

Influence of Ventilation on Working Environment of Firefighters in Case of Fire Intervention in the Road Tunnel

Vplyv ventilácie na pracovné prostredie hasičov pri hasiacom zásahu v cestnom tuneli

Stanislava Gašpercová^{1,*}, Linda Makovická Osvaldová², Miroslava Vandlíčková³

^{1, 2, 3} Department of Fire Engineering, Faculty of Security Engineering, University of Žilina, ul. 1. mája 32, 010 26 Žilina, Slovak Republic; stanislava.gaspercova@fbi.uniza.sk, linda.makovicka@fbi.uniza.sk, miroslava.vandlickova@fbi.uniza.sk

* Corresponding author: stanislava.gaspercova@fbi.uniza.sk

Original scientific paper

Received: October 18, 2019; Accepted: December 02, 2019; Published: December 31, 2019

Abstract

The paper is focusing the application of progressive computer aided modelling techniques to study the fire dynamics in and mainly the influence of fire ventilation on working environment of intervening firefighters during the road tunnel fire. To model the fire behavior, the Fire Dynamic Simulator was used, because it is the most widely used Computer Fluid Dynamics (CFD) model in fire engineering. The main factor of the influence of ventilation on the fire and smoke conditions in the tunnel tube was the smoke dissipation. In modelling, the direction of the ventilation and the wind was identical from the left to the right. In case of the fire scenario with the ventilation switched on, in about 170 s after the ventilators are switched on, a half of the tunnel tube was vented. After another 80 s, the remaining part of the tunnel tube was vented, up to the point of the fire. In the fire scenario without the ventilation switched on, the entire tunnel tube was full of smoke already at the point of 600 s and it remained so until the end of simulation.

Keywords: Fire; Fire Modeling; Fire Ventilation; Road Tunnel; Smoke Dispersion

1 Introduction

We selected Fire Dynamics Simulator (FDS) computer program to model fire behavior in the selected tunnel Šibenik. The reasons for choosing this program include its popularity, it is the most widely used CFD model in engineering and is freely available and allows for valuable graphical outputs. This is a computer model based on the Navier-Stokes equations applied to low-speed gas flow during a fire, thermal dissipation through radiation and also an estimation of the concentration of individual substances released by the fire [1]. It solves differential equations describing the development of fire through input data from a text file called a source code. Commands

1 Úvod

Pre modelovanie správania sa požiaru vo vybranom tuneli sme si zvolili počítačový program Fire Dynamics Simulator (FDS). Tento program sme zvolili z dôvodu, že je v inžinierskej praxi najuznávanejším CFD modelom a zároveň je voľne šíriteľný a umožňuje vytvárať cenné grafické výstupy. Jedná sa o počítačový model založený na báze Navier-Stokesových rovníc aplikovaných na nízkorychlostné prúdenie plynov pri požari, šírenia tepla prostredníctvom radiácie a takisto odhadu koncentrácie jednotlivých látok uvoľnených pri požari [1]. Rieši diferenciálne rovnice, ktoré popisujú vývoj požiaru prostredníctvom vstupných dát z textového

must not be arranged in a certain order in the source code, but in terms of clarity, it is advisable to follow a certain logical structure in creating the source code [2].

2 Material and Methods

2.1 General model information

This is basic simulation information, e.g. its name, ambient temperature before the start of simulation, basic material parameters, etc. The preset ambient temperature is 20 °C but can be changed to any temperature.

2.2 Calculation of time and area

It defines the time and area where the simulation takes place. The time counts in seconds, and it is possible to set practically an unlimited length of time. Regarding the calculation time, we set a 1800 second period. For the time t_0 , we used the starting time of fire, and the fire extinction occurred after 1500 s from the beginning of the simulation.

Since the FDS program uses rectangular geometry, for its calculations and division of the calculated space into cells that make up a rectangular calculating grid, the tunnel geometry, which has a circular cross section at the top, has to be adapted to these requirements. In order to achieve the most accurate shaping of the space, a grid of 0.5 x 0.5 x 0.5 m was chosen, i.e. after recalculation, the difference between the real conditions and the rectangular geometry used in the calculations was only 0.97%. The total number of calculating cells was 617,808 for the whole tunnel, and in a 10-meter radius of fire, a grid with a cell size of 0.25 x 0.25 x 0.25 m was chosen for more detailed modeling.

2.3 Materials and boundary conditions

Their correct definition is the basic parameter for the relevant course and the results of the whole simulation. For all solid bodies which are located in or bounded by the burning space, it is necessary to determine, in particular, their thermal and fire performance characteristics, such as their thermal conductivity coefficient, bulk density, thermal capacity, and emissivity. Regarding the boundary structures, their thickness, color and temperature should also be determined. Lining of the tunnel is designed as reinforced concrete.

súboru nazývaného zdrojový kód. Príkazy nemusia byť v zdrojovom kóde usporiadané v určitom nemennom poradí, avšak z hľadiska prehľadnosti je vhodné pri vytváraní zdrojového kódu postupovať podľa určitej logickej štruktúry [2].

2 Materiál a metódy

2.1 Všeobecné informácie o modeli

Jedná sa o základné informácie o simulácii ako je napr. jej názov, okolitá teplota pred začiatkom simulácie, parametre základného materiálu a pod. Prednastavená okolitá teplota je stanovená na 20 °C, je však možné ju nastaviť na akúkoľvek teplotu.

2.2 Výpočtový čas a oblasť

Definuje sa doba a oblasť, pre ktorú bude simulácia prebiehať. Doba sa počíta v sekundách a podľa potreby je možné nastaviť prakticky neobmedzene dlhý časový úsek. Za výpočtový čas sme stanovili časový úsek 1800 s. Za čas t_0 sme určili čas začiatku požiaru a dohorovanie požiaru nastalo v čase 1500 s od začiatku simulácie.

Keďže program FDS na svoje výpočty používa pravouhlú geometriu a delí výpočtový priestor na bunky, ktoré tvoria pravouhlú výpočtovú mriežku musela byť geometria tunela, ktorá má v hornej časti kruhový prierez, prispôbená týmto požiadavkám. Pre dosiahnutie čo najpresnejšieho vytvarovania priestoru bola zvolená mriežka o rozmere 0,5 x 0,5 x 0,5 m, tzn. po prepočítaní bol rozdiel medzi reálnymi podmienkami a pravouhlou geometriou použitou pri výpočtoch len 0,97 %. Celkový počet výpočtových buniek bol pre celý tunel 617 808, pričom v okruhu 10 m od požiaru sa pre jeho detailnejšie modelovanie zvolila jemnejšia mriežka s rozmermi bunky 0,25 x 0,25 x 0,25 m.

2.3 Materiály a okrajové podmienky

Ich správna definícia je základným parametrom pre relevantný priebeh a výsledky celej simulácie. Pre všetky pevné telesá, ktoré zvolili ultra-rýchly rozvoj požiaru, kedy maximálny výkon predstavujúci 6,25 MW bol dosiahnutý za 85 s od začiatku požiaru. Maximálny výkon požiaru bol udržiavaný počas celej doby simulácie až po čas 1 500 s,

2.4 Solid bodies

Ventilators and automobiles, located in the tunnel tube from its beginning to the point of fire, have been designed as solid bodies influencing the flow of combustion products. Tunnel ventilation has been designed as longitudinal with three sets of ventilators in each tunnel tube. Turning on the ventilators is set to 600 s after the simulation of fire starts. To compare the fire behavior in the tunnel, we have the fire with the same properties and boundary conditions and we let it operate with the ventilation switched on as well as without turning on the ventilation. However, since the state of absolute windlessness is unusual in the exterior and almost impossible in the tunnels, in both cases (with the ventilation switched on and without the ventilation switched on), we set the air flow rate to $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

2.5 Source of fire and fire definition

As a source of burning, we can use any liquid or solid substance. In the case of using solid combustible substance, it is also necessary to define an initiating source which will serve to start the pyrolysis process. If we select a liquid for a combustible substance, we do not need to describe the initiating source, the substance will start to burn by itself. We chose the diesel fuel as it is a common fuel and its smoke is dark, heavy and toxic. We determined the area from which the diesel fuel burnt away at $5 \times 2 \text{ m}$, which is approximately the size of one smaller truck. The maximum fire performance that was maintained throughout the simulation period was 6.25 MW, which we can imagine as a fire of two passenger cars or one smaller truck. Regarding this paper, we chose the ultra-fast fire development, where the maximum power of 6.25 MW was achieved in 85 s from the beginning of the fire. The maximum fire performance was maintained throughout the simulation period up to 1500 s when the fire performance was linearly falling down to zero. Both fire scenarios (without the ventilation and with the ventilation switched on) had, due to further comparison of the results, the same thermal performance of fire.

2.6 Measurement devices

Since the main purpose of simulating the effect of fire is to find out how a fire is behaving

kedy výkon požiaru lineárne klesal až k nule. Obidva požiarne scenáre (bez zapnutia sa nachádzajú v priestore horenia alebo ho ohraničujú sa stanovujú najmä ich tepelnotechnické a požiarotechnické vlastnosti ako napr. súčiniteľ tepelnej vodivosti, objemová hmotnosť, merná tepelná kapacita a emisivita. Pre ohraničujúce konštrukcie je potrebné stanoviť aj ich hrúbku, farbu a teplotu. Ostenie tunela je navrhnuté ako železobetónové.

2.4 Pevné telesá

Ako pevné telesá ovplyvňujúce tok splodín horenia boli navrhnuté nielen ventilátory ale aj automobily, ktoré sú umiestnené v tunelovej rúre od jej začiatku až po miesto požiaru. Vetranie v tuneli bolo navrhnuté ako pozdĺžne s tromi sadami ventilátorov v každej tunelovej rúre. Zapnutie ventilátorov sme nastavili na 600 s po začiatku simulácie/požiaru. Pre porovnanie správania sa požiaru v tuneli sme požiar s rovnakými vlastnosťami a okrajovými podmienkami nechali pôsobiť so zapnutou ventiláciou ako aj bez zapnutia ventilácie. Keďže však stav absolútneho bezvetria je v exteriéri ojedinelý a v rámci tunelov v podstate nemožný, v oboch prípadoch (pri zapnutej ventilácii aj bez zapnutej ventilácie) sme nastavili rýchlosť prúdenia vzduchu na hodnotu $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

2.5 Zdroj horenia a definovanie požiaru

Ako zdroj horenia môžeme použiť akúkoľvek kvapalnú alebo tuhú látku. V prípade použitia tuhej horľavej látky je nutné definovať aj iniciačný zdroj, ktorý bude slúžiť na začatie procesu pyrolýzy. Ak za horľavú látku zvolíme kvapalinu, iniciačný zdroj nemusíme popísať, látka začne horieť samovoľne. Rozhodli sme sa pre motorovú naftu, nakoľko sa jedná o bežné palivo a jeho dym je tmavý, ťažký a toxický. Plochu z ktorej nafta odhorievala sme stanovili na $5 \times 2 \text{ m}$ čo sú približne rozmery jedného menšieho nákladného automobilu. Maximálny výkon požiaru, ktorý bol udržiavaný počas celej doby simulácie predstavoval hodnotu 6,25 MW, čo si môžeme predstaviť ako požiar dvoch osobných automobilov alebo jedného menšieho nákladného automobilu. Pre príspevok sme zvolili ultra-rýchly rozvoj požiaru, kedy maximálny výkon predstavujúci 6,25 MW bol dosiahnutý za 85 s od začiatku požiaru.

in a defined space, what maximum temperatures can be reached, how the smoke can spread through the space and the rate of fire over time, we can monitor these and other variables by the means of four options [2]:

- define devices that will monitor the temperature, smoke, air flow rate, composition of combustion products, etc.,
- view the distribution of particular monitored quantity in the space or in the selected cutting plane,
- to show the distribution of monitored quantity on the surfaces of the bodies,
- to create a spatial isosurface that joins all points with the same value of the selected quantity throughout the monitored space.

In tunnel fires, one of the most important parts of the tunnel is fire ventilation. Its main function is to remove the combustion products from the site of the fire outside the tunnel tube and to ensure the appropriate living conditions for escaping persons and the firefighters.

3 Results and Discussion

As the main factor of the influence of ventilation on the conditions in the tunnel tube at the event of fire, we have chosen to visualize the tunnel tube smoke dissipation. Figure 1 illustrates the tunnel tube smoke dissipation with the ventilation switched on after 600 s, 770 s, 850 s, and 1800 s. Figure 2 shows tunnel tube smoke dissipation after 600 s, 770 s, 850 s, and 1800 s but no longer with the effect of the ventilation switched on.

Maximálny výkon požiaru bol udržiavaný počas celej doby simulácie až po čas 1500 s, kedy výkon požiaru lineárne klesal až k nule. Obidva požiarne scenáre (bez zapnutia ventilácie a so zapnutou ventiláciou) mali kvôli ďalšiemu porovnaniu dosiahnutých výsledkov priebeh tepelného výkonu požiaru rovnaký.

2.6 Meracie zariadenia

Keďže hlavným cieľom simulácie účinku požiaru je zistenie ako sa požiar správa v definovanom priestore, aké maximálne teploty môže dosahovať, ako sa môže šíriť dym priestorom a rýchlosť postupu požiaru v čase, môžeme tieto a ešte ďalšie veličiny sledovať pomocou štyroch možností [2]:

- definovať zariadenia, ktoré budú bodovo sledovať teplotu, dym, rýchlosť prúdenia vzduchu, zloženie splodín horenia a pod.,
- zobrazit' rozloženie určitej sledovanej veličiny v priestore alebo vo vybranej rezovej rovine,
- znázorniť rozloženie sledovanej veličiny na povrchu telies,
- vytvoriť priestorovú izoplochu, ktorá v celom sledovanom priestore spojí všetky body s rovnakou hodnotou vybranej veličiny.

Pri požiaroch v tuneloch je jednou z najdôležitejších častí tunela požiarne ventilácia. Jeho hlavnou funkciou je odvádzať splodiny horenia z miesta požiaru mimo tunelovej rúry a zabezpečiť vhodné životné podmienky unikajúcim osobám a zasahujúcim hasičom.

3 Výsledky a diskusia

Ako posledný faktor vplyvu ventilácie na podmienky v tunelovej rúre pri požiaru sme si zvolili vizualizáciu zadymenia tunelovej rúry. Obr.1 ilustruje zadymenie tunelovej rúry so zapnutou ventiláciou v čase 600 s, 770 s, 850 s a 1 800 s. Obr. 2 ukazuje zadymenie tunelovej rúry tiež v čase 600 s, 770 s, 850 s a 1 800 s ale už bez vplyvu zapnutej ventilácie.

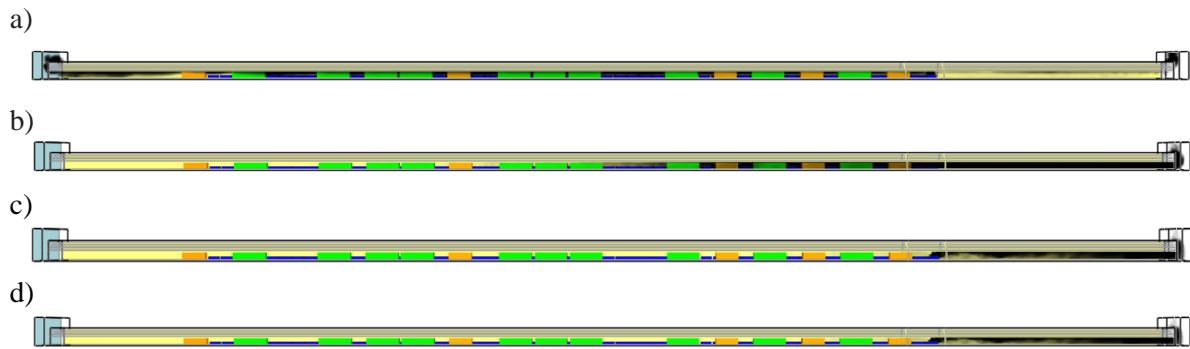


Fig 1. Visualization of the tunnel tube smoke dissipation at different times from the beginning of the fire (with the ventilation switched on): a) 600 s, b) 770 s, c) 850 s, d) 1 800 s

Obr. 1 Vizualizácia zadymenia tunelovej rúry v rôznych časoch od začiatku požiaru (pri zapnutej ventilácii) v čase: a) 600 s, b) 770 s, c) 850 s, d) 1 800 s

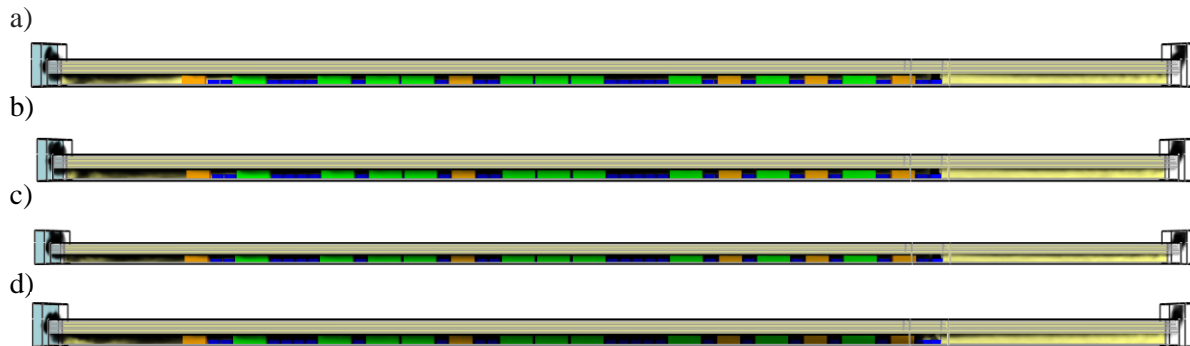


Fig 2. Visualization of the tunnel tube smoke dissipation at different times from the beginning of the fire (without the ventilation switched on): a) 600 s, b) 770 s, c) 850 s, d) 1 800 s.

Obr. 2 Vizualizácia zadymenia tunelovej rúry v rôznych časoch od začiatku požiaru (bez zapnutej ventilácie) v čase: a) 600 s, b) 770 s, c) 850 s, d) 1 800 s

Figures 1 and 2 show the entire length of the tunnel tube. We can see the effect of ventilation and wind direction on the smoke dissipation of the tunnel tube. The direction of the ventilation and the wind is identical from the left to the right. In case of the fire scenario with the ventilation switched on, in about 170 s after the ventilators are switched on, half of the tunnel tube is vented. After another 80 s, the remaining part of the tunnel tube is vented, up to the point of the fire. In the fire scenario without the ventilation switched on, the entire tunnel tube is full of smoke already at the point of 600 s and it remains so until the end of simulation.

4 Conclusions

When comparing the effect of ventilation on smoke dissipation in the tunnel tube, it is clear that ventilation helps the firefighters in the

Na obrázkoch 1 a 2 je znázornená celá dĺžka tunelovej rúry vrátane portálov. Môžeme na nich vidieť vplyv ventilácie a smeru vetra na zadymenie tunelovej rúry. Smer ventilácie ako aj vetra je zhodný a to od ľavého portálu k pravému. Pri požiarom scenári so zapnutou ventiláciou za približne 170 s po zapnutí ventilátorov je odvetraná polovica tunelovej rúry. Po ďalších 80 s je odvetraná aj zvyšná časť tunelovej rúry až po miesto požiaru. Pri požiarom scenári bez zapnutej ventilácie bola celá tunelová rúra zadymená už v čase 600 s a úplné zadymenie pretrvávalo až do ukončenia simulácie.

4 Záver

Pri porovnaní vplyvu ventilácie na zadymenie tunelovej rúry je zrejmé, že ventilácia pomáha

event of fire as well as the evacuated persons because the ventilation of combustion products increase visibility. On the other hand, it significantly increases the temperature of combustion products, especially under the ceiling in the direction of ventilation. This means that the ventilation against the direction of the air flow significantly improves the condition for firefighting intervention and therefore it is necessary for the rescue team to arrive from the portal which is opposite to the direction of the ventilation.

Acknowledgments

This paper originated and its publication was supported by the APVV-17-0014 project. Smart tunnel: telematic support for emergencies in the traffic tunnel.

References / Literatúra

- [1] McGrattan, K. et al.: Fire Dynamics Simulator, Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model. Gaithersburg, USA, p. 149
- [2] Wald, F. et al.: Modelování dynamiky požáru v budovách (Modeling of fire dynamics in building), ČVUT Praha, 2017, p. 86, ISBN 978-80-01-05633-2

hasičom pri zásahu a účastníkom premávky v evakuácii nakoľko odvetraním splodín horenia zvyšuje viditeľnosť. Na druhej strane však výrazne zvyšuje teplotu splodín horenia najmä pod stropom v smere ventilácie. To znamená že ventilácia proti smeru prúdenia vzduchu výrazne zlepšuje podmienky na hasiaci zásah a teda je potrebné dbať na príchod záchranných zložiek od portálu, ktorý sa nachádza proti smeru ventilácie.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol a jeho publikovanie podporil projekt APVV-17-0014. Smart tunel: telematická podpora pri mimoriadnych udalostiach v dopravnom tuneli.