

Šíření a odsávání kouře v silničním tunelu Mrázovka v Praze

Smoke propagation and exhausting in Mrázovka road tunnel in Prague

Dr. Ing. Jaroslav KATOLICKÝ,
Prof. Ing. Miroslav JÍCHA, CSc.
VUT Brno
Ing. Ludvík ŠAJTAR
Ing. Jiří ZÁPAŘKA
Satra a. s., Praha

V příspěvku jsou výsledky matematického modelového šíření kouře při požáru v automobilovém tunelu. Je uveden přípustný účinek odsávání kouře stropními štěrbinami nad místem požáru.

Klíčová slova: větrání, požární větrání, tunel, simulace CFD

The contribution presents the results of mathematical model of smoke propagation in road tunnel in case of fire. The admissible effect of smoke exhausting through ceiling slot-outlets above the spot of fire.

Key words: ventilation, fire ventilation, tunnel, CFD simulation

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Vznik požáru v silničním tunelu a znalost jeho šíření je problematika nesmírně důležitá z hlediska bezpečnosti osob nacházejících se v tunelu. Zejména po posledních dvou požárech v alpských tunelech se dostává této otázce zvýšené pozornosti.

Pro posouzení a návrh odsávací soustavy určené k odvedení kouře ze vzniklého ohně je nutno mít znalost o tom, jak se oheň po svém vzniku v tunelu šíří. Na šíření ohně má vliv celá řada parametrů. Lze je rozdělit do dvou hlavních skupin:

- parametry spojené přímo se zdrojem ohně, tj. uvolněná tepelná energie a množství generovaného kouře.
- podmínky v tunelu, které následně ovlivní rychlost šíření kouře. Mezi tyto podmínky patří v první řadě typ větrací soustavy tunelu (podélné, příčné, polopříčné) a provoz automobilů v tunelu v okamžiku vzniku ohně. Tyto podmínky ustaví charakter proudového pole v tunelu před vznikem ohně. Dále rychlost aktivace větrací soustavy pro odvětrání ohně a "kvalita" této soustavy a v neposlední řadě povětrnostní podmínky na portálech tunelu a jeho sklon, které ovlivní přirozené proudění v tunelu a následně šíření kouře.

Šíření ohně se dá modelovat dvojím způsobem:

1. Řeší se přímo hoření určitého zadaného paliva. V tomto případě je nutno zvolit vhodný model difusního spalování.
2. Oheň se simuluje jako zdroj energie s transportem pasivního skaláru – koncentrace kouře. Neřeší se samotné hoření. Tento způsob je standardně při simulaci šíření kouře používán [1]. Je co do výpočtové náročnosti levnější a výsledky jsou v dobré shodě s měřeními. Tento přístup byl zvolen v našem příspěvku.

Problém byl řešen pomocí CFD kódu StarCD [2].

1. STRUČNÝ MATEMATICKÝ POPIS A POSTUP ŘEŠENÍ

Soustava parciálních diferenciálních rovnic pro zachování hmotnosti, hybnosti a pasivního skaláru byla řešena pro nestlačitelné, nestacionární, vazké turbulentní proudění. Obecná rovnice s obecnou proměnnou ϕ má tvar:

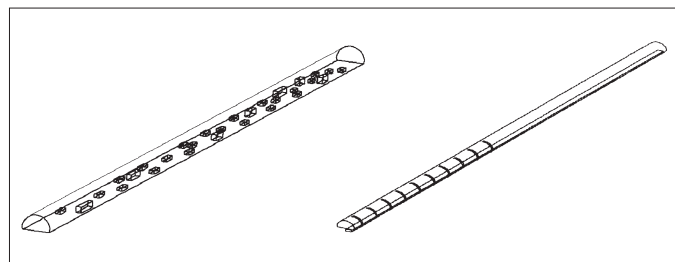
$$\frac{\delta}{\delta t}(\rho\phi) + \frac{\delta}{\delta x_i}(\rho u_i \phi) = \frac{\delta}{\delta x_i} \left(\Gamma \frac{\delta \phi}{\delta x_i} \right) + S_\phi \quad (1)$$

kde Γ je obecný difusní koeficient. Pokud proměnná ϕ představuje rychlost proudění, obsahuje zdrojový člen S_ϕ tlakový gradient, pokud představuje entalpii, je to objemový zdroj energie z ohně, pokud koncentraci, zdroj obsahuje množství generovaného kouře. Jako model turbulence byl zvolen standardní model $k-\epsilon$ a model simulace velkých vírů LES (Large Eddy Simulation).

2. MODEL TUNELU A ŘEŠENÉ VARIANTY

Pro řešení šíření ohně byla zvolena část tunelu o třech jízdních pruzích o délce 430 m na každou stranu ohně. U většiny variant, které jsou dále popsány, byla řešena pouze jedna polovina, tj. délka 430 m za předpokladu symetrie. U variant, které byly řešeny pro tunel ve sklonu, tj. varianty 1b, 1c, 2b, 2c, byla řešena celá délka tunelu, tj. 430 m na každou stranu od ohně, tj. celková délka byla 860 m. Řešeny byly následující varianty:

1. Uvolněná energie **20 MW**, nulová počáteční rychlost proudění v tunelu, oheň ve středním pruhu:
 - a) sklon tunelu **0 %** – obr. 3
 - b) sklon tunelu **0,7 %** – obr. 4
 - c) sklon tunelu **4,5 %** – obr. 5
2. Uvolněná energie **20 MW**, zadaná počáteční rychlost proudění v tunelu, oheň ve středním pruhu:
 - a) sklon tunelu **0 %**, počáteční rychlost proudění v tunelu **+2 m/s** – obr. 6
 - b) sklon tunelu **4,5 %**, počáteční rychlost proudění v tunelu **+2 m/s** – obr. 7
 - c) sklon tunelu **4,5 %**, počáteční rychlost proudění v tunelu **-2 m/s** – obr. 8
3. Uvolněná energie **5 MW**, nulová počáteční rychlost proudění, **sklon tunelu 0 %**, oheň ve středním pruhu.
4. Uvolněná energie **20 MW**, nulová počáteční rychlost proudění, **sklon tunelu 0 %**, oheň v **krajním pruhu**.
5. Uvolněná energie **20 MW**, nulová počáteční rychlost proudění, **sklon tunelu 0 %**, oheň ve středním pruhu, **dopravní pruhy zablokované stojícími automobily** – viz obr. 1.
6. Uvolněná energie **20 MW**, nulová počáteční rychlost proudění, **sklon tunelu 0 %**, oheň ve středním pruhu, **zapojeno odsávání** 10 otvory s roztečemi 20 m v celkové délce 200 m – viz obr. 2.



Obr. 1 Rozestavení aut v tunelu

Obr. 2 Schéma odsávacích otvorů

7. jako 6., ale odsávání aktivováno 60 s po vzniku ohně obr. 9, resp. nespustěno – obr. 10. V této variantě byl použit alternativně také model turbulence LES.

Ve variantách 6. i 7. byla plocha jedné stropní odsávací výústky 1,5 m², odsávací kanál v boční stěně tunelu měl příčný rozměr 25 cm x 1,5 m. Stropními výústkami bylo odsáváno 150 m³/s vzduchu, množství generovaného kouře 60 m³/s, objemový zdroj kouře (při objemu hořícího auta 30m³) byl $R_k = 0,64 \text{ kg/m}^3\text{s}$.

Všechny varianty byly řešeny s radiací kouřových plynů a řešen časový vývoj kouře po délce tunelu.

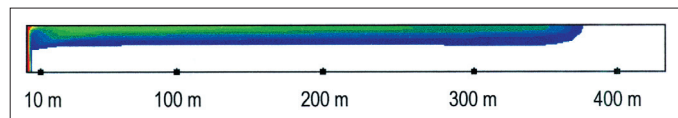
3. OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Varianty, kdy tunel nebyl ve sklonu, byly řešeny jen pro poloviční délku tunelu s tím, že zdroj ohně se nacházel uprostřed délky tunelu, kde také byla zadána podmínka symetrie. Na konci tunelu v místě jeho portálu byl zadán barometrický tlak. Pohybové rovnice byly řešeny se zahrnutím vztakové síly. Ve variantách, kdy byl modelován tunel ve sklonu, byly na obou portálech definovány tlaky podle výškového rozdílu.

4. VÝSLEDKY ŘEŠENÍ A JEJICH DISKUSE

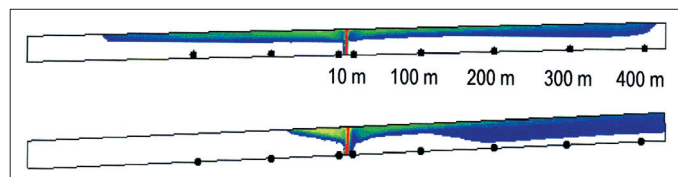
Výsledky řešení jsou ve velmi stručné podobě v následujících obr. 3 až 10. Je na nich pole koncentrací pasivního skaláru v čase 140 s po vzniku ohně, přičemž jako ohraničující hodnota koncentrace bylo zvoleno 5 % (100 % je v místě vzniku ohně). Varianty 3, 4 a 5 nejsou znázorněny, jejich výsledky jsou velmi podobné výsledkům varianty 1a (u var. 3 je poněkud kratší vzdálenost na níž se rozšíří kouř a také zaplnění tunelu po výšce je menší, var. 4 a 5 jsou téměř totožné s var. 1a. Z výsledků var. 5 je tedy patrné, že zaplnění tunelu auty neovlivní šíření kouře). Na základě výsledků modelování lze učinit následující závěry:

1. V případě tunelu ve sklonu 0 % se kouř šíří symetricky na obě strany od ohně a do prostoru ohně se z venku portály přísává čerstvý vzduch. Kouř se šíří relativně rychle, za 140 s se dostane do vzdálenosti 370 m – viz obr. 3. Kouř vyplní v příčném průřezu zhruba polovinu výšky (bráno od stropu) tunelu.



Obr. 3 Varianta 1a – 20 MW, sklon 0°, nulová počáteční rychlost

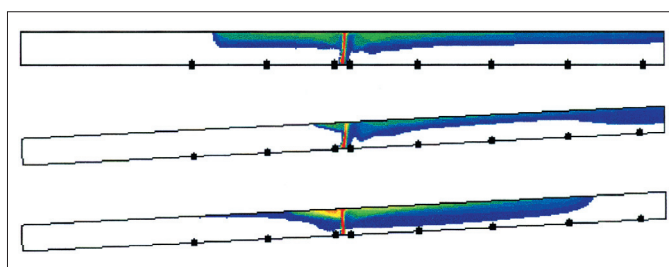
2. Pokud je tunel ve sklonu, kouř se šíří rychleji ve směru působení vztakové síly – obr. 4 a 5. Zaplnění tunelu po výšce je podstatně větší.



Obr 4 Varianta 1b – 20 MW, sklon 0.7°, nulová počáteční rychlost

Obr 5 Varianta 1c – 20 MW, sklon 4.5°, nulová počáteční rychlost

3. Podobnou charakteristiku lze vidět i v případě, že je v tunelu v okamžiku vzniku ohně aktivováno nucené větrání, eventuálně ještě se vztakovou silou v tunelu ve sklonu – obr.6, 7 a 8. Pokud je nucené větrání ve směru vztakové síly, oheň se šíří v tomto směru rychleji k vyššímu portálu – obr. 7. Pokud je směr nuceného větrání proti směru vztakové síly, rychlost šíření je menší, ale je výrazně větší zaplnění tunelové roury kouřem na obou stranách od ohně – obr. 8.

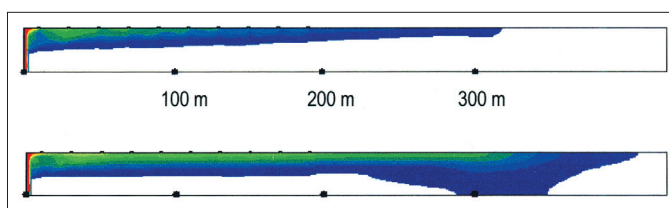


Obr. 6 Varianta 2a – 20 MW, sklon 0°, počáteční rychlost + 2m/s (zleva doprava)

Obr. 7 Varianta 2b – 20 MW, sklon 4.5°, počáteční rychlost + 2m/s

Obr. 8 Varianta 2c – 20 MW, sklon 4.5°, počáteční rychlost – 2 m/s (zprava doleva)

4. Odsávání stropními otvory zkracuje významným způsobem vzdálenost, na kterou se kouř rozšíří – viz obr. 9 a 10. Pokud není odsávání aktivováno, kouř po určité vzdálenosti zcela zaplní po výšce tunelovou rouru.



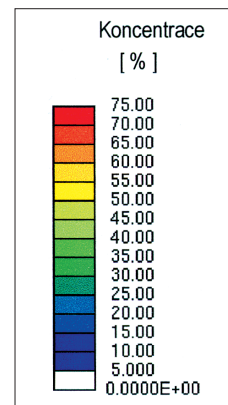
Obr. 9 Varianta 6 – Model turbulence LES, celkový čas 180 s po vzniku ohně, odsávání spuštěno 60 s po vzniku ohně

Obr. 10 Varianta 7 – Model turbulence LES, celkový čas 180 s po vzniku ohně, odsávání nespustěno

Literatura:

- [1] Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program – Phase IV, Report for Massachusetts Highway Department by Bechtel/Parsons Brinckerhoff, 1999
- [2] StarCD, User Guide, version 3.05, Computational Dynamics Ltd, London, 1998.

Príspevek byl přednesen na Konferenci Klimatizace a větrání 2002 ve dnech 29.–30. 1. 2002.



Obr. 11 Stupnice koncentrací

* Vzduchové filtry pro hygienu větrání

Otázka účinné filtrace v vzduchotechnických zařízeních vstoupila v poslední době do popředí jako jedno z protipatření proti tzv. syndromu nemocných budov. Hygiena vnitřního vzduchu se však netýká jen ochrany zdraví osob, ale i ochrany výrobků a nabývá, zejména v některých výrobních procesech, jako např. ve farmacii nebo potravinářství, čím dále tím více na významu.

Některé výrobní procesy vyžadují kromě čistoty ovzduší i jeho vysokou relativní vlhkost, což má za následek, že se filtry rychle provlhčují a je nutná jejich častější výměna. Firma AAF přišla s novým řešením – vzduchové filtry opatřené biostatikem Intersept®. Rozsáhlé testy s filtry AAF takto vybavenými prokázaly, že tyto filtry i při trvale vysoké vlhkosti vzduchu zachovávají svou funkční schopnost a biostatickou účinnost daleko přes dobu nutnou k jejich výměně.

Intersept® je výsledkem dlouholetého výzkumu a je s úspěchem aplikovaný více než 10 let v nemocnicích. Jeho účinnost k potlačování růstu plísní a bakterií na materiálu filtrů při úplné zdravotní nezávadnosti byla mnohokrát ověřena nezávislými institucemi.