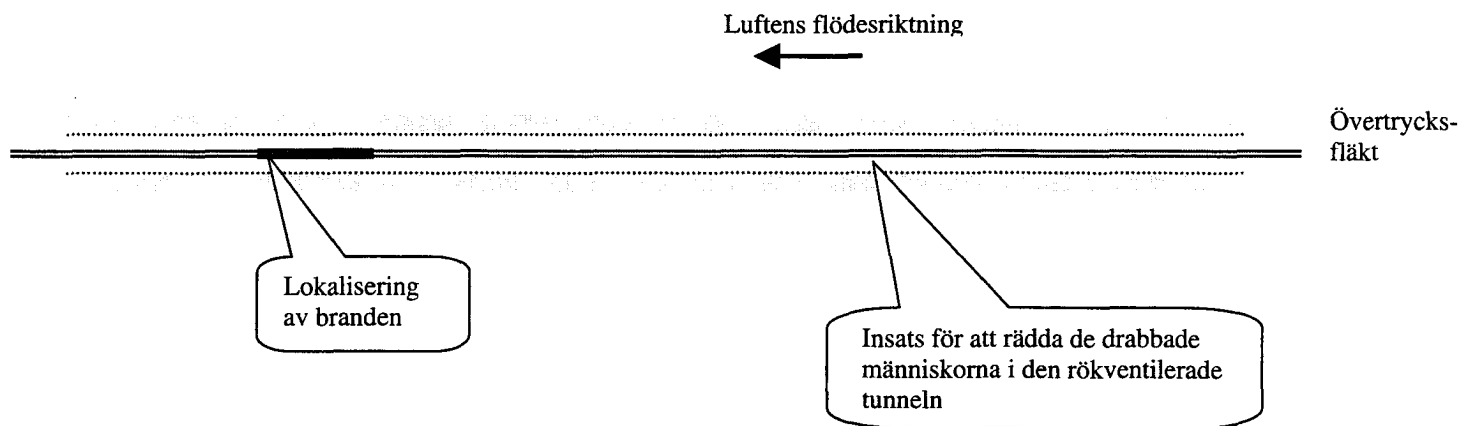


Figur 35 Överblick över olycksplatsen

Finns det tillgängliga resurser påbörjas snarast en rökdykarinsats in i den rökfyllda tunnelöppningen. Syftet med denna insats är att undersöka vad som har inträffat och genomföra livräddning i anslutning till denna rökfyllda tunnelöppning.

Räddningsinsatsen ifrån den rökfria tunnelöppningen försöker om möjligt att bekämpa branden. Samtidigt försäkras man sig att den rökfria tunneldelen är fri från utrymmande människor. Risken är att värmestrålningen ifrån branden och brandgaserna är så hög att det begränsar möjligheterna att närma sig branden. Är värmestrålningen för hög måste insatsen inrikta sig på att endast underlätta utrymning och eventuell livräddning.

Då man inte längre, på grund av värmestrålningen, kan genomföra en effektiv insats ifrån den rökfria tunneldelen så vänder man på luftens flödesriktning i tunneln. Syftet med detta är att effektivare kunna livrädda människorna i den rökfyllda tunneldelen.



Figur 36 Tunneln efter vändning av luftens flödesriktning

Då luftens flödesriktning har vänts underlättas möjligheterna för de överlevande i denna del av tunneln, se figur 36. Samtidigt effektiviseras räddningstjänstens möjligheter att genomföra en livräddningsinsats. Då den från början rökfria tunneldelen avsökts efter människor innan flödesriktningen ändrades, bör risken för att skadorna förvärras minimeras.

7. Slutsatser

Vid ett säkerhetsarbete kring en tunnel måste förutsättningarna identifieras vid varje specifikt objekt. Utifrån dessa förutsättningar måste det utredas och ett säkerhetskoncept planeras. Detta är viktigt då det i stor grad kan skilja på säkerhetslösningarna för olika tunnlar. Räddningstjänsten måste ses som en integrerad del av säkerhetssystemet vid dessa underjordiska masstransportsystem.

Vad som framkommer i arbetet är att utrymningslösningar för passagerare som baseras på att räddningstjänsten skall medverka aktivt i utrymningen, tycks vara dåligt underbyggda och kan få problem med att ge ett önskat resultat i händelse av en olycka. Generellt bör utrymningskonceptet bygga på självutrymningsprincipen.

Avståndet mellan utrymningsvägarna bör baseras på de specifika förutsättningar som finns i det aktuella fallet. För de typscenarier som analyserats i detta arbete förefaller det som ett avstånd på 300 meter är en övre gräns för att människorna skall hinna sätta sig i säkerhet. Utrymningsvägarna måste också vara utformade så att människorna hittar dem, i den miljö med dålig sikt som kommer att bli aktuell vid en brand i en tunnel. Beakta även att utrymningsvägarna används som primära angreppsvägar för räddningstjänsten, vilket även ställer specifika funktionskrav på utrymningsvägarna.

Det bör arbetas fram en definierad gräns för vilken typ av bränder och vilken storlek av bränder som en manuell räddningsinsats kan släcka. Detta är en viktig för att i framtiden få bättre underlag för att kunna dimensionera säkerhetssystem för tunnlar.

Räddningstjänsten bör inse svårigheterna med att göra räddningsinsatser i tunnelmiljöer och inte planera för att genomföra dessa insatser som om det vore bränder i hus eller lägenheter. Den primära angreppsvägen skall troligen inte vara in i den av tunnelöppning där röken kommer ut, utan in i den rökfria tunnelöppningen. Rökdykarinsatser in i den rökfyllda tunnelöppningen kommer att innebära komplicerad och svår genomförbar rökdykning, vilket kan medföra att man feldisponerar de resurser man har till förfogande och missar möjligheterna att genomföra andra åtgärder som kan leda till en effektivare räddningsinsats.

Bristen på kunskap om hur kombinationer av rökdykarinsatser, brandsläcknings- och ventilationsåtgärder i syfte att rädda människor, skall fungera tillsammans och hur dessa arbetsmetoder skall användas vid en tunnelbrand är stor. Det skulle behöva satsas mer resurser inom området för att kunna presentera fungerande insatsmodeller som räddningstjänsten kan använda vid räddningsinsatser vid bränder i tunnlar. För att göra detta bör olika insatskoncept studeras för olika typer av tunnlar.

Spårtunnlar i Sverige verkar generellt vara utformade enligt scenariobeskrivningen tidigare i rapporten, vilket innebär ett enkelrör med dubbelriktad trafik. Insatsmodellen för en räddningsinsats vid dessa typer av tunnlar förklaras övergripande i kapitel 5 och i kapitel 6.10. Denna insatsmodell bygger på att räddningstjänsten genomför sin insats på ett planerat och övertänkt sätt. Utifrån grundtanken med denna insatsmodell bör modeller utvecklas för andra typer av tunnlar. Det finns ett behov av att studera denna insatsmodell och andra modeller djupare och genomföra tester över hur dessa kommer att fungera i en verklig olyckssituation.

För att i en olyckssituation effektivt kunna hantera räddningsinsatsen, bör man insatsplanera utifrån de troliga olycksscenarierna som bör vara fastställda. Det bör sedan skapas ett system för att kunna identifiera den verkliga olyckan och utifrån denna välja vilken insatsplan man skall använda sig av. Detta är viktigt då bristen på överblick över olycksplatsen är kritisk. Mycket pekar på att bristen på information till räddningsledaren skapar brist på ett beslutsunderlag för att fatta analytiska beslut, vilket i sin tur kommer att påverka räddningsinsatsen kraftigt. Detta innebär att åtgärder för att kunna presentera bra beslutstöd för räddningsledaren kommer att kunna förbättra räddningstjänstens möjligheter att genomföra en effektiv räddningsinsats.

8. Referenser

Bengtson S, Lundin K, Heat release rates in telecommunication tunnels, p 127-138, Proceedings of the International Conference of Fires and Engineering, Asiaflam 95, 15-16 March 1995.

Bergqvist A, Räddningsinsatser i tunnlar och undermarksanläggningar, Förstudie avseende läget i Norden, SRV Rapport P21-283/99, Statens Räddningsverk, 1998

Bergqvist A, Branden i Tauerntunneln, SRV Rapport, 1999

Danielsson U, Leray H, Fysisk belastning vid räddningsarbete i tunnlar, FOA-R—01192-720—SE, 1999

Frantzich H. Utrymning av tunnelbanetåg. SRV rapport P21-339/00. Räddningsverket, Karlstad, 2000.

Ingason H, Design Fires, Asiaflam, 1995

Ingason H, Werling P, Experimental Study of Smoke Evacuation in a Model Tunnel, FOA-R—99-01267-311—SE, 1999

Ingason H, An overview of vehicle fires in tunnels, Fourth International Conference
Madrid, Spain, 2-6 April 2001

Jin T, Yamada T. Irritating effects of fire smoke on visibility. Fire Science and Technology, Vol 5, sid 79-90, 1985.

Lennmalm B, Räddningstjänstinsatser i industribränder - Rökdykarstudier, Brandforsk projekt nr 419-924, 1998.

Purser D. Toxicity assessment of combustion products. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Ed. P DiNenno, National Fire Protection Association, Quincy, 1995.

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

Tewarson, Fire Protection Engineering Handbook, First Edition 1, 1-186.

Arbetskyddsstyrelsens författningssamling, AFS 1995:1, Rök- och kemdykning, 1995

Direktoratet for brann- og eksplosjonsvern, Investigation report, Vehicle Fire in the Seljestad Road Tunnel on E 134 in Odda Municipality, 14. July 2000

London Fire and Civil Defence Authority, The Kings Cross Disaster November 1987

Ministry of the Interior, France, Joint Report of the Administrative mission for a French and Italian technical enquiry into the disaster which occurred on the 24/03/99 in the Mont Blanc Tunnel, Report of July 1999

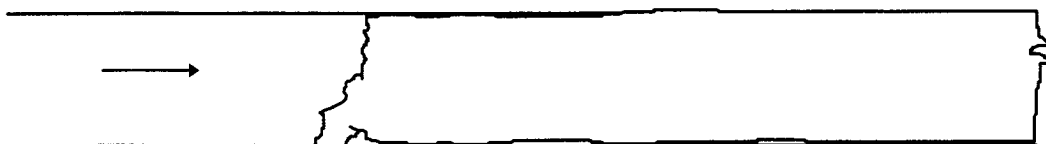
Norwegian Public Road Administration, Bus on fire in the Ekeberg tunnel on August 21, 1996, Technical report, 1996

Räddningsverket, Räddningstaktik- Påverkan och utformning, SRV publikation U29-385/92, 1992

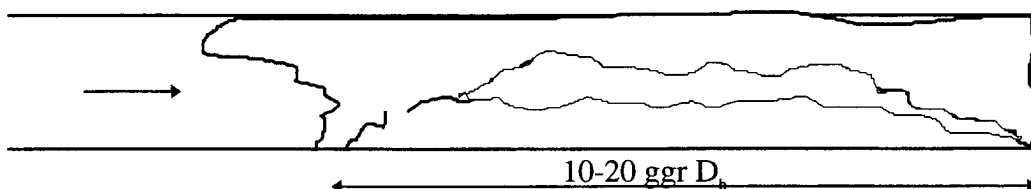
Riksdagen, Räddningstjänstlagen 1986:1102, 1886

Appendix A Beräkning av temperatur, gaskoncentration och röktäthet

Nedan ges en beskrivning av de modeller som har utvecklats för beräkning av brandgastemperaturer, gaskoncentrationer och röktäthet vid olika tidpunkter och olika avstånd från branden. Eftersom det finns många osäkerheter i utrymningsberäkningarna har vi valt att göra modellen så enkel som möjligt. Vi har också gjort några exempel för att visa hur man kan utnyttja formlerna som anges i rapporten. Brandgaserna antas följa luftriktningen. En fullständig omblandning av brandgaserna nedströms branden kan antas ske redan vid brandplatsen (ingen skiktning av röken, se figur A1). I vanliga fall vid lufthastigheter på 1 m/s så kommer brandgaserna att stiga upp mot taket och skiktas, se figur A2.



Figur A1 Principiell bild över hur vi antar att brandgaserna blandas upp fullständigt nedströms branden.



Figur A2 Principiell bild över hur röken sprids i en tunnel när längsventilation ligger omkring 1 m/s.

Så småningom kommer skiktningen att upphöra, uppskattningsvis på ett avstånd som motsvarar 10 - 20 gånger den hydrauliska diametern D_h för tunneln. Den hydrauliska diametern kan beräknas enligt ekvation (A1):

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (A1)$$

där A är tunneltvärsnittets area i m^2 och P är perimeter ($2B+2H=2*7.1+2*7.1=28.3$ m). Det innebär i vårt fall ($A=50$ m^2 och $P=28.3$ m) så blir hydrauliska diametern (D_h) 7 m och därför kan man räkna med att brandgaserna har blandats upp ungefär 70 - 140 m nedströms branden. Genom att anta en fullständig omblandning av brandgaserna vid branden och inte 70 - 140 m kommer vi att överskatta tiden tills de kritiska förhållandena

uppnås ca 1.75 m ovanför banvallen (huvudhöjd). Det innebär att beräkningsresultaten i detta avseende kommer att vara på den säkra sidan.

Beräkning av brandgastemperatur

Om vi antar en fullständig uppblandning av brandgaserna, se figur A1, kommer brandgastemperaturen närmast locket ($x=0$) att kunna beräknas enligt följande ekvation:

$$T_{g,0}(t) = T_0 + \frac{0.7Q(t)}{\rho_0 u A} \quad (\text{A2})$$

Scenario 1

där $Q(t)$ beräknas enligt ekv (1) för tiden $t \leq 6$ min, ekv (2) för $t > 6$ min.

Scenario 2

där $Q(t)$ beräknas enligt ekv (3).

Scenario 3

där $Q(t)$ beräknas enligt ekv (4).

Brandgastemperaturen kommer att sjunka med avståndet x från branden och tiden t enligt följande ekvation:

$$T_g(x, t) = T_0 + \left[T_{g,0}(\tau) - T_0 \right] e^{-\frac{hPx}{\rho_0 u A C_p}} \quad (\text{A3})$$

där $\tau = t - \frac{x}{u}$ är en tidsförskjutning på grund av att brandgasernas

transporttid. Med andra ord; tidsförskjutningen τ motsvarar den tid det tar att transportera en förändring som inträffar vid brandplatsen sträckan x inne i tunneln. Vid användning av ekv (6) så ska man beräkna $T_{g,0}(\tau)$ genom att ersätta t med τ i ekv (A2). Tänk på att även använda $t = \tau$ i ekv (1) eller (2) beroende på vilken tid som används. Den lumpade värmeförlustkoefficienten h (konvektion + strålning) för utsprängda tunnlar antas vara lika med $0.03 \text{ kW/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ och C_p är $1 \text{ kW/}^\circ\text{C kg}$ för luft.

För att visa hur man kan använda dessa formler så visar vi några beräkningsexempel. I tabell A1 har vi sammanställt resultaten.

Tabell A1 En sammanställning av resultaten från beräkningsexemplen med olika x och t.

	Scenario 1)	Scenario 2)	Scenario 3)
T (x=50 m,t=6 min)	110 °C		
T (x=50 m,t=10 min)		27 °C	
T (x=300 m,t=28 min)			10 °C
O ₂ (x=50 m,t=6 min)	17.6 %		
O ₂ (x=50 m,t=10 min)		20.3 %	
O ₂ (x=300 m,t=28 min)			16.7 %
CO ₂ (x=50 m,t=6 min)	4.5 %		
CO ₂ (x=50 m,t=10 min)		0.9 %	
CO ₂ (x=300 m,t=28 min)			5.7 %
CO (x=50 m,t=6 min)	518 ppm		
CO (x=50 m,t=10 min)		104 ppm	
CO (x=300 m,t=28 min)			657 ppm
S (x=50 m,t=6 min)	0.4 m		
S (x=50 m,t=10 min)		0.9 m	
S (x=300 m,t=28 min)			0.3 m

T=temperatur, O₂=syrekoncentration, CO₂=koldioxid, CO=kolmonoxid ,
S=siktlängd i röken

Scenario 1)

Som exempel kan vi beräkna medeltemperaturen i tvärsnittet efter $t=6$ minuter (360 s) och $x=50$ m nedströms branden.

Följaktligen blir $\tau = 6 \cdot 60 - 50/1 = 310$ sek.

Ekv (1) ger då att $Q(310) = 0.1875 \cdot 310^2 = 18\,019$ kW.

Ekv (A2) ger $T_{g,0}(310) = 6 + (0.7 \cdot 18019 / 1.2 \cdot 1 \cdot 50) = 216$ °C.

Ekv (A3) ger $T_g(50 \text{ m}, 360 \text{ s}) = 6 + (216 - 6)e^{-(0.03 \cdot 28 \cdot 50 / 1.2 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 1)} = 110$ °C.

Det är alltså ganska varmt 50 m nedströms branden och människor kommer att få stora problem med utrymningen på grund av värmen. Om vi hade haft dubbelspårstunnel med tvärsnittsarea på 90 m^2 ($P=38$ m) istället för 50 m^2 som i exemplet här så hade temperaturen blivit 130 °C.

Hur ser det då ut efter 6 minuter och 200 m nedströms branden.

Vi gör samma procedur som ovan och resultatet blir att $T_g(360, 200) = 19$ °C.

Skillnaden i temperaturen är ganska stor på en 150 m sträcka. Vi måste även ta hänsyn till de giftiga brandgaserna och sikten röken. Det kommer vi att undersöka senare.

Scenario 2)

Här kan vi använda samma procedur som för scenario (1) förutom att vi använder ekv (3) för att beräkna brandeffekten. För att beräkna temperaturen som funktion av tiden och avståndet kan man sedan använda ekv (A2) och ekv (A3) genom att använda tidsförskjutningen τ .

Här kan vi undersöka situationen 50 m nedströms passagerarvagnen efter 10 minuter. Följaktligen blir $\tau = 10 \cdot 60 - 50/1 = 550$ sek.

Ekv (3) ger då att $Q(550) = 0.012 \cdot 550^2 = 3630$ kW.

Ekv (A2) ger $T_{g,0}(550) = 6 + (0.7 \cdot 3630 / 1.2 \cdot 1 \cdot 50) = 48.3$ °C.

Ekv (A3) ger $T_g(50 \text{ m}, 600 \text{ s}) = 6 + (48.3 - 6)e^{-(0.03 \cdot 28 \cdot 50 / 1.2 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 1)} = 27$ °C.

En betydande skillnad jämfört med scenario 1).

Scenario 3)

Vi antar $x=300$ m och $t=28$ minuter:

Följaktligen blir $\tau = 28 \cdot 60 - 300/1 = 1380$ sek = 23 min.

Ekv (3) ger $Q(1380) = 0.012 \cdot 1380^2 = 22852$ kW

Ekv (A2) ger $T_{g,0}(1380) = 6 + (0.7 \cdot 22852 / 1.2 \cdot 1 \cdot 50) = 272$ °C

Ekv (A3) ger $T_g(300 \text{ m}, 1680 \text{ s}) = 6 + (272 - 6)e^{-(0.03 \cdot 28 \cdot 300 / 1.2 \cdot 1 \cdot 50 \cdot 1)} = 10$ °C

Det finns alltså inga problem med temperaturen på detta avstånd efter 28 minuter.

Beräkning av gaskoncentrationer

Gaskoncentrationerna som funktion av tid och avstånd från branden kan beräknas för syre (O₂), koldioxid (CO₂) och kolmonoxid (CO). Genom att anta att brandgaserna blandas upp fullständigt vid brandplatsen så kan vi beräkna gaskoncentrationen enligt följande ekvationer:

$$X_{O_2}(t, x) = \left[X_{\infty} - \frac{Q(\tau) M_a}{\Delta H M_{O_2}} \frac{\left(X_{\infty} \frac{M_{O_2}}{M_a} + r_0 \right)}{\rho_0 u A} \right] \cdot 100$$

(A4)

$$X_{CO_2}(t, x) = \left[\frac{Q(\tau) (1 + r_0)}{\Delta H \rho_0 u A} \right] \cdot 100$$

(A5)

$$X_{CO}(t, x) = \left[Y_{CO} \frac{M_a}{M_{CO}} \frac{Q(\tau)}{\Delta H \rho_0 u A} \right] \cdot 1E6$$

(A6)

där $Q(\tau)$ bestäms av scenario och tidsperiod. Tidsförskjutningen $\tau = t - \frac{x}{u}$

bestäms för varje tid och avstånd x . Andra parametrar är molvikt (g/mol) $M_{O_2}=32$, $M_a=29$ och $M_{CO}=28$ g/mol. ΔH är det effektiva förbränningsvärdet, r_0 är den stökiometriska förbränningskoefficienten och Y_{CO} är andelen CO per g bränsle som förbränns. Medelvärden för $\Delta H=30$ MJ/kg och $r_0=3.5$. Y_{CO} ligger i storleksordningen 0.01 - 0.05 g/g för mängd olika material, (se Tewarson, Fire Protection Engineering Handbook, First Edition 1, 1-186).

Scenario 1)

Vi beräknar gaskoncentrationerna vid 6 min och 50 m från loket.

Följaktligen blir $\tau = 6 \cdot 60 - 50/1 = 310$ sek.

Ekv (1) ger då att $Q(310)=0.1875 \cdot 310^2=18\,019$ kW.

Enligt ekv (A4) blir då syrekonzentrationen lika med

$$X_{O_2}(360,50) = \left[0.2095 - \frac{18019 \cdot 29 \cdot \left(0.2095 \frac{32}{29} + 3.5 \right)}{30000 \cdot 32 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 50} \right] \cdot 100 = 17.6\%$$

och CO₂ blir lika med (ekv (A5))

$$X_{CO_2}(360,50) = \left[\frac{18019 \cdot (1 + 3.5)}{30000 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 50} \right] \cdot 100 = 4.5\%$$

och CO blir lika med (ekv (A6)) förutsatt att $Y_{CO}=0.05$ g/g

$$X_{CO}(360,50) = \left[0.05 \frac{29 \cdot 18019}{28 \cdot 30000 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 50} \right] \cdot 1E6 = 518 \text{ ppm}$$

Denna miljö är inte kritisk för de utrymmande. Om vi hade haft en 90 m² dubbelspårstunnel så hade O₂ varit lika med 19.1 %, CO₂=2.5 % och CO=288 ppm. Det visar vilken betydelse tvärsnittsarean har på resultaten.

Scenario 2)

Här undersöker gaskonzentrationer $x=50$ m och $t=10$ minuter.

Följaktligen blir $\tau = 10 \cdot 60 - 50/1 = 550$ sek.

Ekv (3) ger då att $Q(550)=0.012 \cdot 550^2=3630$ kW.

Enligt ekv (A4) blir då syrekonzentrationen lika med

$$X_{O_2}(600,50) = \left[0.2095 - \frac{3630 \cdot 29 \cdot \left(0.2095 \frac{32}{29} + 3.5 \right)}{30000 \cdot 32 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 50} \right] \cdot 100 = 20.3\%$$

och CO₂ blir lika med

$$X_{CO_2}(600,50) = \left[\frac{3630 \cdot (1 + 3.5)}{30000 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 50} \right] \cdot 100 = 0.9\%$$

och CO blir lika med förutsatt att Y_{co}=0.05 g/g

$$X_{CO}(600,50) = \left[0.05 \frac{29 \cdot 3630}{28 \cdot 30000 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 50} \right] \cdot 1E6 = 104 \text{ ppm}$$

Situationen är alltså betydligt mer gynnsam för de utrymmande i det här fallet jämfört med scenario 1).

Scenarion 3)

Om vi antar t=28 minuter och x=300 m så erhåller vi följande resultat:

Följaktligen blir $\tau = 28 \cdot 60 - 300/1 = 1380$ sek.

Ekv (3) ger då att $Q(1380) = 0.012 \cdot 1380^2 = 22852$ kW.

Enligt ekv (A4-6) blir koncentrationerna lika med

$$X_{O_2}(1680,300) = 16.7\%$$

$$X_{CO_2}(1680,300) = 5.7\%$$

$$X_{CO}(1680,300) = 657 \text{ ppm}$$

Förhållandena har börjat bli mycket besvärliga för de utrymmande. Det tar tid innan situation blir kritisk.

Beräkning av röktäthet och siktlängd

Siktlängden i röken kan beräknas genom att anta att andelen rök som bildas per gram bränsle är relativt konstant under branden. Rökkoncentrationen, C_s

(kg/m³) som funktion av tid och avstånd kan då beräknas med hjälp av följande ekvation:

$$C_s(t, x) = Y_s \frac{Q(\tau)}{\Delta H u A} \quad (A7)$$

där Y_s är andelen rök som bildas per g bränsle som förbränns (se Tewarson, Fire Protection Engineering Handbook, First Edition, 1-186) och $\tau = t - \frac{x}{u}$.

Y_s kan i många fall antas till 9% (g rök/g bränsle). Det finns även möjlighet att uttrycka C_s i siktlängd med hjälp av följande ekvation:

$$S(t, x) = e^{(0.257 - 0.898 \ln(3300 C_s))} \quad (A8)$$

Denna ekvation ger siktlängden i meter på olika avstånd inne i tunneln vid olika tidpunkter. Den har tagits fram med hjälp av diagrammet i Tewarson, sid 1-194, där vi har dragit en representativ linje genom en skara datapunkter för olika ljuskällor.

Scenario 1)

$t = 6$ min och $x = 50$ m.

Följaktligen blir $\tau = 6 \cdot 60 - 50/1 = 310$ sek.

Ekv (1) ger då att $Q(310) = 0.1875 \cdot 310^2 = 18\,019$ kW.

Enligt ekv (A7) blir då röktätheten lika med

$$C_s(360, 50) = 0.09 \cdot \frac{18019}{30000 \cdot 1 \cdot 50} = 0.0011 \text{ kg / m}^3$$

och siktlängden i röken (ekv A8):

$$S(360, 50) = 0.4 \text{ m}$$

Sikten är väldigt dålig efter 6 minuter och 50 m från tåget. I vanliga byggnader anger man 10 m siktlängd som kritisk gräns. Frågan är då hur

långt borta måste man ha hunnit för att inte hamna i tjockare rök än 10 m?
Genom att använda ekv (A8), sedan (A7) och sedan ekv (1) kan vi räkna
avståndet x genom att utnyttja sambandet $\tau = t - \frac{x}{u}$ där $t=360$ s och $u=1$
m/s.

Svaret blir $x= 307$ m vid tiden 360 s. Det innebär att alla passagerare måste
ha tagit sig 307 m på 360 s om de börjar utrymning modelbart. Det innebär
en medel gånghastighet på 0.85 m/s.

Scenario 2)

$x= 50$ m och $t=10$ minuter.

Ekv (3) ger då att $Q(550)=0.012 \cdot 550^2=3630$ kW.

Enligt ekv (A7) blir då röktätheten lika med

$$C_s(600,50) = 0.09 \cdot \frac{3630}{30000 \cdot 1 \cdot 50} = 0.0002 \text{ kg} / \text{m}^3$$

och siktlängden i röken

$$S(600,50) = 0.9 \text{ m}$$

Hur långt måste passagerarna hinna på 10 minuter innan de underskrider 10 m
siktlängd?

Svaret är $x=392$ m på 600 sek. Medelhastigheten blir då 0.65 m/s.

Scenario 3)

Om $x=300$ och $t=28$ min:

Följaktligen blir $\tau = 28 \cdot 60 - 300/1 = 1380$ sek.

Ekv (1) ger då att $Q(1380)=22852$ kW.

Enligt ekv (A7) blir då röktätheten lika med

$$C_s(1680,300) = 0.09 \cdot \frac{22852}{30000 \cdot 1 \cdot 50} = 0.0014 \text{ kg} / \text{m}^3$$

och siktlängden i röken (ekv A8):

$$S(1680,300) = 0.3m$$

Appendix B Beskrivning av modell för utrymning och toxisk påverkan på människan

Modellen som används för att bland annat avgöra hur långt passagerare som utrymmer tåget hinner baseras på de förutsättningar som anges i avsnitt 4.4 (sid 34). Det innebär i korthet att personer utrymmer tåget i grupper och att förhållandena som beräknas gäller som ett medelvärde för hela gruppen. Indata till utrymningsmodellen är en beskrivning av de lokala förhållandena i tunneln orsakade av branden. Med lokala innebär att förhållandena bestäms för den plats gruppen befinner sig på vid beräkningen. De miljöparametrar som beräknas och som används som indata är

- temperatur i röken
- koncentration av koloxid
- koncentration av koldioxid
- koncentration av syre
- koncentration av rökpartiklar
- siktsträcka

Allteftersom gruppen rör sig i tunneln utsätts den för påverkan från branden. Effekten av branden bygger upp en dos av miljöparametrarna som i vissa fall uppnår en kritisk nivå. Denna kritiska nivå kan exempelvis utgöra gräns för medvetlöshet. Om en kritisk gräns överskrids kan det få till följd att gruppen inte längre kan fortsätta sin utrymning. Beräkning av exponering baseras på beskrivningen i Purser (1995). När gruppen nått nivån för medvetlöshet kommer fortsatt ackumulering av giftiga gaser att ske tills personerna i gruppen når den kritiska nivån för dödliga förhållanden.

Modellen beskriver således tidsförloppet under utrymningen för de grupper som utrymmer. Beräkningen sker i tidssteg om vardera 30 sekunder. För varje tidssteg adderas den fraktionsdos av till exempel koloxidpåverkan som erhålls under tidssteget till den dittills erhållna dosen. Doserna ackumuleras hela tiden tills något gränsvärde eventuellt uppnås.

Algoritm

En förenklad beräkningsgång har följande struktur vilken upprepas för varje tidssteg och för varje grupp.

Inledning

För grupp 1 och tidssteg 1. Tidsstegets längd betecknas med t och skall vara angiven i minuter.

Exponering

Beräkna brandeffekt för aktuell plats och tidpunkt. Tidpunkten beaktar beslut och reaktionstid.

Beräkna röktemperatur för aktuell plats och tidpunkt.

Beräkna gaskoncentrationer (CO , CO_2 , O_2) och partikelkoncentration för aktuell plats och tidpunkt.

Påverkan till medvetslöshet

Beräkna fraktionsdos för medvetslöshet för CO , CO_2 , O_2 , temperatur: F_{CO} , F_{CO_2} , F_{O_2} , F_{temp} .

$$F_{\text{CO}} = \frac{K(\text{koncCO}^{1,036})t}{30}$$

med kritisk karboxylhemoglobinhalt på 30 % och

$$K = 8,2925 \cdot 10^{-4}$$

$$F_{\text{CO}_2} = \frac{1}{e^{(6,1623 - 0,5189 \text{koncCO}_2)} t}$$

$$F_{\text{O}_2} = \frac{1}{e^{8,13 - 0,54(20,9 - \text{koncO}_2)} t}$$

$$F_{\text{temp}} = \frac{1}{e^{5,18 - 0,0273T}} t \text{ om röktemperaturen är över } 37 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Beräkna total fraktionsdos för medvetslöshet (FID) för CO kombinerat med korrigerig för förhöjd andningsfrekvens orsakad av inandning av CO_2 , V_{CO_2} . Sänkt syrehalt bidrar också till dosen.

$$FID = F_{\text{CO}} \cdot V_{\text{CO}_2} + F_{\text{O}_2}$$

med

$$V_{CO_2} = \frac{e^{2,0004+0,1903 \text{ konc} CO_2}}{7,1}$$

Gånghastighet

Beräkna siktsträckan och bestäm gånghastigheten, figur 10. Beräkna förflyttningssträcka till nästa tidssteg såvida inte medvetslöshet inträffat.

Påverkan till dödliga förhållanden

Beräkna fraktionsdos av för dödliga förhållanden för CO.

$$F_{LCO} = \frac{K(\text{konc} CO^{1,036})t}{50}$$

med kritisk karboxylhemoglobinhalt på 50 % och

$K = 8,2925 \cdot 10^{-4}$ om gruppen är vid medvetande och

$K = 1,99 \cdot 10^{-4}$ om gruppen är medvetslös

Beräkna total fraktionsdos för dödliga förhållanden (*FLD*) för CO kombinerat med korrigerig för förhöjd andningsfrekvens orsakad av inandning av CO_2 , V_{CO_2} . Sänkt syrehalt bidrar också till dosen.

$$FLD = F_{LCO} \cdot V_{CO_2} + F_{O_2}$$

Om syrenehållet i röken understiget 8,7 vol% medför detta akut dödligt förhållande.

Lagring av ackumulerade värden

Beräkna ackumulerad

- FID
- F_{temp}
- Partikeldos
- F_{CO_2}

- *FLD*
- Gångsträcka

Kontrollera om medvetslöshet inträffat. Det leder i så fall till lägre andningsfrekvens samt att gångsträckan förblir konstant, det vill säga den ackumuleras inte mer. När medvetslöshet inträffar antas en sänkt andningsfrekvens på grund av att gruppen befinner sig i vila. Medvetslöshet inträffar om

- $FID > 1,0$
- Ackumulerad dos: $F_{temp} > 1,0$
- Ackumulerad dos: $F_{CO_2} > 1,0$

Upprepa för följande grupper.

Upprepa för alla följande tidssteg (normalt 240 tidssteg det vill säga 120 minuter).

Appendix C Vad klarar en räddningsinsats att genomföra vid en brand i en tunnel, en övningsrapport

Syftet med övningarna

Övningarna genomfördes med tre syften. Det främsta var att studera problemen, Bergqvist (1998), vid räddningsinsatser i tunnlar, det andra var att få fram underlag för att fastställa en räddningsinsats kapacitet och det tredje var att skapa ett verktyg för att kunna utvärdera en insats.

Målsättning med övningarna

Verifiera de problem som tidigare har diskuterats med räddningsinsatser i tunnlar och börja få fram underlag för att veta kapaciteten på en räddningsinsats. Slutligen också börja få in underlag för att skapa ett utvärderingsverktyg för denna typ av räddningsinsatser.

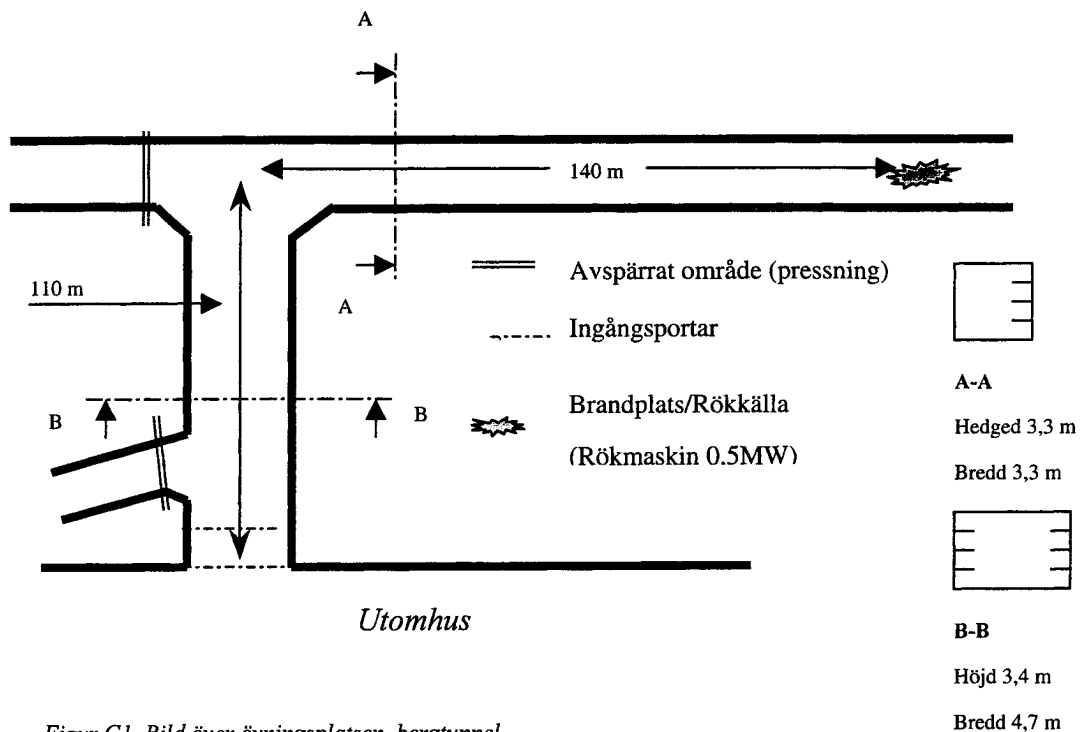
Avgränsningar

Övning nr 1 bedrevs endast med två operativa släckstationer och två stycken operativa ledningsenheter ifrån Stockholms brandförsvaret. Övning nummer 2 bedrevs med en operativ släckstation ifrån Stockholms brandförsvaret. En verklig räddningsinsats av detta slaget skulle normalt från grunden involvera minst tre stycken operativa släckstationer, med möjligheter till ytterligare avlösningar vid behov.

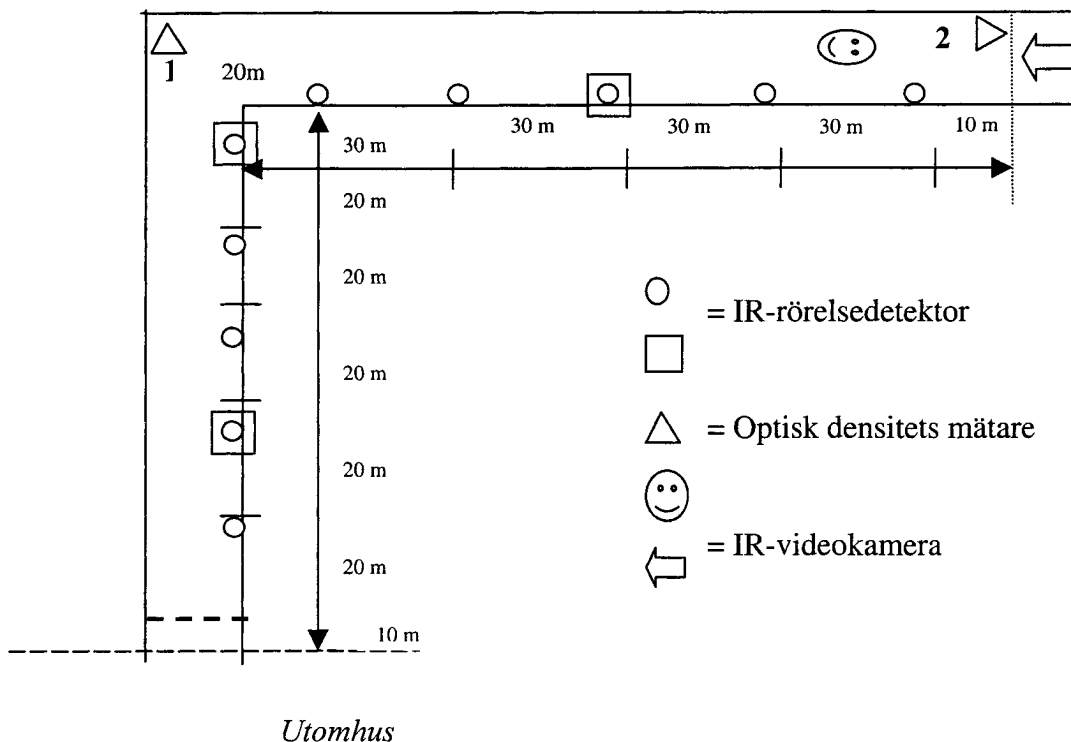
Under övning 2 testades endast hur räddningsstyrkornas kapacitet blir med slangutläggning och slangdragningen som enda belastande faktor.

Övningsplatsen

Övningsplatsen var belägen i en bergtunnel i centrala Stockholm. Tunnelgolvet är asfalterat de första 135 metrarna. Efter detta är underlaget grov makadam. De första 60 metrarna är svagt nedåtlutande, se figur C1.



Inför övning nummer 1 utrustades tunneln med 10 stycken infraröda rörelsedetektorer för att kunna utvärdera rökdykarnas förflyttningar i tunneln, med 2 stycken optiska densitetsmätare för att få en uppfattning om tätheten på röken, 2 stycken infraröda värmekameror, en attrapp av en människa, en rökgenerator och en fläkt för att kunna styra flödet på röken, se figur C2.



Övningens genomförande

Övning nummer 1

Övningen genomfördes som en tillämpad övning, det vill säga att räddningsstyrkorna larmades till platsen och genomförde insatsen som en normal räddningsinsats. Informationen till brandpersonalen före övningen var endast inriktad på att en övning skulle genomföras och vid vilken tidpunkt som övningen var planerad att genomföras.

Tabell C1 Räddningsenheterna ifrån Stockholms brandförsvaret som deltog i övningen var följande enheter.

Enhetens namn	Enhetens karaktär	Enhetens bemanning
SDA 102	Ledningsfordon	Vakthavande brandingenjör Ledningsoperatör
SDA 103	Ledningsfordon	Överbrandmästare Ledningsoperatör
SDA 131	Släckbil	Brandförman Brandmän, 3 stycken
SDA 132	Stegbil	Brandförman Brandman
SDA 133	Räddningsbil	Brandmästare Brandmän, 2 stycken
SDA 171	Släckbil	Brandförman Brandmän, 3 stycken
SDA 172	Stegbil	Brandförman Brandman
SDA 173	Räddningsbil	Brandmästare Brandmän, 2 stycken
Totalt	Släckenheter 2 stycken Räddningsenheter 2 stycken Stegenheter 2 stycken Ledningsenheter 2 stycken	Brandmän 12 stycken Brandförmän 4 stycken Brandmästare 2 stycken Överbrandmästare 1 stycken Vakthavande brandingenjör Ledningsoperatör 2 stycken Summa: 22 personer

På övningsplatsen var representanter ifrån Stockholms brandförsvaret, Telia, Frijo och Brandskyddslaget. Dessa parter deltog i övningen som övningsledare.

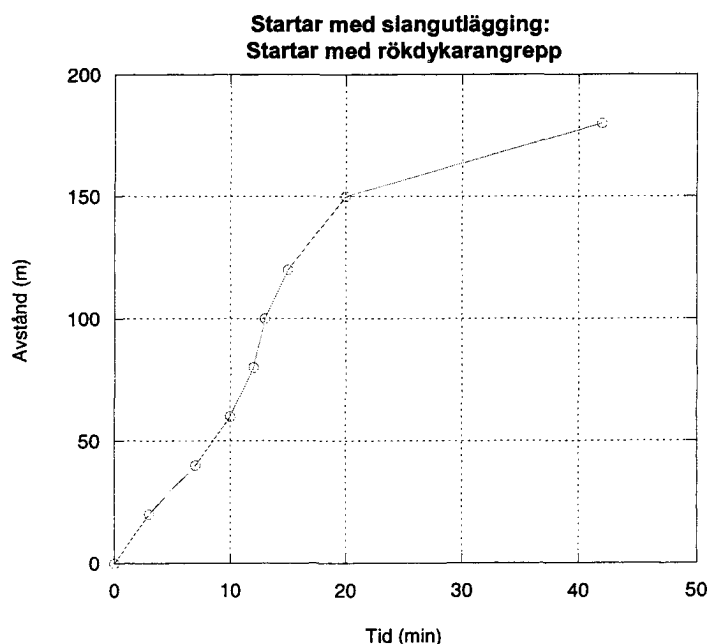
Övningen inleddes med att personal ifrån Frijo larmade Stockholms brandförsvaret om en inträffad brand i en kabeltunnel. Scenariot för övningen var att 2 stycken av Frijos personal hade varit nere i tunneln för att undersöka ett larm om en felindikation. Vid denna undersökning upptäcktes en kraftig rökutveckling varpå dessa två skyndsamt försökte utrymma ur tunneln, men endast en av dem lyckades ta sig ut.

Brandförsvaret larmades till platsen via SOS alarm och mötte på olycksplatsen den av de drabbade som larmat, se tabell C1 och C2.

Räddningsinsatsen påbörjades och den saknade personen hittades slutligen. Efter att personen hittats avslutades övningen.

Tabell C2 Övningens genomförande.

Tidpunkt	Händelse	Tidsförlopp
20.11	Första enhet på plats. Den larmade förhörs på uppgifter.	0
20.25	Räddningsledare, skadeplatschef och chef över KT rådgör över situation.	14 min
20.28	Vattenförsörjningssystem börjas byggas upp.	17 min
20.37	1:a Rökdykargruppen påbörjar inträngning i tunnel.	26 min
20.40	1:a Rökdykargruppen har avancerat 20 meter in i tunneln.	29 min
20.44	1:a Rökdykargruppen har avancerat 40 meter in i tunneln.	33 min
20.47	1:a Rökdykargruppen har avancerat 60 meter in i tunneln.	36 min
20.49	1:a Rökdykargruppen har avancerat 80 meter in i tunneln.	38 min
20.50	1:a Rökdykargruppen tappar radiokommunikation med rökdykarledare. 1:a Rökdykargruppen har avancerat 100 meter in i tunneln.	39 min
20.52	1:a Rökdykargruppen har avancerat 120 meter in i tunneln.	41 min
20.57	Rökdykargruppen har avancerat 150 meter in i tunneln.	46 min
21.00	Anläggningsägares representant anländer till olycksplatsen.	49 min
21.19	Rökdykargruppen har avancerat 180 meter in i tunneln.	68 min
21.25	Rökdykarledare vill avbryta insatsen på grund av stora osäkerheter med riskerna som personalen utsätts för.	74 min
21.29	Den saknade personen hittas.	78 min
21.50	Övningen avbryts.	99 min



Figur C3. Förflyttning i tunnel med rök, utan slandraining

Övning nummer 2

Övningen genomfördes som en formell övning, det vill säga att räddningsstyrkorna endast övade vissa moment i en räddningsinsats. Styrkorna larmades ej till platsen utan fick genomgång på platsen vid framkomst och övningen startade därefter.

Brandpersonalen var informerad om syftet och målsättningen med övningen. De visste att det var frågan om att testa deras förmåga att avancera in i ett utrymme utan rök och endast att slangen skulle vara den belastning.

Tabell C3 Räddningsenheterna ifrån Stockholms brandförsvaret som deltog i övningen var följande enheter.

Enhetens namn	Enhetens karaktär	Enhetens bemanning
SDA 131	Släckbil	Brandförman Brandmän, 3 stycken
SDA 132	Stegbil	Brandförman Brandman
SDA 133	Räddningsbil	Brandmästare Brandmän, 2 stycken
Totalt	Släckenheter 1 stycken Räddningsenheter 1 stycken Stegenheter 1 stycken	Brandmän 6 stycken Brandförmän 2 stycken Brandmästare 1 stycken Summa: 9 personer

På övningsplatsen var representanter ifrån Stockholms brandförsvaret, se tabell C3 och C4 och Frijo. Dessa parter deltog i övningen som övningsledare.

Övningen inleddes med att räddningsstyrkorna fick order på övningsplatsen. Styrkorna var medvetna om syftet med övningen och det endast skulle testa hur slangdragningen påverkar möjligheterna och hastigheten på rökdykarangreppet.

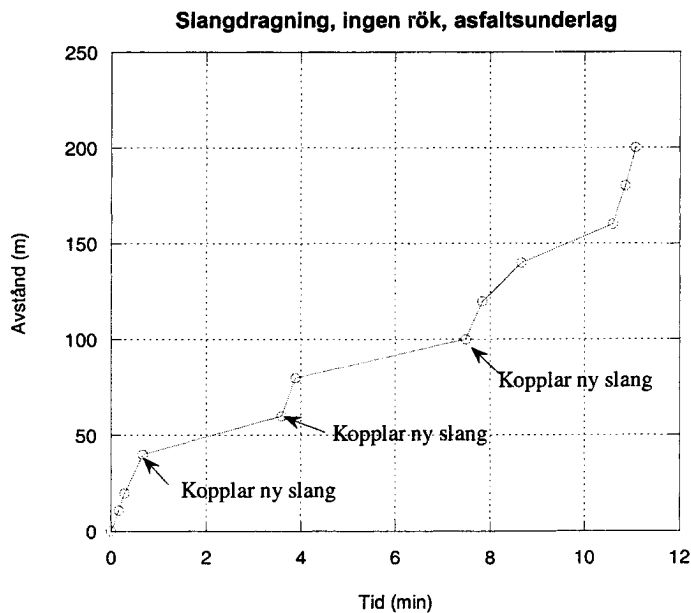
Övningen avslutades då rökdykarna ej kunde avancera längre fram.

Hela rökdykarangreppet genomfördes med tre stycken rökdykarpar och två stycken rökdykarledare.

Temperaturen i tunneln är +16°C.

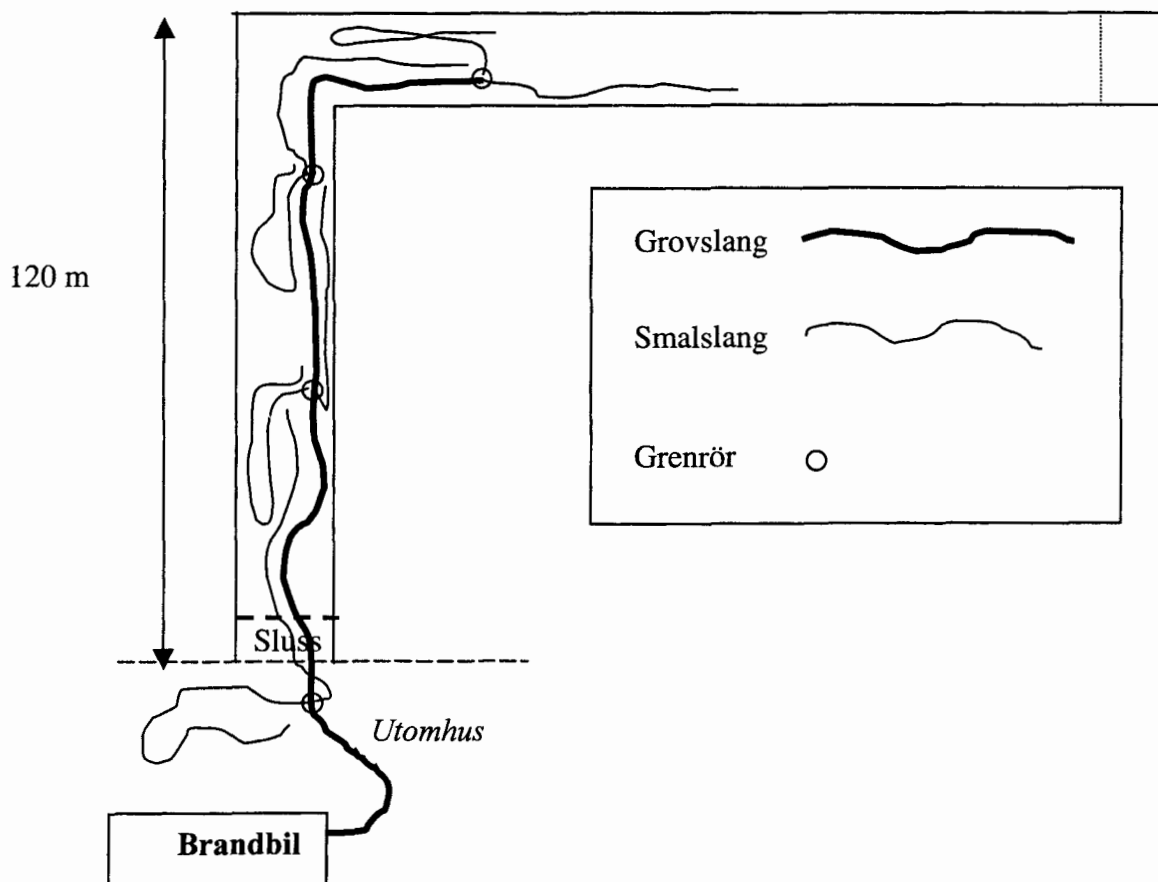
Tabell C4 Övningens genomförande.

Tidpunkt	Händelse	Tidsförlopp
19.06	Enheterna på plats. Den larmade förhörs på uppgifter.	0
19.07	Slangutläggningen påbörjas	1 min
19.17	Inträngningen med rökdykare i tunneln påbörjas, 0 meter.	11 min
19.17.10	11 m	11.10 min
19.17.17	20 m	11.17 min
19.17.40	40 m Stannar vid 40 meter. Kopplar ny slang. Fortsätter framåt + 3.20 minuter	11.40 min
19.20.35	60 m	14.35 min
19.20.53	80 m Stannar vid 90 meter. Kopplar ny slang. Fortsätter framåt + 7.20 minuter	14.53 min
19.24.29	100 m	18.29 min
19.24.50	120 m Stannar vid 135 meter. Kopplar ny slang. Fortsätter framåt vid +8.35 minuter.	18.50 min
19.25.40	140 m	19.40 min
19.27.36	160 m	21.36 min
19.27.52	180 m	21.52 min
19.28.05	200 m Övningen avbryts.	22.05 min



Figur C4. Förflyttning i tunnel utan rök, med slangdragning

Under övningen provades ett annorlunda sätt att lägga ut slang, se figur C5. Detta slangutläggningssystem gick ut på att en rökdykargrupp avancerade in 50 meter i tunneln. Dessa förde med sig vattenfylld smalslang med strålrör, ytterligare 50 meter grovslang som lades ut ej vattenfylld och ett grenrör. Efter 50 meter stannade de och kopplade grenröret till grovslangen, samtidigt som ytterligare en rökdykargrupp, nummer 2, avancerade fram till den första. Dessa förde med sig, i slanglådor, 100 meter smalslang, 50 meter grovslang, ett grenrör och två strålrör. Framme vid den första rökdykargruppen kopplade de på sin utrustning, en slang till första gruppen och sedan avancerar de fram ytterligare 50 meter på motsvarande sätt som första rökdykargruppen gjorde. Samtidigt börjar en tredje rökdykargrupp avancera fram mot den andra gruppen 100 meter in i tunnel. Den tredje gruppen avancerar fram på motsvarande sätt som den andra gruppen gjorde och med samma utrustning. Innebörden av detta sätt att avancera fram är att det finns skyddsgrupper varje 50 meter och att man får en mycket snabb framryckning, se figur C4, in i tunneln.

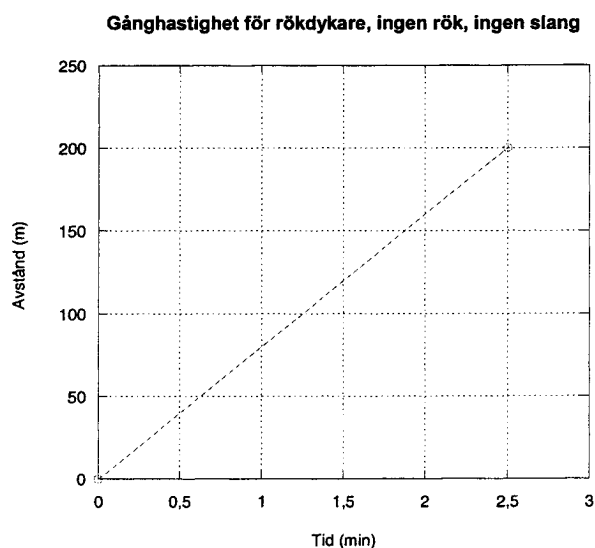


Figur C5 Slangsystem vid rökdykarinsatsen

Övning nummer 3

Övningen genomfördes med syfte att fungera som en referens till de båda andra övningarna. Övningen genomfördes som en formell övning där målsättningen var att få fram vilken förflyttningshastighet en rökdykargrupp har vid en förflyttning i tunneln utan någon belastning, förutom den personliga skyddsutrustningen.

Tiden för rökdykarparet att förflytta sig 200 meter in i tunneln var 2 minuter och 30 sekunder. Förflyttningen genomfördes med en gånghastighet på 1,3 m/s, se figur C6.



Figur C6 Förflyttning i tunnel utan rök, utan slandragnin

Utvärderingen av övning 1

1. Utvärdering baserad på insamlade värden och data av utrustningen i tunneln
2. Utvärdering till följd av observationer utförda av personal på övningsplatsen
3. Utvärdering baserad på intervjuer med den övade personalen.

Utvärdering baserad på insamlade värden av utrustningen i tunneln

Utrustningen som användes i tunnel var IR-detektorer för att rörelsen i tunnel, optiska densitetsmätare för att påvisa sikten genom röken, upptagning av samtlig radiokommunikation på rökdykarfrekvenserna och värmekamera för att synligt dokumentera rökdykargrupperna i tunneln.

IR-detektorerna placerades på 20 meters avstånd ifrån tunnelöppning, 40 meters avstånd, 60 meters avstånd, 80 meters avstånd, 100 meters avstånd, 120 meters avstånd, 150 meters avstånd, 180 meters avstånd, 210 meters avstånd och 240 meters avstånd ifrån tunnelöppningen.

Översätter man dessa uppgifter till mer hanterlig form så kommer man fram till följande utfall vad gäller hastigheten på rökdykargrupperna i tunneln.

Tabell C5 Hastigheten för rökdykarinsatsen

Inträngningsavstånd	Tid för denna inträngning
20 meter	3 minuter
40 meter	7 minuter
60 meter	10 minuter
80 meter	12 minuter
100 meter	13 minuter
120 meter	15 minuter
150 meter	20 minuter
180 meter	42 minuter
200 meter	-----

När man gör studier av detta slaget är det alltid svårt att fastställa vad som har påverkat resultatet. I denna studie utförde vi också mätningar över siktbarheten i tunneln. För att genomföra detta placerade vi optiska densitetsmätare för att påvisa sikten genom röken.

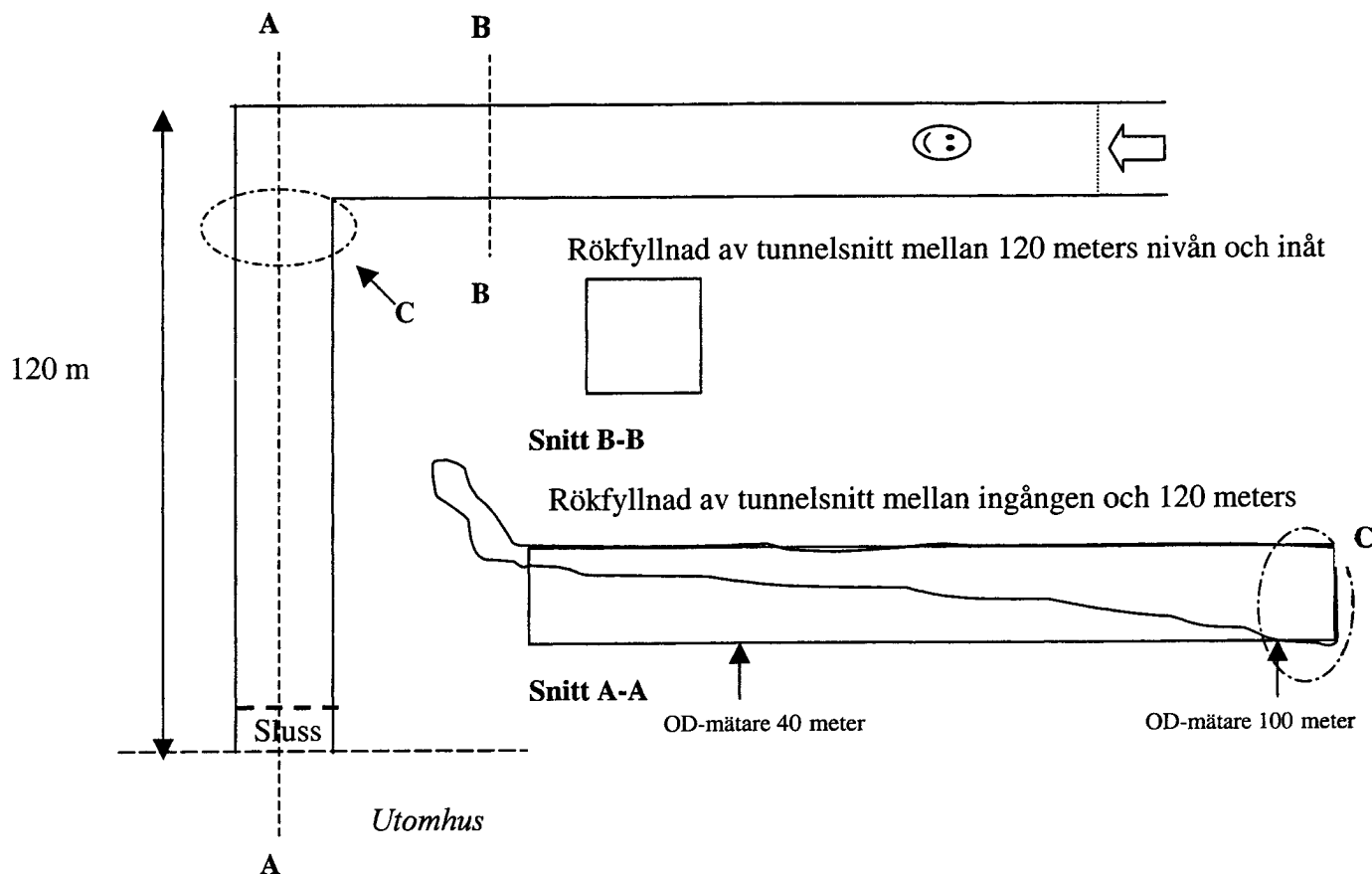
Dessa mätningar påvisar att röken först blev tät mellan 100 meters nivån och 180 meters nivån. Detta bekräftats också av de visuella observationer som utfördes under studien.

Resultatet av dessa mätningar gör gällande att tätheten på röken blir kraftig först efter det att man passerat förbi kröken på tunneln, cirka 110 meter in i tunneln.

Utvärdering till följd av observationer utförda av personal på övningsplatsen

Denna utvärdering baseras på observationer som gjorts av George Sundqvist, Håkan Ragell, Anders Bergqvist och Kjell Hasselrot under övningen.

Rökens uppträdande under övningen observerades och det framkom väldigt klart att röken först började att totalt fylla tunneltvärsnittet vid en punkt strax innan det att tunnel svänger åt höger, mellan 100 – 120 meter ifrån ingången, område benämnt som C. Observationerna kan åskådliggöras med följande bild. Denna rökfyllnad var aktuell under större delen av insatsen.



Figur C7 Observationer av övningsledningen

De observationer som genomfördes utanför tunnel pekade på att det finns en hel rad arbetsmoment som är svåra att genomföra och dåligt inövade vid denna typ av räddningsinsats.

- Vid framkomsten till platsen så möts räddningsenheterna av den person ifrån Frijo som har larmat. Räddningspersonalen får klara och korrekta uppgifter om vad som inträffat och de förses med situationsplan över området. I detta läge uppstår ett "dödläge" där intrycken och uppgifterna måste analyseras. Efter detta ges order om att bygga upp ett vattenförsörjningssystem. Upplevelserna bland insatspersonalen är att man är i ett våldsamt underläge för denna typ av rökdykarinsats.

Frågeställningar som kom upp i detta läge av insatsen var följande:

Vilka resurser måste vi ha ?

Vilka risker är det som föreligger ?

Vilket skydd måste vi ha för rökdykargrupperna ?

Vilken omfattning kommer denna insats att få ?

- 26 minuter efter framkomst så påbörjas det första med rökdykarangreppet med en 1:a rökdykargrupp och ytterliggare en skyddsgrupp som säkerhet.
- Det skall påpekas att rökdykargrupperna endast har vatten påkopplat på den första brandslangen 50 meter in i tunneln. Efter detta så drog man med sig grov slang in till ett grenrör 25 meter in i tunneln. Från denna punkt drog man sedan med sig smalslang som man ej vattenfylldde. Senare i insatsen så förlängde man grovslangen ifrån grenröret till ett nytt grenrör 100 meter in i tunneln, men slangen vattenfylldes ej. Rökdykarinsatsen genomfördes alltså utan att ha tillgång till vatten i brandslangen.
- Det bör påpekas att strukturen över slangdragningen är inte genomtänkt och når aldrig behovet över vad som skulle behövas för att hantera vattenförsörjningsproblematiken för denna räddningsinsats.
- 13 minuter efter det att 1:a rökdykargruppen har påbörjat insatsen så försvinner radiokontakten mellan rökdykarledaren, som befinner sig i tunnelöppningen och 1:a rökdykargruppen. Vid detta läget är rökdykargruppen cirka 100 meter in i tunneln.
- Successivt under insatsen avlöses rökdykargrupperna i tunneln med nya rökdykargrupper.
- På utsidan pågår en ständig diskussion mellan de ansvariga befälen om riskerna med rökdykarinsatsen och vad man skall göra för att minimera dessa risker.
- 38 minuter efter det att rökdykarinsatsen påbörjats uttrycker den aktuella rökdykarledaren stor olust över att inte ha någon radiokontakt med sina rökdykare och påpekar att rökdykarinsatsen bör avbrytas.
- I detta läget diskuteras om man inte borde göra reträtt på alla rökdykargrupper och börja om från början med högre säkerhet än vad som är aktuellt vid det pågående angreppet. I detta läget vill man starta om rökdykarinsatsen från början. Det nya rökdykarangreppet måste få en bättre struktur innan det påbörjas. Rökdykarinsatsen måste planeras bättre, det måste bli ett bättre skydd för rökdykargrupperna, det måste finnas en fungerande kommunikationsutrustning och nya utvilade rökdykare måste sättas in.
- Strax efter detta kommer det besked att den saknade personen hittats och man håller på att ta ut personen.
- Övningen avslutas.

Under övningen visade det sig att det är svårt att hantera denna komplexa räddningsinsats på det oplanerat och oförberett sätt som blev aktuellt vid denna övning.

Rent säkerhetsmässigt visade det sig under insatsen att personalen ej reagerar på en drastisk eller oväntad försämring av förhållandena inne i

tunneln. Exempelvis på detta kan vara en kraftig temperaturökning i brandgaserna eller att rökdykarledaren tappar sambandet med rökdykarna.

Slutligen påpekas det att hela rökdykarinsatsen gjordes möjlig genom att den byggde på en hög riskfaktor för rökdykarna.

Utvärdering baserad på intervjuer med den övade personalen

Denna utvärdering baseras på intervjuer utförda med de övade grupperna i Stockholm brandförsvaret på Johannes, Katarina och Kungsholmens brandstationer.

Under dessa utvärderingar har det kommit fram synpunkter inom många områden. Det som vi anser vara viktigast för målsättningen kommer vi att presentera här.

Vid utvärderingen så diskuterades om detta är en räddningsinsats som verkligen skulle genomförts på beskrivet sätt.

Är det verkligen rimligt att skicka in rökdykargrupper i en okänd miljö med små uppfattningar om de risker som kan vara aktuella ?

Genomförs ändå en rökdykarinsats i denna miljö, så skulle ett 100% radiosamband vara ett krav för att insatsen ej skulle avbrytas. Samma sak gäller vattenförsörjningen. Det bör vara ett rimligt personligt krav för alla rökdykare att de tar med sig vattenfylld slang under denna typ av insatser.

Vattenförsörjningen var en sak som diskuterades livligt. Den typ av vattenförsörjningssystemet som används idag är ej anpassat för denna typ av långa insatser i rökfylld miljö.

Vid framkomst fick insatspersonalen mycket information ifrån objektssakkunnig personal och en situationsplan över objektet. Fastän detta fungerade väl så påvisade rökdykarna att man hade svårt med få klart för sig vilka avstånd som var aktuella nere i tunneln.

Varje släckenhet i Stockholms brandförsvaret har tillgång till luftflaskor med betydligt större luftmängd än vad som finns i de luftflaskor som normalt används vid rökdykning. Dessa större flaskor användes aldrig utan de fanns kvar på bilarna under hela insatsen.

Radiokommunikationen vid denna typ av räddningsinsatser är svår att få att fungera. Det påpekas att crossbandrepeatrarna som finns på ledningsfordonen ej är fältmässiga. Det framkommer att man egentligen borde ha avbrutit insatsen när radiokontakten försvann mellan rökdykarledare och rökdykargrupp.

Man påpekar att det var svåra siktförhållanden nere i tunneln.

Aktionstiden på en rökdykarinsats

Aktionstiden för normala rökdykare begränsas totalt av lufttillgången i deras luftflaskor. Normala luftflaskor för rökdykare innehåller luft, 2400 liter, för en insats som pågår i ungefär 30 minuter. 30 minuters aktionstid bygger på en medelandning på 80 liter per minut. Andningen styrs till mycket stor del av den belastning som rökdykarna utsätter sig för, vilket innebär att denna siffra är en teoretisk förenkling.

Förflyttningen in i ett utrymme som är rökfyllt innebär att rökdykarna normalt måste kunna ta sig tillbaka samma väg som de gick in. Detta innebär att den maximala förflyttningstiden som de kan använda sig av är på cirka 15 minuter. För att behålla hög säkerhet på dessa arbeten finns det en regel att man aldrig skall planera att arbeta på reservluften, 240 liter, som finns i utrustningen. Detta innebär att man förkortar aktionstiden med cirka 10%.

Förflyttningstiden in i tunneln kan förenklat sägas vara maximalt 13.5 minuter. Denna tid är också en kraftig förenkling då den bland annat styrs av belastningen som rökdykarna utsätter sig för. Denna belastning kan kraftigt ökas om man hittar en skadad inne i tunneln och måste bära ut människan. Den kan å andra sidan minska reträttiden, då orienteringen för att hitta rätt väg tillbaka förenklas då man följer den utlagda brandslangen.

Summering av övningarna

Övningarna och studien genomfördes i syfte att studera problemen med räddningsinsatser i tunnlar, försöka få fram ett underlag för att fastställa kapaciteten på en räddningsinsats vid en brand i en tunnel och få fram ett verktyg för att utvärdera en räddningsinsatser.

Denna studie verkar vara ensam inom området brand i tunnlar. Författarna har efterforskat efter liknande studier, men har inte funnit något som har genomförts och dokumenterats.

Övningarnas relevans

Metoden med att dokumentera rökdykarangreppets förflyttningshastighet och att använda brandpersonal i Stockholms brandförsvaret har flera syften. Det viktigaste skälet är att författarna saknar uppgifter om hur långt in i en tunnel en rökdykarinsats verkligen i praktiken kan avancera. Avstånd tillsammans med hastigheten för att genomföra denna förflyttning ger oss en uppfattning om vilka möjligheter som räddningstjänsten har att genomföra ett snabbt, säkert och effektivt angrepp vid en brand i en tunnel.

Att använda Stockholms brandförsvaret med dess stora personalresurs blev följden av att det var detta brandförsvaret som var möjliga att använda för att genomföra denna övning. Storlek på räddningsstyrka inte är riktigt applicerbart på resten av Sveriges räddningstjänster. Detta är uppmärksammat av författarna och den slutsats som kan dras av detta faktum är att snabbare och mer effektivt än dessa övningsinsatser torde inte

de flesta andra räddningstjänster i Sverige kunna hantera motsvarande problem.

Problemen som övningarna påvisade

Problemen som uppstod vid övningen bekräftar att problemen i förstudien, Bergqvist (1998) blev aktuella vid denna räddningsinsats.

Tunnlarna har nästan alltid begränsade utrymningsmöjligheter och detta var fallet vid övning 1. Olyckan inträffade när två personer ifrån Frijo skulle gå ner i tunneln för att undersöka ett fellarm. De två överraskades av röken nere i tunneln och försökte utrymma. Då avstånden till närmaste utgång var flera hundra meter medförde detta att endast en person lyckade ta sig ut och en av dem blev kvar inne i tunneln.

Vid framkomsten till olycksplatsen vid övning 1 möte en person ifrån Frijo brandpersonalen och försåg dem med en översiktsplan över objektet och en god kännedom om objektet. Fastän att det ansvariga brandbefälet får denna information så har han mycket svårt att få en uppfattning om objektet och de avstånd på tunneln som var aktuella. Detta påvisar att tunnlar är komplicerade objekt där olyckan blir mycket svåröverskådlig vid brand. Detta skiljer sig emot andra objekt, såsom normala byggnader och villor, där det är mycket enklare att skapa sig en bild av förhållanden på en olycksplats. Detta visar sig mycket enkelt genom att det tog räddningsstyrkan 26 minuter ifrån framkomsten till skadeplatsen till dessa att rökdykarangreppet påbörjades. Vid övning 2 så fanns inte momentet med en okänd olycksplats. Detta medförde att tiden mellan framkomst till att rökdykarinsatsen påbörjades var 11 minuter. Ingen gång under insatsen framkom någon diskussion om att använda sig av eventuella alternativa angreppsvägar som skulle kunna förändrat förutsättningarna för en räddningsinsats. Detta är troligen en indikation på hur komplicerad skadeplatsen är.

Då räddningstjänsten kom fram till olycksplatsen på första övningen, så var tunneln fylld med rök. Då räddningstjänsten inte hade några möjligheter att kunna kontrollera spridningen av röken så var de tvungna att genomföra ett rökdykarangrepp i syfte att försöka livrädda den saknade personen. Detta rökdykarangrepp medför en lång inträngningsväg in i tunneln. Ett rökdykarangrepp av denna typ måste förgås av riskbedömning av räddningsledaren. Denna riskbedömning visade det sig att brandpersonalen hade svårt att genomföra då de saknade de ingångsvärden som man behöver för att genomföra denna bedömning, ingångsvärden som vid en mer överblickbar skadeplats är tillgänglig. Detta var troligen en del av orsakerna till att starten av rökdykarinsatsen tog 26 minuter efter framkomst.

Räddningsledaren och de övriga befälen arbetade ständigt under insatsen med den löpande riskbedömningen för insatsen. Det var ganska uppenbart att de kände en svårighet att göra denna bedömning. Bedömningen resulterade aldrig i en analys av hållfastheten på berget i tunneln. En del av anledningen till svårigheterna att hantera denna typ av olyckor kan beror på

att det saknas insatsplanering och övning för att hantera räddningsinsatserna.

Räddningstjänstens möjligheter till att kunna kontrollera branden och att kunna hitta ut ur anläggningen bygger på att rökdykarna medför brandslang när de genomför rökdykarangreppet. Under övning 1 så drog rökdykargruppen med sig brandslang, men man inte vattenfylld slangen. Resultatet blev att rökdykarna endast medförde slangen för att kunna hitta ut ur anläggningen. Vid en eventuell ökad brand skulle de inte kunnat bekämpa denna brand och skydda sig under en reträtt ut ur tunneln, då brandvatten saknades. Under andra övningen så var syftet att undersöka rökdykarangreppets möjligheter att förflytta sig i anläggningen med vattenfylld slang, men utan en belastning av att inte kunna se på grund av röken. Det skall påpekas att räddningsinsatsen under andra övningen inte genomfördes på ett oplanerat sätt, utan personalen var förberedda på övningen och hade övat in slangdragningen och en metod för att hantera insatsen.

Kommunikationen på radio under rökdykarinsatsen på första övningen fungerade inte tillfredsställande. Under övningen användes crossbandsrepeater för att kunna säkerställa sambandet under insatsen, men detta fungerade inte tillfredsställande. Efter det att rökdykargrupperna kommit cirka 100 meter in i tunnel så förlorades sambandet mellan rökdykarledaren utanför tunneln och rökdykargrupperna inne i tunneln. Detta skulle egentligen resulterat i att rökdykarinsatsen avbrutits, då det enligt arbetsmiljöföreskrifterna krävs ett radiosamband för att genomföra ett rökdykarangrepp.

38 minuter efter det att rökdykarinsatsen påbörjats så utrycker rökdykarledaren att insatsen måste avbrytas då han känner stor olust över att han inte kan hantera situationen utan att ha ett fungerande samband med sina rökdykare. Under övning 2 så löstes kommunikationen på ett annat sätt. Under denna insats så fungerade samtliga rökdykargrupper i tunneln som länk mellan rökdykarledaren och den rökdykargrupp som befanns sig längre in i tunneln. Denna kommunikationsmetod visade sig fungera tillfredsställande så länge som inte innersta rökdykargruppen befann sig innanför den skarpa 90° svängen innanför område C, se figur 4. Detta borde visa oss att radiokommunikation i tunnlar där man inte kan ha en visuell kontakt på grund av att tunnel kröker sig eller att man befinner sig i olika höjdlägen är omöjlig att genomföra utan att det finns bättre installerade möjligheter för att sköta kommunikationen.

Kapaciteten på en räddningsinsats vid en brand i en tunnel

Vid framkomsten till en skadeplats är den första åtgärden som räddningstjänsten genomför är att göra en snabb orientering och tolka informationen och göra en bedömning av vad som har hänt på olycksplatsen. Efter detta så gör räddningstjänsten en bedömning över vad som är möjligt att genomföra med en räddningsinsats och vilken målsättning

som denna skall ha. När detta är gjort så ges det order till räddningsstyrkan över vad som skall genomföras och sedan sätter räddningsinsatsen igång.

Under övning 1 tog orienteringen och bedömningen på skadeplatsen 26 minuter trots att det var bra förutsättningar, med orienteringsplan och expertkunskap vid framkomsten, för denna orientering och bedömning. Hade inte dessa förutsättningar funnits så skulle tiden var betydligt längre innan rökdykarinsatsen påbörjades. En ovetenskaplig jämförelse mellan de två övningarna påvisar att en förberedelse ger bättre möjligheter att genomföra en effektiv räddningsinsats. Övning nummer 2 visade att tiden för att ge order och förbereda ett rökdykarangrepp då relevant fakta var kända tog 11 minuter. Vid jämförelse mellan övning 1 och övning 2 är tidskillnaden mellan framkomst och starten av rökdykarangreppet 15 minuter. Den stora skillnaden mellan de olika övningarna är att orienterings- och bedömningsmomentet ej fanns vid övning nummer 2. Det bör i detta sammanhang också belysas att denna tunnel inte är att betrakta som varken lång eller komplicerad. Slutsatsen av detta är att tiden för att göra en orientering och en bedömning vid räddningsinsatser vid bränder i tunnlar, ej är att betrakta som tidsmässigt obetydlig.

Övningarna visar oss komplexiteten i att genomföra räddningsinsatser i miljöer av denna typ. Vid dessa övningar fanns inte osäkerhetsmomentet om riskerna som personalen utsätter sig med i underlaget. Detta skulle troligen fördröjt. Vid övningarna finns inte heller någon riktig brand att bekämpa och därmed ingen värme. En hög värmebelastning skulle troligen stoppat alla försök att nå in i tunneln.

Appendix D Räddningstjänstens åsikter om en räddningsinsats vid en brand i en spårtunnel, en enkätundersökning

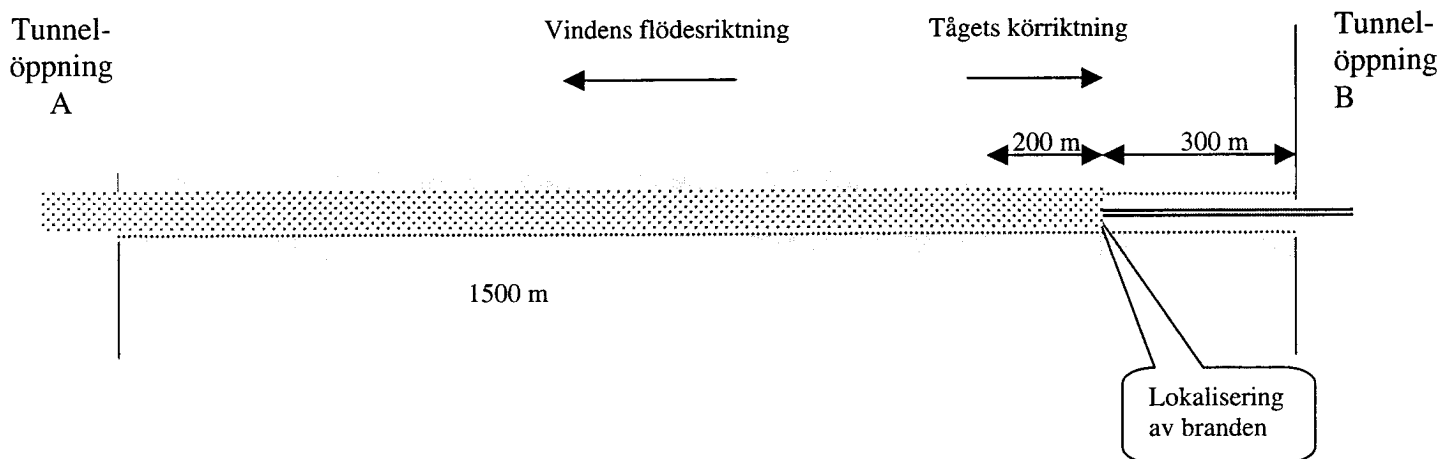
För att få fram ett underlag för hur erfarna räddningsledaren resonerar om räddningsinsatser vid bränder i spårtunnlar genomfördes en mindre enkätundersökning. Undersökningen skickades till ett antal kommuner runt om i Sverige, företrädesvis till de som måste hantera problematiken med bränder i tunnlar. Flertalet av de som svarat kommer ifrån brandförsvaret i Stockholm, då enkäten ställdes till dessa personer direkt. Svaren på enkäten skall endas ses som vägledande i hur räddningsledare inom räddningstjänsten resonerar.

Syftet med enkäten var att få en uppfattning hur erfarna räddningsledare och räddningstjänster runt om i Sverige resonerar i dessa frågor.

Enkätundersökningen, utformades med en förklaring om ett inledande brandscenario och utifrån detta scenario ställdes frågorna.

Scenariot som räddningsledarna får i enkäten ger information om var tåget befinner sig i tunnel, var branden är och vilken vindriktning som råder. Normalt finns inte denna information vid larmtillfället utan får sökas efterhand. Det som räddningstjänsten troligen möter vid en brand är en tunnelöppning där eventuellt rök kommer ut. Det är endast en av svarsgivarna som representerar en liten kommun. Svaren tyder på att det saknas kunskap och erfarenhet hur man skall hantera bränder i tunnlar.

Brandscenario



Figur D1 Skiss över den fiktiva olycksplatsen

Ett passagerartåg med ca 250 passagerare spårar ur inne i en tunnel till följd av främmande föremål på spåret. Tåget stannar med lokets främre del ca 300 m från mynningen. Brand utbryter i loket. Bränsle är oljor och inredningsmaterial i loket. Flödesriktningen på vinden är, på grund av yttre vindpåverkan, då riktad mot tågets tidigare färdriktning. Det betyder att rök från branden sprider sig bakåt över tågets vagnar, se figur D1.

När ni kommer till tunnelöppningen möts ni av rök i övre delen av tunnel, svar på frågeställningar.

Tabell D1 Gruppering av kommuner som svarat

Stor kommun	a, b, c, e, f, g, h
Liten kommun	d,

1. Vilken angreppsväg väljer ni att använda er av (A eller B)?

- a) B, med avseende på vind och angreppsvägens längd.
- b) B, kan då komma närmare branden och släcka för att minska rökspridningen som också blir en indirekt livräddning. Släckning och livräddning.
- c) B, vinden i ryggen och kortast avstånd
- d) B, den hotande branden måste släckas för att minska rökalsstringen
- e) B, för att bekämpa branden och därigenom underlätta livräddningen ifrån tunnelöppning A.
- f) B, på grund av kortare angreppsväg i god miljö. Möjligheter till omfall beroende på om brandintensiteten skulle innebära att det är omöjligt att nå vagnarna.
- g) B, för att inte gå emot röken. A, för att möta folk som kommer denna väg.
- h) B, kortaste angreppsvägen. Snabbt försöka att begränsa och fördröja samt tillintetgöra branden. Vinden i ryggen med tilluftsströmmen.

2. Hur ser er operativa räddningsorganisation ut vid en räddningsinsats av denna typ?

- a) Hög riskmiljö – Larmplan: ledningsnivå 3, initialt 4 stycken rökdykargrupper.. Förstärkningslarm: ytterligare larm efter fler styrkor.
- b) Larmplan: 3 brandstationer à 9 man + två befälsbilar med VBI, ÖBM och 2 LOP. Förstärkningslarm: Efter behov med relativt kort framkörningstid. Förstärkt stabsfunktion med cirka 20 personer.
- c) Larmplan: 3 brandstationer à 9 man + två befälsbilar med VBI, ÖBM och 2 LOP. Förstärkningslarm: Efter behov med relativt kort framkörningstid. Förstärkt stabsfunktion med cirka 20 personer.
- d) Larmplan: 5 brandstationer à 5 man (varav 3 stycken deltid) + en jourhavande räddningschef.
- e) Insats ifrån båda håll, back-up på både A och B för att livrädda.
- f) Larmplan: 3 brandstationer à 6 man + tre befälsbilar med VBI och två insatsledare. Förstärkt stabsfunktion med cirka 20 personer. Förstärkningslarm efter behov med relativt kort framkörningstid.
- g) ----

- h) Rökdykning i hög riskmiljö med långa inträngningsvägar. Organisation stor personolycka. Gul och röd stab. (Stabsberedskapen höjs, författarens anmärkning)

3. Antal personer i insatsstyrkan på skadeplats efter 15 minuter, 30 minuter, 45 minuter och 60 minuter?

Tabell D2 Antalet personer i insatsstyrkan

Tid	a)	b)	c) *	d)	e) ✕	f)	g)	h)
15 min	26	31	31	15		20	16	Svårt
30 min	30	31	31	20		45	29	Att
45 min	40	50	50	26		70	35	Svara
60 min	45-60	50	50			70+	43	På

* Antalet personer på plats är inte avgörande.

■ Okänt med hänsyn till avståndet och övriga insatser.

4. Antalet rökdykargrupper (2 rökdykare + 1 rökdykarledare) ni har att tillgå efter 15 minuter, 30 minuter, 45 minuter och 60 minuter?

Tabell D3 Antalet rökdykargrupper

Tid	a)	b)	c) *	d)	e)	f)	g)	h)
15 min	4	6	6	2	4	3	2	Svårt
30 min	5	6	6	5	-	8	4	Att
45 min	7	10	10	7	-	12	6	Svara
60 min	8-10	10	10	11	-	12+	7	På

* Antalet personer på plats är inte avgörande.

5. Hur lång tid efter framkomst kommer en rökdykarinsats att påbörjas?

- 10 – 20 minuter, beroende på förutsättningar på platsen, tillgång till brandvatten, information, tillgänglighet, m.m.
- En första rekognosering inom 2 minuter. En organiserad längre inträngning inom 5 minuter.
- Ungefär 10 minuter, beroende på vattenförsörjning och möjligen nedfallna elledningar.
- Cirka 30 minuter.
- Cirka 10 minuter.
- 10 minuter, beroende på hur mycket info som finns tillgängligt.
- Eftersom det är rökfritt fram till tåget, på grund av vindriktningen från mynning B, så startar vi en insats omgående ifrån B.
- Cirka 15 minuter. Angreppsväg cirka 300 meter där fordon ej kan framföras. Slang och övrig utrustning måste bäras fram till baspunkten som ligger 200 –250 meter in i tunneln.

6. Hur långt in klarar ni att avancera in i tunneln?

- Initialt 150 meter, begränsade av slangdragningen. Sedan behövs det bygga upp ett annat slangsystem. Detta är ej inövat.
- 150 – 200 meter från den punkt där det blir rökfyllt. Detta stödjer jag på erfarenhet.

- c) Omöjligt att säga. Beror på rökspridning och värmespridning. Osannolikt att vi når 300 meter in i tunneln för att kunna påbörja brandsläckning.
- d) 300 meter enligt AFS. Frågan är var rökdykningen anses börja, vid mynningen eller där röken kräver andningsskydd.
- e) Relativt snabbt de första 150 metrarna. Cirka 300 meter, men betydligt långsammare på grund av slangdragningen.
- f) 0 – 300 meter beroende på rök och värmeutveckling.
- g) Tror inte att det är någon rök här så att det går att avancera fram till tåget utan att behöva passera genom rök.
- h) Väldigt smärtfritt fram till locket/ branden, därefter svårt och långsamt när själva rökdykningen börjar.

7. Med vilken hastighet bedömer ni att rökdykarinsatsen avancerar in i tunneln?

- a) Inledningsvis 1m/s om det finns tillgång till IR-kameror för rökdykarna och om objektet är insatsplanerat. Därefter påverkas hastigheten av slangdragning, hinder, säkerhetsmässig back-up m.m.
- b) 50 m tar 3 minuter upp till 200 m totalt, därefter långsammare för varje meter.
- c) Med mycket låg hastighet om rökdykarreglementet, med skyddsgrupper, skall följas.
- d) Cirka 10 m/min i genomsnitt om slangutläggaren ej används.
- e) 20 minuter ifrån start till 150 meter. 50 minuter ifrån start till 300 meter.
- f) Från promenadtakt till någon meter per minut beroende på miljön i tunneln.
- g) Taktisk grundinriktning är livräddning och släckning ifrån B öppningen. Gångtakt ifrån A något långsammare.
- h) Väldigt, väldigt långsamt. Enstaka meter per minut.

8. Hur lång tid kommer det att ta för rökdykarna att avancera in i tunneln?

Tabell D4 Tid för rökdykargruppens avancemang

Inträngnings Längd	a) *	b)	c) #	d)	e)	f)	g)	h)
25 m	30–45 s	90 s	-	160 s	300 s	60 s		
50 m	1.5 min	3 min	-	5 min	6 min	3-5 min		
75 m	3 min	4,5 min	-	7,5 min	8 min	6-10 min		
100 m	4,5 min	6 min	-	10 min	15 min	10-15 min		
150 m	7 min	9 min	-	15 min	25 min	15-20 min		
200 m	10 min	12 min	-	20 min	40 min	≥ 30 min	5 min	10-15 min

* Gäller om det ej är rök i tunneln.

Omöjligt att svara på.

9. Blir det någon skillnad på hastigheten och längden på inträngningen beroende på om det är frågan om livräddning eller egendomsräddning?

- a) Livräddningsuppdrag ger mer offensiv insats med kort uthållighet. Egendomsräddning ger insats där tyngdpunkt läggs på säkerhet, back-up och planering för uthållighet.
- b) Ja, det blir skillnad. Livräddning innebär en snabb insats som endast kommer att kunna avancera 75 meter in i tunneln.
- c) Om det är säkerställt att det är ren egendomsräddning blir det ingen rökdykarinsats med hänsyn till säkerheten för brandpersonalen.
- d) Ja. Ren egendomsräddning utförs knappast i denna miljö.
- e) Vid egendomsräddning är det möjligt att ett rökdykarangrepp inte är försvarbart. Detta med hänsyn till egen personalsäkerhet och värdet på insatsen.
- f) Förmodligen snabbare inledningsvis vid livräddning. Omedveten stress och mindre "krav"(skyddsgrupper etc.) på säkerhetsaspekten då det gäller livräddning.
- g) Vid livräddning är samtliga av personalen mer motiverad vilket medför att hastigheten ökar.
- h) Ja, vet rökdykarna om att det är livräddning går forceringen snabbare.

10. Vilka svårigheter ser ni med att genomföra en räddningsinsats vid en olycka av denna typ?

- a) Taktiska svårigheter är att bedöma läget, planera för omfall och bedöma agerandet ifrån de hotade. Svårigheter är också att skaffa sig underlag för att fatta beslut, såsom att ta fram den effektivaste och säkraste inriktningen på insatsen. Tekniska svårigheter är att skapa vattenförsörjning och dess uppbyggnad, transport in i tunnel - där trolleys måste användas, uthållighet- med värmestegring och andra påfrestningar, släckning av branden – utvecklade effekt och värmepåverkan på brandpersonalen, och samband inom räddningsinsatsen.
- b) Att hålla tillräckligt hög säkerhetsnivå med vattenförsörjning och rökdykargrupper som kan täcka upp och avlösa varandra. Sambandet kommer säkert att bli ett problem.
- c) Att genomföra en insats med de givna förutsättningarna är i princip omöjligt. Högst osannolikt att hela tunneln rökfylls. Värmen i sig omöjliggör med största sannolikhet rökdykarinsatsen. Dessutom är det risk att delar av tunneltaket rasar om det är "naket" berg.
- d) Personalkrävande, kort aktionstid med vanliga luftapparaten, lång tid innan brandbekämpningen kan påbörjas.
- e) Avsaknad av hållbar taktik som bygger på genomförda på möjligheter med en räddningsinsats och sedan möjligheter att öva med denna. Brist på lämplig utrustning för att nå effektivitet.
- f) Logistik: Hur skall man transportera personal och utrustning dit där de gör nytta ? Infobrist: Svårbedömt läge och svåra taktiska val.
- g) Att ta med sig vatten för det egna skyddet och brandsläckningen. Tillgången på luft till rökdykarna, Lång inträngning, Förhoppningsvis är det rökfritt nästan ända fram ifrån tunnelmynning B.

- h) Långa inträngningsvägar. Utrustningstransporter där fordon ej kan användas. Bristen på luftförråd. Kraftig värme – brandgashastighet mot räddningstjänstpersonalen.

11. Vilka möjligheter ser ni för att göra en räddningsinsats vid en olycka av denna typ?

- a) Möjligheter till en effektiv och säker insats är mycket liten om tekniska installationer ej finns. Avsaknad av kommunikation med rökdykarna innebär avbruten insats.
- b) Möjligt att det fungerar, men det blir svårt. Troligen får vi hjälp av vindriktningen och att takhöjden gör att det blir rökfritt nere vid marken.
- c) Med de givna förutsättningarna är möjligheterna att lyckas näst intill noll.
- d) Självvakueringsprincipen måste fungera. Vi måste avvärja hotet (branden). Att rädda 250 personer med rökdykargrupper är omöjligt.
- e) Med nuvarande möjligheter och övning är möjligheterna till ett släckförsök bra i vissa fall.
- f) SMÅ !!!!
- g) Vindriktningen väldigt avgörande. Enda chansen är att släcka branden tror vi. Eventuellt gå in med ett lok ifrån andra hållet, lossa kopplingen och dra ut tågsetet som brinner.
- h) ----

12. Vilka förbättringar i utformningen av tunnel ser ni som möjliga för att förbättra era möjligheter att genomföra en räddningsinsats vid en olycka av denna typ?

- a) System för utrymning innan kritiska förhållanden uppstår. System för underlättande av räddningsinsats – eftersök av människor, begränsning av branden, angreppsvägar, transportsystem, övervakningssystem (CCTV, Infrakameror) m.m.
- b) Utrymningsvägar och angreppsvägar till ett parallellt tunnelrör. Fasta brandvattenledningar i tunneln. Sprinkler som kan trycksättas. Radioslinga fast installerad i tunneln. Ventilationsschakt. Räddningsstationer i tunnlarna med lätta vagnar för transport av bårar m.m. på spåret.
- c) Utrymningen måste kunna ske utan hjälp ifrån brandförsvaret, precis som på alla andra ställen. Det måste finnas ett parallellt tunnelrör för utrymning och angrepp. Fasta installationer av brandvatten, rökevakuering, samband, m.m.
- d) Att komma närmare branden i rökfri miljö (parallelltunnel, påstick eller utrymningsbussar) Framdragen säker vattenförsörjning för att slippa slangdragning.
- e) Separat räddningsschakt eller transportabelt räddningsrum.
- f) Goda ventilationsmöjligheter, Stigarledning, Alternativa angreppsvägar (parallell tunnel), Samband, ”Sprinkler”.
- g) Stigarledningar i tunnlarna. Luftschakt. Angreppsvägar med jämna mellanrum i tunneln. Indikeringslampor på tablå som talar om var tåget står.
- h) -----

13. Vilka förbättringar av den kommunala räddningstjänsten ser ni som möjliga för att förbättra era möjligheter att genomföra en räddningsinsats vid en olycka av denna typ?

- a) Utveckling av taktik och metoder. Kunskap om förhållanden vid brand/rök / kem i tunnel.
- b) Fler stora flaskpaket med andningsluft. Bättre anpassad radioutrustning.
- c) Tyngdpunkten måste läggas på att få inbyggda brandtekniska installationer som möjliggör en räddningsinsats. Att tron att brandförsvaret skall klara en brand i en tunnel som denna är orealistisk även om vi får längre slang eller dylikt.
- d) Mer personal, samövningar, flera stora andningsluftflaskor.
- e) Utrustning, taktik som är gemensamt framtagen av räddningstjänsten och nyttjarna.
- f) Logistikhjälpmedel, Luftförsörjning (alternativa system).
- g) Luftflaskor som innehåller mer luft och möjligheter till seende i brandrök.
- h) -----

14. Hur säkerställer ni kommunikationen under rökdykarinsatsen?

- a) Om det inte finns installerade system för radiokommunikation måste det byggas upp en radiokedja för att länka sambandet.
- b) Länkning via rökdykargrupper.
- c) Radio på 400-bandet.
- d) Läckande kabel.
- e) Förhoppningsvis på rökdykarradion kanal 93.
- f) Möjligheter till inkoppling på läckande kabel. I övrigt inga möjligheter (alt. "Stockholmssystemet")
- g) Förhoppningsvis fungerar rökdykarradio i tunneln.
- h) -----

Räddningsverket, 651 80 Karlstad
Telefon 054-13 50 00, telefax 054-13 56 00

Beställningsnummer P21-391/01. Telefax 054-13 56 05, telefon 054-13 57 10
ISBN 91-7253-135-5