

Dimensionering av tunnlar – brandaspekter

Litteraturstudie åt Vägverket av Brandskyddslaget 2000-12-01

STAFFAN BENGTON/HANS NYMAN

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	3
2	FÖRUTSÄTTNINGAR	3
2.1	Farligt gods	3
2.2	Statistiskt underlag	3
2.3	Brandscenarier.....	3
2.4	Branden - Heat Release Rate.....	4
3	BRANDGASKONTROLL.....	4
3.1	Rökgaser.....	4
3.2	Siktförhållanden	4
3.3	Testmetoder och simulering	4
3.4	Fullskaletester	4
3.5	Småskaliga tester.....	5
3.6	Datorsimuleringar	5
3.7	Brand – och rökgaskontrollsystem, ventilation	5
3.8	Rökluftfridåer	7
4	AKTIVT BRANDSKYDD	7
5	UTRYMNING	7
6	BRANDDETEKTION.....	8
7	BRANDBEKÄMPNING	8
8	DIMENSIONERANDE BRAND.....	8
9	FÖRSLAG TILL FORSKNING	8
9.1	Brandgaskontroll	8
9.2	Sprinkler.....	9
9.3	Utrymning	9
9.4	Branddetektering	9
9.5	Brandbekämpning	9
9.6	Brandscenarier.....	9
10	REFERENSER	10

1 INLEDNING OCH BAKGRUND

Brandskyddslaget AB har på uppdrag av Vägverket genomfört en mindre litteraturstudie följande områden:

- Brandventilation
- Brandskydd
- Utrymning
- Branddetektion
- Brandbekämpning

Den aktuella litteraturen består främst av rekommendationer från PIARC och forskningsrapporter från konferenser rörande säkerhet i tunnlar de senaste fem åren.

2 FÖRUTSÄTTNINGAR

Nedan beskrivs de förutsättningar man i tidigt skede bör ta ställning till.

2.1 Farligt gods

Både rökgaskontrollsystemets utformning och valet av brandskyddssystem påverkas av om och när transporter av farligt gods tillåts.

2.2 Statistiskt underlag

Dimensioneringen av de tekniska systemen i tunnlar som t.ex. ventilationssystemet vid brand grundar sig på antaganden av brandens storlek. Det statistiska underlag för bränder i tunnlar dåligt. En brand i en tunnel skulle påtagligt påverka statistiken, Haack, [4].

De vanligaste orsakerna till att tunnelbränder uppstår är, enligt samma källa:

- Elektriska fel på fordonen
- Överhettade bromsar
- Övriga fel på fordonen

Andra orsaker som inte är lika vanliga är:

- Kollisioner
- Tekniska fel på utrustningen i tunneln
- Underhållningsarbeten i tunneln

Det finns tendenser som visar att tunnelns lutning påverkar fordonsbränder. Uppförsbackar ökar risken för överhettade motorer och nedförsbackar ökar risken för överhettade bromsar.

2.3 Brandscenarier

Det bör finnas ett antal brandscenarier som utgångspunkt för:

- Tunnelkonstruktionen
- Test av ingående material
- Valet av ventilationssystemet
- Övningar och utbildning med personal

Scenarierna ska ligga till grund för en övergripande handlingsplan vid en eventuell brand. I dessa handlingsplaner ska tydliga riktlinjer grundade på riskanalyser finnas. Utarbetandet av dessa brandscenarier ett område som rekommenderas för framtida forskning och utveckling av Haack, [4]

2.4 Branden - Heat Release Rate

Heat Release Rate (HRR) anger hur snabbt energimängden i t.ex. en personbil avges. Parametern är avgörande för dimensionering av brandgaskontrollsystemen i tunnlar. P.C Miclea, [11], påpekar vikten av närmare studier och modeller för att bestämma HRR. I PIARC (1999) finns rekommendationer för olika fordonsbränder.

3 BRANDGASKONTROLL

3.1 Rökgaser

Hur rökgaser utvecklas och sprids beror på följande faktorer enligt Hörhan, [5]:

- Syremängden vid branden
- Värmeavgivningen
- Lutningen i tunneln
- Ventilationssystemets utformning
- Tunnelns utformning och eventuella hinder
- Fordonens rörelseriktning
- Meteorologisk inverkan såsom vindstyrka och riktning

De varma rökgaserna stiger till en början upp till tunnelns tak. Under denna fas är det rökfritt ett par meter ovanför marknivån. Rökgaserna kyls dock snabbt ner av väggar och tak och rör sig ner mot vägbanan längs väggarna. Detta innebär att tunnel relativt snabbt blir rökfylld.

3.2 Siktförhållanden

Siktförhållandena vid en brand är bland annat beroende av vad som brinner, hur fort det brinner (tillväxthastigheten) och ventilationen. I, [6], B Kennedy, redovisas en metod för att beräkna ljusdämpningen på grund av rökutvecklingen. Även i [7], S Bengtsson, redovisas samband för beräkningar av siktförhållandenas påverkan av brandgaserna.

3.3 Testmetoder och simulering

För att begränsa skadorna, både mänskliga och ekonomiska, vid en brand behövs undersökningar vars mål bör vara dels inriktade på övergripande säkerhet och dels på tunnelns utrustning och konstruktion. Metoderna för att studera och ge underlag till dessa undersökningar, E. Casale [8], kan delas upp i :

1. Fullskaletester
2. Småskaliga tester
3. Datorsimuleringar

3.4 Fullskaletester

Ett antal fullskaleprov har utförts genom åren. Resultaten används ofta som referensmaterial i datorsimuleringar. Proven är kostsamma. Bland de större genomförda testerna är de utförda i Memorial Tunnel (USA, 1993-1995).

3.5 Småskaliga tester

Mindre kostsamma försök kan genomföras i småskaliga tester. Dessa tester är bra för att t.ex. visualisera rökspridning. Försöken kan ligga till grund för fullskaleprov.

3.6 Datorsimuleringar

Sedan slutet av 80-talet har försöken att studera bränder i datormiljö ökat. Den vanligaste metoden är CFD (Computational Fluid Dynamics) som bygget på en så kallad fältmodell. Tekniken går ut på att dela upp tunnelns volym i små celler, fält, där de termodynamiska ekvationerna beräknas. Det förekommer även datorprogram som bygger på zonmodeller. Dessa är dock vanligare i samband med byggnader.

CFD beräkningar bör användas till att dra upp riktlinjer för dimensionering, undersöka nya speciella situationer och öka förståelsen för faktiska bränder.

3.7 Brand – och rökgaskontrollsystem, ventilation

3.7.1 Brand- rökgaskontrollsystem

Följande kriterier ska gälla för ventilationen i samband med brand – och rökgaskontrollsystemet:

1. Syftet med att kontrollera rökgasspridningen är människor så länge som möjligt ska få en rökgasfri miljö i tunneln. Detta kan antingen göras genom att bibehålla skiktningen så luften under rökgaslagret är andningsbar och/eller föra bort rökgaserna till en sida om elden.
2. Människorna måste inom en relativt kort tid och en kort sträcka kunna nå en brandteknisk säker plats. Därför ska nödutgångar eller brandsäkra rum placeras där de behövs.
3. Ventilationssystemet måste kunna hålla av branden oskadade delar såsom utrymningsvägar etc. rökfria.
4. Ventilationssystemet ska kunna skapa en bra miljö för räddningstjänstens brandbekämpning.
5. Om en bränslebrand uppstår måste ventilationssystemet kunna tillföra så mycket luft att risken för explosioner p.g.a. ofullständig förbränning inte inträffar. Ett dränagesystem för bränsle som läckt ut ska finnas.

[9] A. Haerter.

3.7.2 Ventilationssystem för tunnlar

Ventilationen i tunnlar kan enligt A. Haerter, [9], delas upp i:

1. Naturlig ventilation
2. Mekanisk ventilation
3. Ventilation kombinerad med luftrening

I Sverige är längsventilation det vanligaste sättet. Hybridformer mellan de olika ventilationssystemen kan förekomma och är i vissa fall eftersträvarsvärda.

3.7.3 Naturlig ventilation

Kriteriet för naturlig ventilation är att inga fläktar används i tunneln. Luftflöden i tunnlar kan vara orsakade av skillnader i t.ex. temperatur eller meteorologiska faktorer. En viss naturlig

ventilation uppstår alltså i de flesta tunnlar. I en tunnel med naturlig ventilation är det ofta någon form av "skorstenseffekt" som är drivande. Tunnlar i berg där mynningarna ligger på olika nivåer är ett exempel där naturlig ventilation kan vara ett alternativ.

En annan orsak till att luftflöden uppstår är trafiken, där fordonen ger en "kolveffekt". Många befintliga kortare tunnlar utnyttjar idag naturlig ventilation. Med kortare tunnlar menas tunnlar upp till ett par hundra meter.

3.7.4 Mekanisk ventilation

Beroende på hur luftströmmen är riktad i förhållande till tunnel delas den mekaniska ventilationen ofta upp enligt:

- Längsventilation (longitudinal)
- Tvärgående ventilation (full transversell ventilation)
- Semitransversell ventilation (och reversibel semitransversell)
- Pseudotransversell ventilation

3.7.5 Längsventilation

I många länder förekommer bara längsventilation. Som namnet antyder skapar ventilationssystemet ett luftflöde längs med trafiken, longitudinellt. I långa tunnlar och /eller i tunnlar där meteorologiska faktorer, trafiken eller lutningen kan skapa naturliga längsgående luftflöden är längsventilation en bättre lösning, i en brandsituation, oavsett om trafiken är enkelriktade eller dubbelriktade. PIARC (1999, s. 159) rekommenderar att i samband med längsventilation ta hänsyn till tre fall med olika trafikriktning och eventuell risk för köbildning.

Med längsventilation förbättras också utrymningen vid en brand J.Day, [2]. Testerna är i referensen utförda i simuleringsprogrammet TUFISI (Tunnel Fire Simulation) som bygger på en tvåzonsmodell. Detta resultat motsäger i viss mån A. Haerter, [9], där författaren hävdar tvärgående ventilation är att föredra i långa tunnlar. Resonemanget i [9] förs dock i samband med koncentrationen av luftföroreningar och inte med utrymning och rökgaser. Författaren påpekar dessutom att hänsyn måste tas till ekonomiska aspekter.

3.7.5.1 Den kritiska medellufthastigheten vid längsventilation

Den kritiska medellufthastigheten är den lufthastighet som krävs för att undvika s.k. backlayering vid längsventilation. I äldre litteratur beror hastigheten av brandens effekt. Senare studier O. Megret, [1], har framlagt hypotesen att det också existerar en superkritisk medellufthastighet. Tunnel 99 verkar av figur 4.3-1 tagit fasta på dessa resultat. I [1] visas i skalmodeller att medellufthastigheten påverkas av brandens diameter. Författarna påpekar vikten av att vid dimensionering ta hänsyn till brandens geometriska form. I PIARCs (1999) rekommendationer dras liknande slutsatser. Då värmeeffekten överskrider 100 MW och lutningen i tunneln är mindre än 4 % räcker det med en kritisk medellufthastighet av 3 m/s för att undvika backlayering.

Wu,[10] visar att den kritiska medellufthastigheten dessutom påverkas tunnelns geometri.

3.7.6 Tvärgående / Transversell ventilation

Vid tvärgående ventilationssystem tillför och bortförs luften transversellt gentemot trafikriktningen. De längsgående luftströmmarna skapade av t.ex. trafik och vindförhållanden runt öppningarna kommer alltså att "störa" den transversella luftströmmen skapad av ventilationen. Så i praktiken förekommer sällan renodlade transversella system. Den transversella ventilationen kräver stora luftmängder och kan därför bli kostsam i långa tunnlar. I korta tunnlar kan det vid brand uppstå problem då både vind och skorstenseffekt påverkar rökgaserna i ogynnsamma riktningar.

I fullskaletester i Memorialtunneln i West Virginia konstaterades det att för bränder över 20 MW var ett fullt transversellt ventilationssystem ineffektivt för rökgaskontroll. R Hörhan, [5].

3.7.7 Semitransversell ventilation (och reversibel semitransversell)

I ett semitransversellt ventilationssystem tillförs uteluft längs med tunneln och blåses in transversellt gentemot trafikriktningen. Till skillnad gentemot det helt transversella systemet bortförs luften genom tunnelns öppningar. I det reversibla systemet är det, t.ex. vid en brand, möjligt att vända på flödesriktningen och "ta in" luft i tunnelns öppningar och bortföra frånluften via kanalerna i tunneln. Även detta system är känsligt för naturliga längsluftflöden.

3.7.8 Pseudotransversell ventilation

Ett ventilationssystem baserat på en blandning av de övriga brukar kallas för pseudotransversellt system. I detta system finns alltså både tilluft och frånluftskanaler i tunneln men även fläktar som kan skapa longitudinella luftflöden i händelse av brand.

3.8 Rökluftridåer

Syftet med rökluftridåer är att hindra brandgaser att spridas till områden i tunneln där människor befinner sig. Fördelar med rökluftridåer enligt Legrand [3] är:

- De är mer kompakta jämfört med jetfläktar.
- De påverkar inte rökskiktningen, om höjden till undertaket är tillräcklig.

Nackdelar med rökluftridåerna är:

- De kan bara användas i fall med låga mottryck i tunneln.
- Placeringen är viktig beroende på vilken funktion de ska ha.

4 AKTIVT BRANDSKYDD

De har rätt stor motvilja mot att använda sprinkler i vägtunnlar, främst utanför Sverige. Orsak till detta är bl.a. ett försök som genomfördes för ett tjugotal år sedan med bensinbål och vattensprinkler vilket mer eller mindre självfallet närmast resulterade i en explosion. Annan kritik som har framförts grundas på att sprinkler inte kan nå det brinnande materialet inuti ett fordon.

Efter branden i Mont Blanc- och Tauerntunnlarna med många dödsoffer har debatten om sprinkler tagit fart igen och det pågår "mobilisering" av intressenter för att genomföra försök i en befintlig tunnel.

Nyttan med sprinkler i en tunnel ligger i första hand inte i att släcka en brand, vilket dock visats vara fallet i garagebränder med personbilar, utan att förhindra spridning till andra fordon. Svårigheten vid dimensionering av sprinkler i vägtunnlar är hur bränder i bensin- och dieseloljeläckage ska tas om hand.

Det saknas i stort litteratur inom detta område.

5 UTRYMNING

I [11] och [12] redovisas relativt utförligt problem med utrymning i bl.a. vägtunnlar. Av speciellt intresse kan då vara försök med utrymning av bussar [13].

Vid projektering av utrymningstryggheten är det av stor vikt att veta hur lång tid det tar för passagerarna och förarna att lämna ett fordon. Här råder fortfarande stor okunskap vad gäller

varseblivning och reaktionstider och hur dessa ska förkortas. Kunskapen är också bristfällig vad gäller utrymningstid ur bussar.

6 BRANDDETEKTION

Vad gäller detektering av bränder har man ännu inte nått så långt att man säkert automatiskt kan urskilja bränder med TV-övervakning. Man måste därför fortsättningsvis förlita sig på olika typer av värmekännande detektorer. Nackdelen med dem är att de är relativt långsamma. Rökdetektorer går inte att använda eftersom de reagerar på dieselavgaser men förmodligen kan man med hjälp av så kallade sugsystem som analyserar rökinnehållet noggrant sortera bort dieselavgaser.

Långsam detektering ger långsam start av evakuering.

7 BRANDBEKÄMPNING

Det bedrivs mycket lite forskning och utveckling inom detta område. Således har man endast liten kunskap om hur man ska angripa bränder genom att på ett korrekt sätt använda fasta eller mobila fläktar som kan styra brandgaser åt önskat håll.

I värsta fall kan man ju öka brandens avgivna effekt efter som man tillför mer luft och dessutom försvårar situationen för dem medströms branden.

Ledning och styrning av en insats skiljer sig avsevärt från bränder ovan mark och måste därför studeras vidare.

Oftast har man i vägtunnlar parallella tunnelrör så att man via två förbindelser kan angripa en brand och utrymma från denna. Vad gäller avstånd mellan tvärförbindelser som behövs för att ge tillräcklig kunskap så räcker tillgänglig kunskap till, men inte för att avgöra det avstånd som behövs för att kunna släcka en brand effektivt.

8 DIMENSIONERANDE BRAND

Man önskar ofta transportera farligt gods i vägtunnlar men man har bristande kunskap om hur man ska skapa trygga utrymningsförhållanden om sådant brinner. Det är också svårt att tillgodose brandmännens säkerhet vid livräddning och släckning vid denna typ av bränder.

Det behövs också bättre kunskap om brandeffekt och brandspridning mellan moderna fordon/vagnar.

9 FÖRSLAG TILL FORSKNING

9.1 Brandgaskontroll

För att erhålla den kritiska medellufthastigheten krävs ofta att höga luftflöden riktas mot branden. Branden tillförs alltså syre, hur detta påverkar brandspridningen och brandförlopp är ett område som bör undersökas. I samband med järnvägstunnlar har det dessutom diskuterats om mobila fläktar som skulle arbeta enligt samma principer. Höga lufthastigheter kan dessutom uppstå naturligt av vindar.

- Dessutom bör undersökas hur den kritiska medellufthastighetens påverkas av brandens form, O. Megret, [1], och tunnelns geometri, Wu, [10].
- Analyser av bränder och tester där kolmonoxid, sotproduktion och ljusabsorbering studeras
- Tydligare och fler definitioner av brandscenarier

- Formulerande av riktlinjer för brandtester och utvärderingar av testerna

9.2 Sprinkler

Metoder som leder till effektiv sprinkling vid tunnelbränder bör tas fram.

9.3 Utrymning

Stor okunskap råder inom området varseblivning – reaktion varför detta bör studeras vidare. Det samma gäller för tömningstider utav fordon.

9.4 Branddetektering

Det bör undersökas om det finns metoder med vars hjälp brandgaser kan detekteras tidigt.

9.5 Brandbekämpning

Man bör undersöka metodik vid angrepp i tunnlar och hur brandgaskontrollsystem kan användas.

9.6 Brandscenarier

Vid transport av farligt gods är det svårt att förutse en dimensionerande brandstorlek. Detta är också svårt vid vindpåverkan. Man bör påverka konstruktioner så att det vid brand avges så lite effekt som möjligt.

10 REFERENSER

- [1] O. Megret, O. Vauquelin, *An experimental study of critical velocity and the influence of source diameter*, s 429, Tunnel Fires and Escapes from Tunnels, International Conference 5-7 May 1999, Lyon, France
- [2] J. Day, *Emergency Ventilation in Tunnels with High Gradients and/or High Natural Longitudinal Flows*, s 463, Tunnel Fires and Escapes from Tunnels, International Conference 5-7 May 1999, Lyon, France
- [3] S Legrand, *Application, Behavior and Maximum Use for Dynamic Air Curtains*, Tunnel Fires and Escapes from Tunnels, International Conference 5-7 May 1999, Lyon, France
- [4] A Haack, *Fire Risk and Design Fire*, Fire and Smoke Control in Road Tunnels, PIARC 1999
- [5] R. Hörhan, *Smoke Behaviour*, Fire and Smoke Control in Road Tunnels, PIARC 1999
- [6] B Kennedy, *Estimating the Light Attenuation of Smoke as a Function of Fuel, Ventilation and Fire Heat Release Rate*, Tunnel Fires and Escapes from Tunnels, International Conference 5-7 May 1999, Lyon, France
- [7] S Bengtsson, *Objectives of fire and smoke control*, s 25, Fire and Smoke Control in Road Tunnels, PIARC 1999 redovisas samband för beräkningar av siktförhållandenas påverkan av brandgaserna.
- [8] E. Casale, *Study Methods*, Fire and Smoke Control in Road Tunnels, PIARC 1999
- [9] A. Haerter, *Ventilation for Fire and Smoke Control*, s153, Fire and Smoke Control in Road Tunnels, PIARC 1999
- [10] Y. Wu, M.Z.A. Bakar, *Control of smoke flow in tunnel fires using longitudinal systems – a study of the critical velocity*, Fire Safety Journal, Vol. 35 No. 4 November 2000
- [11] Svenska Brandförsvarsföreningen, Brand och brandskydd I undermarksanläggningar, 1998
- [12] SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Brand och brandskydd I undermarksanläggningar, Litteraturstudier, Brandforskningprojekt 401 – 931, 1997.
- [13] = [19] I bilagd bok, sid 84