



MODELY ŠÍŘENÍ OHNĚ A TOXICKÝCH PLYNŮ PŘI HAVÁRIÍCH V TUNELECH

Zpracovali: Ing. Kamila Horová, prof. Ing. František Wald, CSc. (Fakulta stavební ČVUT v Praze)

Souhrn

Numerické modely požáru, které se během posledního desetiletí staly účinným nástrojem v oblasti navrhování konstrukcí na účinky požáru i přípravě záchranných prací, umožňují vizualizaci šíření ohně a toxických plynů v tunelech včetně stanovení jejich základních parametrů jako je teplota a rychlost proudění plynu, rychlost uvolňování tepla, viditelnost a obsah zplodin hoření. Pro účely navazujících prací na modelování evakuačních scénářů, je vybráno pět železničních tunelů s nejzávažnějšími požárními scénáři, které jsou analyzovány pomocí výpočetního softwaru FDS. Model požáru v železničním tunelu je z důvodu dosažení správnosti a přesnosti výsledků verifikován pomocí softwaru SmartFire.

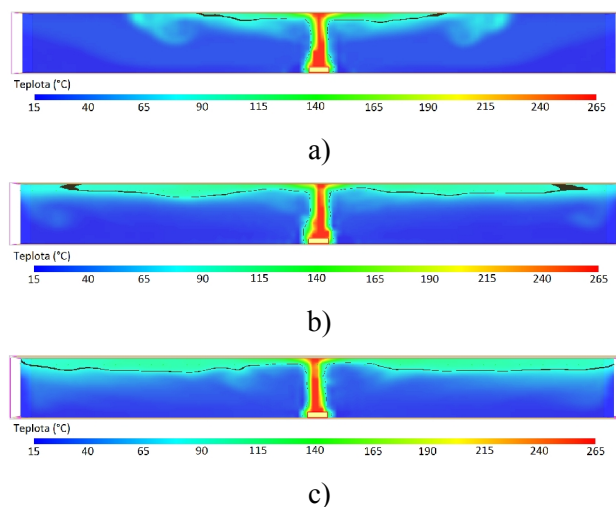
Oblast použití

Poznatky získané z numerických modelů šíření ohně a toxických plynů při haváriích v železničních tunelech umožní vypracovat pokročilé simulace evakuačních scénářů při požárech v tunelech, které jsou součástí dílčího cíle 6.4.2. Kromě optimalizace prvků bezpečnostního vybavení tunelů a evakuačních scénářů lze na základě výpočtů zdokonalit nouzové postupy záchranných složek v případě požárů v tunelech, stanovit míru přesnosti teplotních křivek pro tunely používaných ve fázi návrhu, ověřit kritickou délku zvýšeného nebezpečí v tunelu (nyní 350 m), posoudit chování materiálů tunelového ostění a kolejového lože při požáru i při prudkém ochlazení způsobeným zásahem HZS.

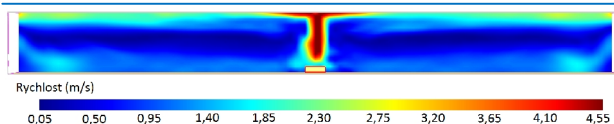
Metodika a postup řešení

Teplota plynu a rozvrstvení toxických látek při požáru jsou spolu s viditelností považovány za nejdůležitější parametry ovlivňující bezpečnou evakuaci osob při haváriích v tunelech. Tyto parametry lze s přesností určit pomocí výpočetního softwaru FDS [1], který je založen na metodě dynamické analýzy plynů (CFD). K ověření správnosti a přesnosti výsledků kódu FDS v5 byl sestaven verifikační model jednokolejného tunelu, který byl podroben výpočtu v softwaru Smart Fire

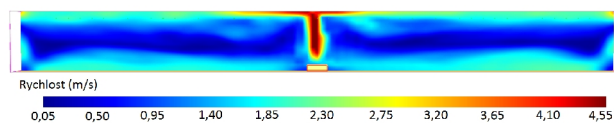
v4.3 [2]. Model sestává z jednoduché geometrie tunelu délky 50 m, obdélníkového průřezu o rozměrech 5.0 x 5.0 m. Hořák o konstantním výkonu 1MW a rozměrech 2.0 x 1.0 x 0.5 m je umístěn uprostřed délky tunelu. Ostění tunelu tvoří absolutně nevodivý materiál. Portály tunelu otevřené v celé ploše průřezu zajišťují přirozené proudění plynů. Před aktivací hořáku je vnitřní prostředí tunelu ustálené, počáteční teplota plynu je 15°C. V tunelu nejsou umístěny žádné hořlavé materiály. Výpočet je proveden pro dvě velikosti sítě – hrubá síť s dělením výpočetní domény v poměru 200 x 20 x 20 a jemná síť s dělením 400 x 40 x 40. Přestup tepla při výpočtu probíhá pomocí modelu proudění a radiačního modelu. Celkový čas simulace je 150 s. Teplota a rychlost proudění plynu z výpočetního kódu FDS detekovaná pomocí lineárního čidla umístěného v ose tunelového průřezu ve výšce 0.55 m pod stropem je uvedena na obr. 1 a obr. 2. Na obr. 1a až 1c je zvýrazněna hranice 80 °C, která je pro unikající osoby kritická. Z obrázků lze vidět, že tloušťka podstropní vrstvy horkého plynu od 30 s do 100 s díky dostatečnému přísunu chladného vzduchu v relativně krátkém tunelu výrazně neroste. Kromě teploty a rychlosti proudění plynu lze pomocí výpočtu stanovit viditelnost, obsah škodlivých látek v produktech hoření a teplotu ostění konstrukce.



Obr. 1 Vizualizace šíření horkého plynu z FDS: a) teplota v čase 12 s, b) teplota v čase 30 s, c) teplota v čase 100 s.



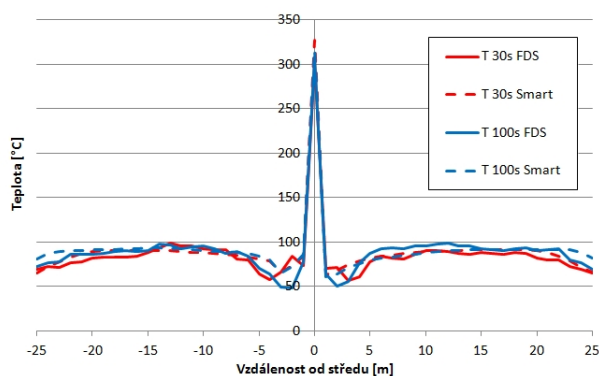
a)



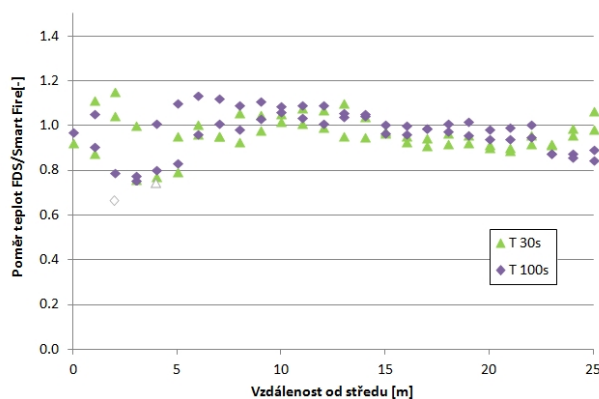
b)

Obr. 2 Vizualizace rychlosti proudění plynu z FDS: a) po 30 s výpočtu, b) po 100 s výpočtu.

Průběhy teploty plynu po délce tunelu vypočítané softwarem FDS v místě čidla v čase 30 s a 100 s pro model s hrubou sítí, které byly vybrány k verifikaci modelu, jsou zobrazeny na obr. 3. Výsledky z obou použitých softwarů jsou porovnány na obr. 4.



Obr. 3 Průběh teploty plynu po délce tunelu z FDS v 30 s a 100 s výpočtu (počátek osy x je umístěn v ose hořáku).



Obr. 4 Verifikace teploty plynu v čase 30 s a 100 s výpočtu.

Z poměru vypočtených hodnot teploty plynu (FDS/Smart Fire) lze vidět, že maximální rozdíl v oblasti zasažené plameny (-5 m až +5 m) se pohybuje kolem 20 %. V oblasti ovlivněné podstropním prouděním horkého plynu, dále od osy plamene, se hodnoty liší do 10 %. Podle teorie pravděpodobnosti a statistiky lze data popsat pomocí aritmetického průměru, střední kvadratické odchylky a směrodatné odchylky – v čase 30 s (0,96; 0,01;

0,08), v čase 100 s (0,97; 0,01; 0,10). Paersonův korelační koeficient je v čase 30 s roven 0,978 a v čase 100 s roven 0,970. Výsledky statistických vztahů dokazují, že modely v obou použitých softwarech dosahují dobré shody.

Součástí ověření spolehlivosti výpočtů v FDS je validace modelu pomocí požárních experimentů v tunelech popsanych v literatuře a parametrická studie, která zohledňuje vliv velikosti buněk výpočetní sítě a volbu radiačního modelu na výsledky.

K modelování v FDS bylo vybráno pět železničních tunelů (Špičácký, Návojský, Krasíkovský, Březno, Vítkovské), dva havarijní scénáře (havárie s následným požárem, požár s následným zastavením) a čtyři požární scénáře dle zdroje zapálení (přepravovaný náklad – osobní a nákladní automobil, kapalina z lokomotivy, vagon osobního vlaku), které vedou z pohledu bezpečnosti osob k nejzávažnější požární situaci. Na základě těchto simulací bude provedena analýza dat pro modely evakuačních scénářů.

Výsledky

V uplynulém roce byla nastudována problematika numerického modelování dynamiky požáru a šíření toxických látek v železničních tunelech v softwaru FDS. V rámci modelování byl ověřen vliv velikosti buněk výpočetní sítě a volba radiačního modelu na výsledky. Pomocí verifikační studie v softwaru Smart Fire byla ověřena přesnost modelu hoření v tunelu. Pro účely modelování evakuačních scénářů bylo vybráno pět železničních tunelů, v kterých jsou modelovány různé havarijní scénáře s rozdílnými zdroji požáru tak, aby byla z pohledu bezpečnosti osob vystižena nejzávažnější situace.

Literatura

- [1] McGrattan, K., Hostika, S., Floyd, J., Baum, H., Rehm, R., *Fire Dynamics Simulator (Version 5), Technical Reference Guide*, NIST Special Publication 1018-5, p. 86, October 2007, U.S. Government Printing Office, Washington, 2007.
- [2] Ewer, J., Jia, F., Grandison, A., Galea, E., Patel, M., *SmartFire – User guide and technical manual*, Smartfire tutorials, March 2013.
- [3] Beard, A., Carvel, R., et al., *Handbook of Tunnel Fire Safety*, ICE Publishing, Second edition, 2005.