

Simulaciones CFD y Pruebas de Humo para el Diseño del Plan de Ventilación en caso de incendio en el Túnel de Branisko

Martin Ilg, Petr Pospisil, Dr. Rune Brandt (HBI Haerter Ltd., Zurich, Switzerland)

Abstract

El túnel de Branisko (4975 m) está situado en Eslovaquia, entre las ciudades de Levoča y Prešov, en uno de las conexiones más importantes entre este y oeste de Europa, la E-50. La inauguración del túnel fue en junio de 2003.

Basándose en un proyecto de ventilación definido previamente, HBI Haerter Ltd. ha trabajado en el diseño y los algoritmos de control, y ha ayudado a la supervisión in situ del equipamiento y del control de la ventilación.

Un estudio de CFD fue hecho para diseñar la ventilación. Antes de que el túnel se abriera, se hizo un ensayo de humos, probando así la eficiencia del sistema de ventilación.

Los resultados de los cálculos del CFD pueden ser comparados cualitativamente con los datos adquiridos en los tests de humo.

1. Introducción

Para validar el sistema de ventilación del túnel de Branisko, que fue diseñado usando métodos unidimensionales, fue hecho un estudio tridimensional de CFD y se llevaron a cabo ensayos de humo. La razón de esto es que la seguridad en túneles en caso de emergencias ha ganado atención en estos últimos tiempos, además de que el equipamiento de los servicios de bomberos se ha vuelto más poderoso, y tienen más posibilidades de intervenir. Los resultados ofrecen una vista general de la evolución del humo y la estratificación como una función de tiempo y espacio. Adicionalmente, los efectos de la ventilación en el comportamiento del humo se investigan en el estudio, y los tests de humo pueden ser integrados en los planes de intervención de los bomberos, para que no haya sorpresas en una intervención.

2. Concepto de ventilación

El túnel de Branisko es un túnel de un solo tubo con tráfico bidireccional. Está equipado con ventilación semi-transversal, combinado con una estación de extracción de aire aproximadamente a la mitad (ver fig. 1). Además, 90 extractores se sitúan en el techo. Éstos son usados para proporcionar aire fresco en condiciones normales, y para la extracción de humo en caso de incendio. Además, a mitad de túnel hay ocho extractores grandes, que se integran en el techo para una posible extracción local. La ventilación del túnel consiste en un ventilador de aire fresco en cada boca y dos paralelos sobre un eje cerca de la mitad del túnel.

La galería de evacuación tiene ventiladores en cada boca del túnel. Esto garantiza que en cualquier circunstancia, la vía de escape está libre de humo, incluso cuando las puertas están abiertas.

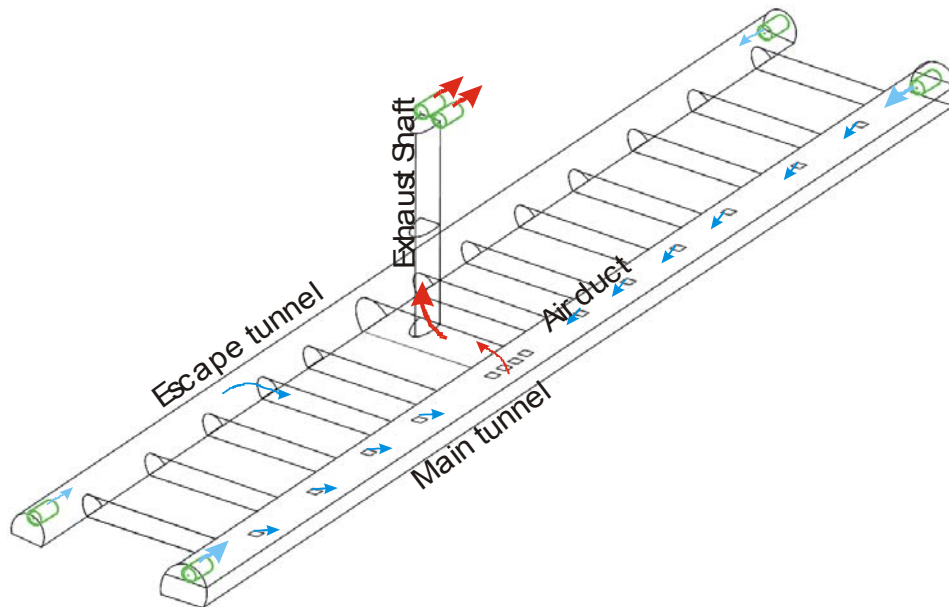


Fig. 1 Overview of the túnel with its ventilation system

Los ventiladores están localizados en las bocas y en los finales de los conductos de ventilación (ver fig. 2). En la mitad del túnel, el conducto de ventilación puede ser dividido cerrando los extractores verticales (K_K) en ambas cara de la estación de ventilación. Encima de ésta estación están los ventiladores de extracción (VA). El aire fresco se proporciona desde el conducto de ventilación desde las bocas este y oeste, a través de los extractores del túnel. Los extractores verticales (K_K) se usan para alternar entre los dos modos de extracción: desde el conducto de ventilación o directamente desde el interior del tubo. En el caso de la ventilación semitransversal, los extractores verticales (K_K) están cerrados y los del techo intermedio (K_L) están parcialmente abiertos. El aire se extrae bien a través de los ocho grandes extractores de la mitad del túnel (K_A), o bien a través de los cinco del techo (K_L). El aire extraído se expulsa por ventiladores de eje (VA) al ambiente a través de una vía de escape en el medio del túnel

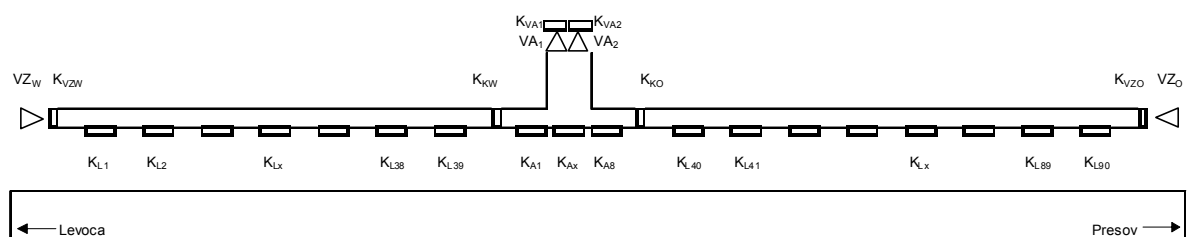


Fig. 2 Schematic of the túnel-ventilation system

Funcionamiento normal

El modo automático consiste en la extracción de aire a través de ocho ventiladores a través de la estación de ventilación. Este modo causa una ventilación longitudinal del túnel. El aire se mete desde las dos bocas, y cuando sobrepasa un valor determinado, la ventilación semitransversal se active a fin de frenar la corriente, para proporcionar suficiente visibilidad, y asegurar un nivel de polución dentro del túnel por debajo de los límites permitidos

Operacion de emergencia (en caso de incendio)

En caso de incendio, la ventilación trata cuatro casos diferentes que se definen de acuerdo a la localización del fuego. Para la mayor parte de los incendios, el humo se extrae a través de cinco extractores colocados alrededor del incendio (ver fig. 3). Cubren una longitud de 200 metros. Si es necesario, la ventilación semitransversal también es activada de una forma no incidente, para tener un flujo de aire suficiente desde los dos lados del fuego. También, en caso de que se produzca cerca de la estación de extracción, el humo se extrae por ésta. En cualquier caso, para fuegos localizados cerca de las bocas, se han elaborado diferentes situaciones

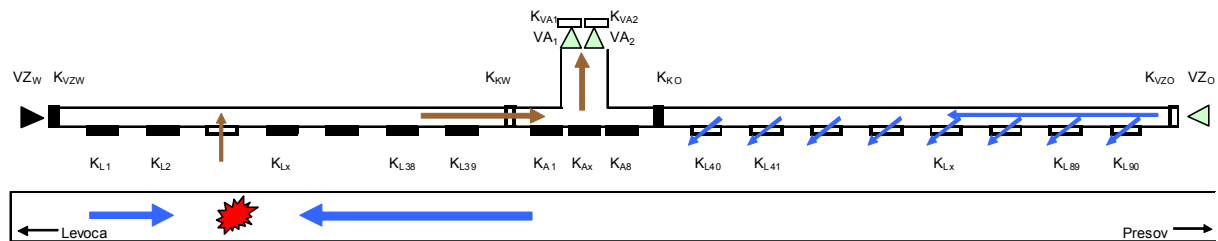


Fig. 3 Main response mode of the ventilation system in case of a fire

3. Fuegos y ratios de calor para los calculos del CFD

Un aspecto importante del diseño de la ventilación es la definición de un fuego prediseñado y su correspondiente ratio de calor. Aplicando las especificaciones del responsable del departamento de fuegos [1] en el peor de los casos, puede tener un lanzamiento de calor de 100 MW. Para el presente estudio, se simularon fuegos con ratios de calor de 100, 50 y 30 MW

Las características de un fuego de 100 MW, que fue considerado como el peor de los casos, se derivó superponiendo diferentes fuegos de acuerdo con [1]. El incendio se suponía que tenía que ser iniciado por un fuego de 100 MW en un vehículo pesado, usando el test HF1 („Vehículos pesados“) del experimento Eureka [2]. Los picos ocurren como resultado de las radiaciones. En [1] se asume que un coche de pasajeros arde cada 3 o 4 minutos, y que un vehículo pesado comienza a arder cada 7 u 8 minutos. Como coche de pasajeros, el „Plastic Car C21“ (5 MW), como camión, el „Public Bus B11“ (30 MW) de [2] (ver fig.4 dcha). Superponiendo las fuentes de calor individuales resultan en un calor total de cerca de 100 MW (ver curva roja en fig.4, izda)

A fin de simplificar las características del fuego, se aplicó el modelo de Ingason [3] y derivaron los parámetros específicos (ver punteado en fig. 4) La simplificación permite definir el lanzamiento de calor en función del tiempo. Los parámetros para el incendio de 50 MW fueron interpolados entre los parámetros del fuego de 100 y el de 30 MW.

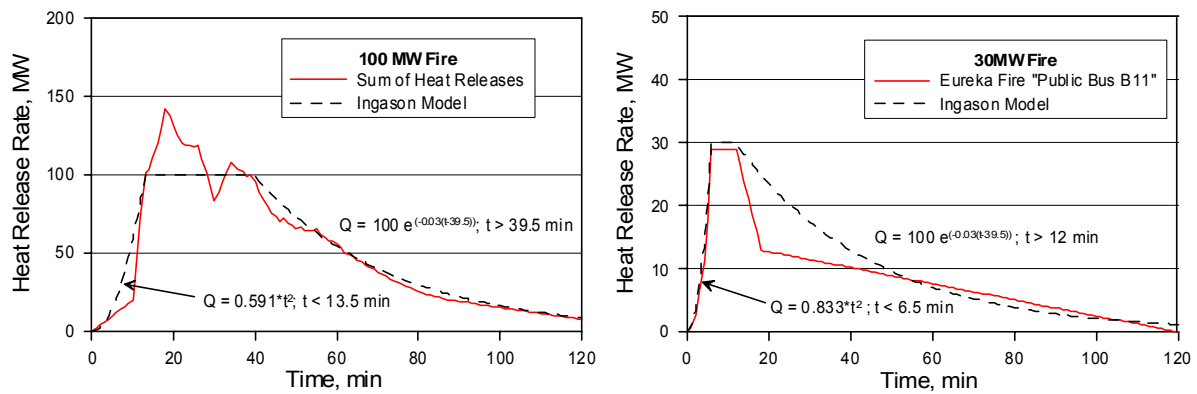


Fig. 4 The sum of the different heat releases leads to a 100 MW fire scenario (left hand diagram). 30 MW fire scenario from the Eureka test series (right hand diagram). The Ingason model [3] approximates the scenarios.

4. Calculos CFD

La fig. 5 muestra el dominio usado para la simulación. El dominio representa el túnel entero. Esto permite conducir un estudio completo de la influencia de varios modos de ventilación. En particular, la influencia de la ventilación semi-transversal operando antes de la detección es de interés en términos de propagación de humo y estratificaciones. Adicionalmente, la ventilación de la estación, así como el origen del fuego se muestran en la fig. 5.

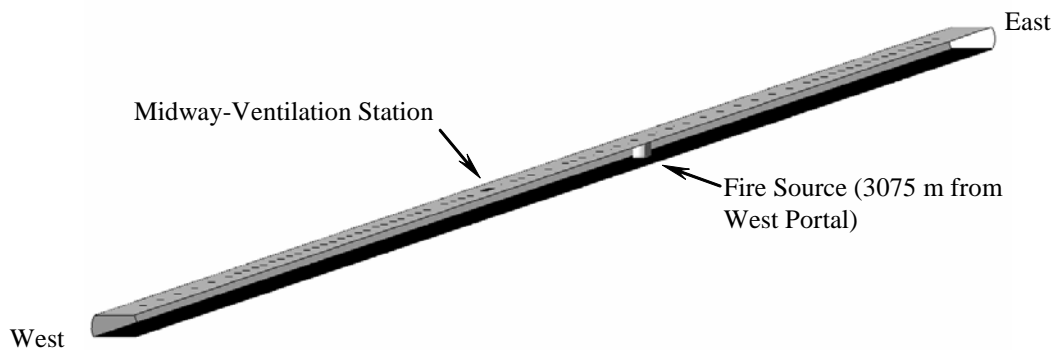


Fig. 5 Domain used for CFD Computations (entire túnel)

La figura 6 muestra las velocidades para dos modos normales de ventilación: extracción ventral con y sin ventilación semitransversal. Adicionalmente, los flujos de aire se muestran en la fig. 6.

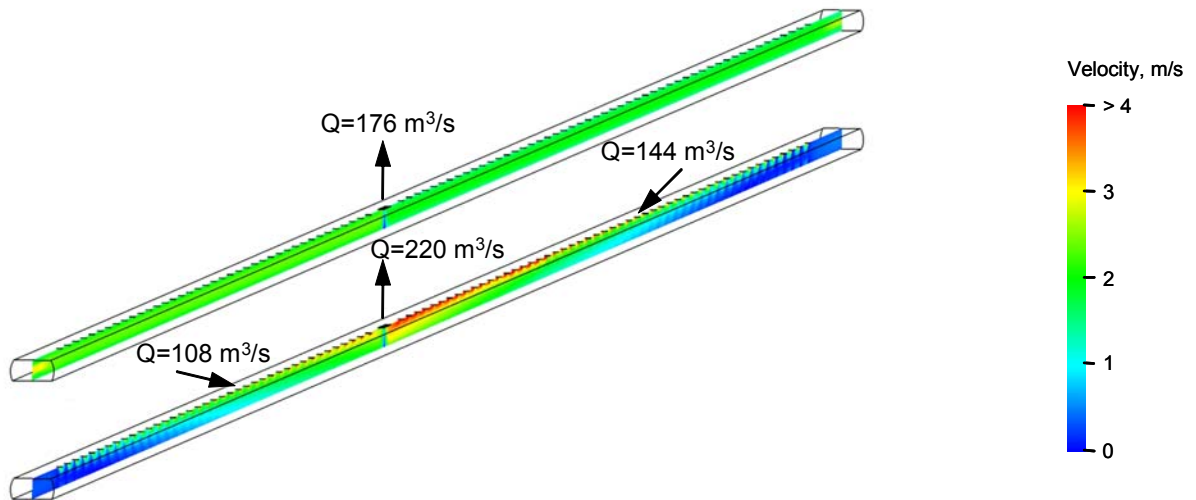


Fig. 6 Velocities in the túnel resulting from the ventilation mode and the specified volume flows: extraction (above) and extraction together with semi-transverse ventilation (below)

En caso de ventilación semitransversal, el perfil de velocidad depende de la posición longitudinal del mismo, mientras que para el caso de la extracción pura los perfiles de la velocidad son similares de las bocas al punto de la extracción (Fig. 6) Un detalle de la zona cercana a la ventilación media ha sido escogido por comparación de perfiles de velocidad en secciones cruzadas para los dos modos de ventilación (fig. 7). Estos son los resultados de operación normal (sin incendio)

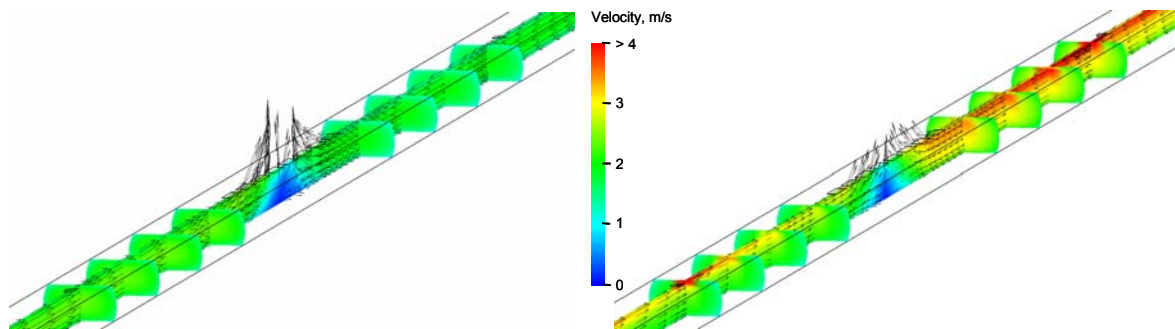


Fig. 7 Velocities around the midway-ventilation station

En los siguientes, la propagación del humo en el fuego de 30 MW se presenta. Los cálculos fueron hechos para ambos modos de ventilación inicial. La fuente de calor estaba localizada a 3075 m. de la boca oeste, de acuerdo a [1] (ver fig. 5). Se toma como $t=0$ cuando el fuego comienza a arder. Después de 180 seg. Se supone que el fuego está detectado, y que la ventilación cambia de **Modo normal** a **Modo de emergencia**. Fig. 8 muestra la propagación del humo, y la fig. 9 la estratificación en $t=150$ seg.

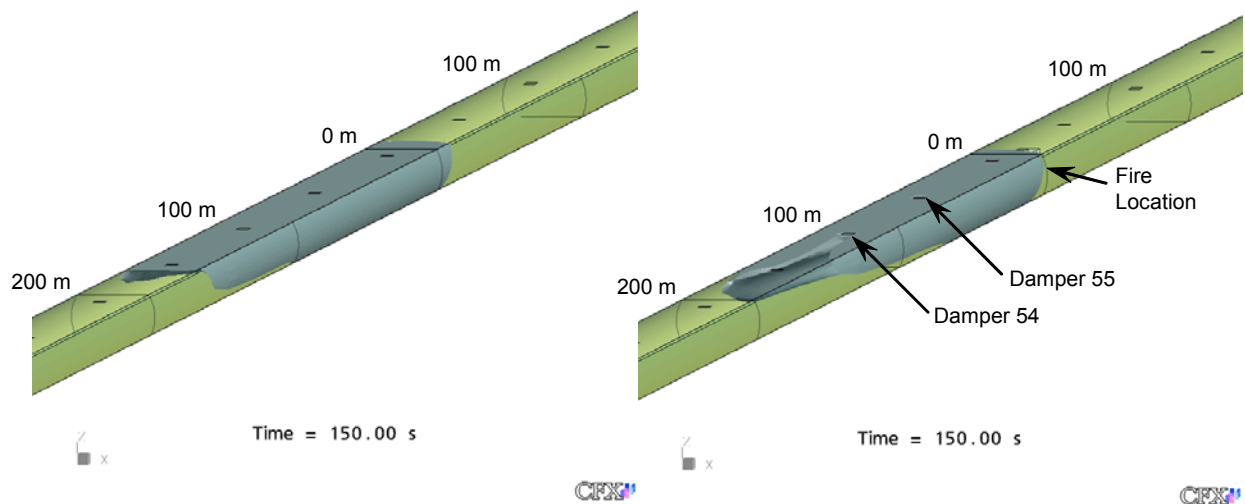


Fig. 8 Smoke propagation of the 30 MW fire at $t=150$ s. Initial ventilation mode: extraction (left hand picture) and extraction with semi-transverse ventilation (right hand picture).

Debido a las velocidades similares cerca del fuego, la propagación del humo es más o menos similar (fig. 6).

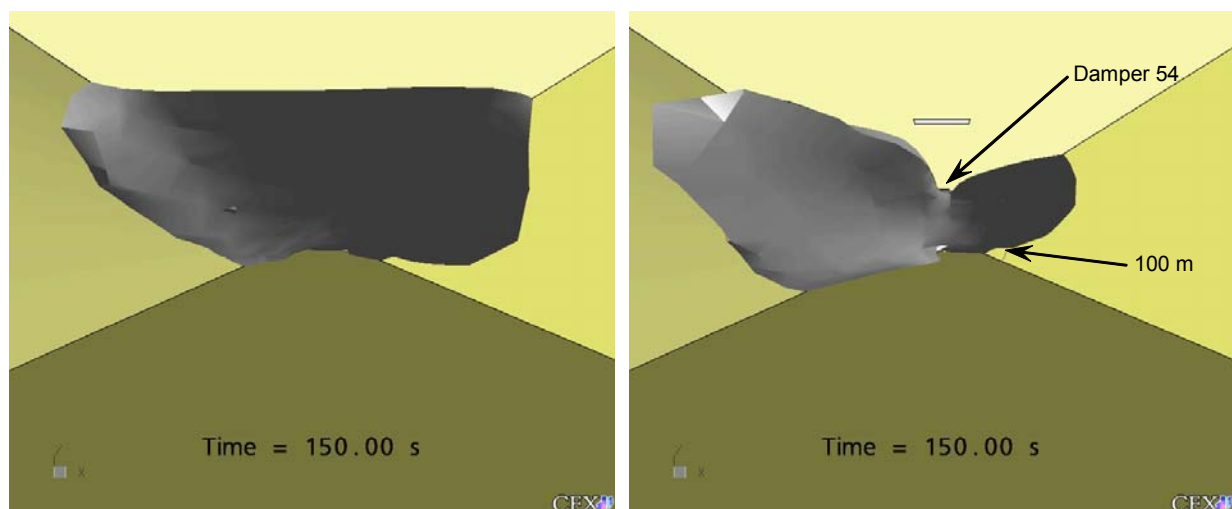


Fig. 9 Smoke stratification of the 30 MW fire at $t=150$ s. Ventilation modes: extraction (left hand picture) and extraction with semi-transverse ventilation (right hand picture). Position of observer: 180 m from the fire source, looking east.

Mientras que en el caso de extracción inicial la estratificación inicial puede ser archivada, en el caso de la ventilación semitransversal parcialmente destruye la capa de humo del techo del túnel, y extiende el humo (fig. 9). Dependiendo de la localización del fuego (el campo de velocidad varía con la distancia a la boca, fig. 6), el flujo de aire, y el ángulo, el humo extendido puede mostrar diferentes actitudes.

Las líneas aerodinámicas de aire que salen de los extractores dan más penetración (ver fig. 10). El dibujo de la izquierda muestra las líneas de los extractores 54 y 55. La posición del observador es a una distancia de 225 m. del fuego, hacia el este. En este dibujo pueden ser observados principalmente dos fenómenos. Primero, la zona cerrada al aire fresco está libre de humo debido a la dilución (ver también figs. 8 y 9). Segundo, el flujo que hay cerca de la zona de fuego está reflejado hacia los muros del túnel. Consecuentemente, dependiendo de la distancia a los extractores, el

efecto principal del flujo de aire fresco es asistir a la propagación del humo o causar la dilución del mismo (ver figs. 8 y 9). Segundo, los flujos que están cerca de la zona del incendio se reflejan hacia los muros del túnel. Consecuentemente, dependiendo de la distancia a los extractores, el efecto principal del aire fresco proporcionado asiste a la propagación del humo o causa la disolución del mismo (ver fig. 10 izquierda). Alternativamente, si el fuego ha sido localizado cerca de la boca, el humo se esparcirá sobre la sección del cruce como se puede deducir de la fig. 10 (derecha). En este caso, el observador está situado a una distancia de 600 m. de la boca este, mirando hacia el oeste. La razón son los grandes giros de los remolinos del flujo de aire.

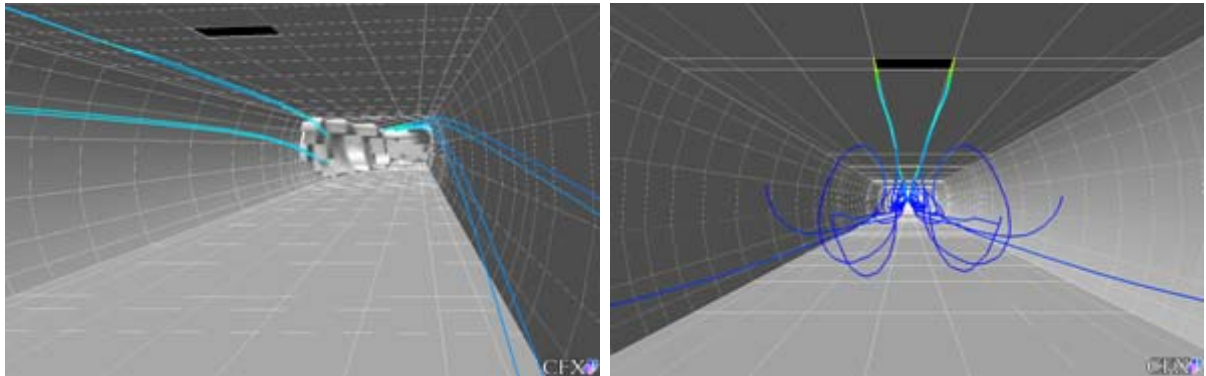


Fig. 10 Left hand picture: Streamlines departing from dampers 54 and 55. Position of the observer: 225 m from the fire source, looking east; Right hand picture: Streamlines departing from various dampers. Position of the observer: 600 m from the east portal, looking west.

Para ambos modos de ventilación, el humo se propaga hasta distancias de 235 metros desde la zona de fuego, y es en una etapa posterior cuando fluye hacia la zona de extracción (fig. 11). Entonces, el humo se mantiene en el rango de los cinco extractores. Las zonas de fuera de este rango se mantienen libres de humo, como se puede ver en el diseño.

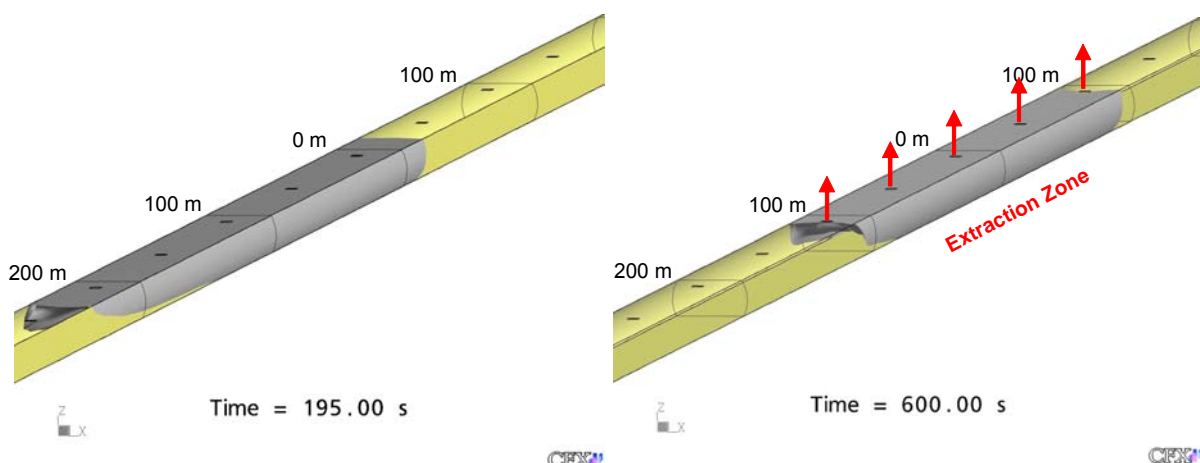


Fig. 11 Maximum smoke propagation (left hand picture). Due to the smoke extraction, the smoke remains within the range of the five exhaust dampers (right hand picture, red arrows). In both cases, the initial condition during normal operation was extraction.

5. Tests de humo

Se han hecho dos tests de humo en el túnel, el 20 de junio de 2003. Para la producción del humo, se usaron dos tipos de granadas militares. Las granadas se situaron a 1900 metros del portal este. Esta localización coincide con la usada en los cálculos con CFD.

Primer ensayo

Antes del comienzo del ensayo, la ventilación se ha apagado. Un flujo de aire natural con dirección oeste a este fue medido. La velocidad fue aproximadamente de 1.2 m/s. La calzada estaba enteramente ocupada por 5 personas y 2 granadas, que fueron encendidas secuencialmente (fig. 12). La producción total de humo fue estimada en 45 m³/s. Este valor corresponde al incendio de un vehículo sin materiales peligrosos. La producción de humo cesó aproximadamente a los 20 minutos.



Fig. 12 Fog grenades producing smoke

Antes de la detección del humo (y lógicamente antes de la operación de ventilación) el humo se movió a lo largo del túnel como resultado del flujo de aire natural. Debido al bajo calor, solo una limitada estratificación del humo en la vecindad de la niebla fue observada. Más tarde, el humo ocupó el túnel completo. La máxima producción de humo se alcanzó 5 minutos después del encendido de las granadas. Un minuto después, el humo fue automáticamente detectado por el opacímetro, que estaba situado más o menos a 135 metros al este de la fuente de humo. Como consecuencia, la alarma de fuego respondió y activó la secuencia de incendio. Para entonces el humo se había propagado a una distancia de 200 metros de la fuente. Dos minutos más tarde, la ventilación estaba a pleno rendimiento. La fuente de humo vino a parar a unos 400 metros. Para entonces, el humo estaba ya controlado.

La fuente de aire fresco para ayudar a la extracción de humo no estaba activada. La extracción local solamente determinó el flujo longitudinal. Sin embargo, el humo en el frente del túnel fue conducido hacia atrás por los extractores y secuencialmente de uno a otro extractor, hasta que los últimos restos de humo se desvanecieron por el

primer extractor abierto. Para entonces, la producción de humo ya hubo parado. La efectividad de la extracción de humo fue probada correctamente.

La ventilación de la galería de evacuación mostro su habilidad para prevenir la entrada de humo por la puerta, incluso aunque esta estuviese abierta (fig. 13).



Fig. 13 Open emergency exit in the smoke zone. The escape route is entirely being kept free of smoke.

Segundo ensayo

La localización de las granadas para el Segundo ensayo fue a una distancia de 300 m. de la boca oeste. Antes de empezar, la ventilación se apagó, y se midió un flujo de aire natural de aproximadamente 3 m/s, causada por fuertes fuerzas de flotabilidad. EL humo fue automáticamente detectado por un opacímetro, y de nuevo, la alarma respondió y encendió la ventilación. Para ese momento, el humo se había propagado unos 599 m. del origen.

Para ayudar a la extracción de humo en llevar el humo a la zona de extracción, los ventiladores de aire fresco fueron activados en la parte este del túnel

Durante los primeros minutos, el patrón de propagación en este test fue similar al primero. La extracción funcionó como debería. EL humo estaba casi llevado enteramente al primer extractor, limitando la zona de humo a una longitud de 200 metros, cuando ocurrió algo inesperado. Debido a un cortocircuito en el suministro eléctrico, los convertidores de frecuencia de uno de los ventiladores y de los ventiladores de aire fresco fallaron, y no pudieron ser reiniciados inmediatamente. Desde este momento, la extracción de humo funcionó de una forma muy limitada. En consecuencia, el humo empezó de nuevo a extenderse a lo largo del túnel hacia la boca este. En 25 minutos, la operatividad de los dos ventiladores fue recuperada y el punto de extracción fue cambiado a la mitad del túnel, para conseguir una mayor capacidad de extracción. Para entonces, la producción de humo había cesado y el humo cubría aproximadamente 2000 m. Después de la recuperación de los ventiladores, se pudo volver a extraer el humo hasta que, después de otros 20 minutos, el túnel estaba libre de humos. Se puede ver en la fig. 14 el humo saliendo por la chimenea. Inmediatamente después el suministro eléctrico fue analizado y corregido para asegurar la correcta operación de la ventilación.



Fig. 14 Smoke exiting the exhaust shaft

Los tests reales o con granadas de humo producen humo toxico y corrosive. Esto puede causar problemas de salud y puede afectar tambien al equipamiento del túnel. Hoy en dia, estan disponibles sustitutos no toxicos. HBI Haerter Ltd. Usa estos sustitutos para pruebas en túneles suizos. Por ejemplo, en la figura 15 se muestra un detalle de las pruebas de humo en el túnel de Flüelen, que abre el 10 de junio de 2005. Los ensayos de humo se realizaron correctamente.



Fig. 15 Non-toxic smoke extracted through the extraction damper in the Flüelen túnel (Switzerland)

6. Conclusiones

Los calculos del 3D CFD validaron correctamente el diseño de la ventilacion. Se previene que el humo se propague mas alla de la zona de extracción, y se extrae completamente por cinco extractores. Las condiciones de salida de los usuarios del túnel y de intervención en caso de fuego son optimas. Además, la simulación 3D reveló detalles en el comportamiento del humo, especialmente cuando se usa ventilación semitransversal en operaciones normales. Durante el primer par de minutos después de la ignición, la ventilación en modo normal influencia la extensión del humo. Esto es el resultado del desfase entre ignición, detección y reacción de los sistemas de ventilación. Aplicando la ventilación natural desde el techo en condiciones normales, tiene la desventaja de que corta y posiblemente destruye la estratificación. Es recomendado usar exclusivamente extracción a través de extractores en la estacion de ventilación, durante operaciones normales, sin utilizar la ventilación semitransversal.

En los ensayos de humo, los opacímetros funcionaron como deberían. Los túneles deberían estar equipados con ellos. Además, se recomiendan distancias cortas entre éstos, como se define en las guías suiza y alemana. Para asegurar una correcta operación de la ventilación, se deberían de hacer pruebas de funcionalidad y mejora de forma periodica. Como escapar de un túnel es lo mas importante desde el punto de vista de la seguridad de los usuarios, una prueba de su ventilación debería de ser incluida. Ésta debería ser planeada en una fase temprana. Realmente la mayor parte de los accidentes con fuego producen mucho humo con temperaturas bajas. La estratificación no puede ser garantizada, especialmente no bajo condiciones de tráfico. Las pruebas con humo frio son recomendadas para probar el rendimiento de una extracción de humo.

7. Literature

- [1] Túnel Branisko, D.3 Poziarna ochrana túnela, technicka sprava
S. Dubina, Inco - Banske Projekty, Jan. 2000
- [2] Eureka-Project EU 499: FIRETUN, Nov. 1995. Fires in Transport Túneles,
Report on Full-Scale Tests,
Editor: Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., D-40213 Düsseldorf
- [3] Ingason, H., 1995, Untersuchungsergebnisse zur Energiefreisetzung,
Brandschutz in Verkehrstúnele, Dresden