Ing. Jiří ZÁPAŘKA,
Ing Jan POŘÍZEK,
Satra spol. s r. o.

Větrání v dálničních tunelech při požáru

Higway Tunnel Ventilation in Case of Fire

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Článek se věnuje problematice větrání dálničních tunelů při požáru a volně navazuje na článek ve VVI 5/2007 „Odvod kouře ze silničního tunelu při požáru“, který se zabýval normami a doporučeními pro větrání silničních tunelů v ČR a zahraničí.
V první části se článek soustředí na hlavní parametry ovlivňující šíření kouře v tunelu. Ve třech kapitolách je na pozadí vlivu jednotlivých parametrů (sklon, délka, protivítr) ilustrována důležitost rychlosti reakce vzduchotechniky. Scénáře byly počítány numerickým modelování proudění, na modelech s geometrií a výkonem odpovídajícím dálničním tunelům v České republice: Lochkov, Valík a Klimkovice.
Druhá část je věnována významu požárních zkoušek v souvislosti s intenzitou požáru a s vlivem strategie řízení větrání, na způsob šíření kouře a tepla v tunelu.
Klíčová slova: *silniční tunel, bezpečnost tunelu, požární zkouška, délka tunelu; podélné větrání, řízení větrání, požární větrání, CFD, Solvent, FDS.*

The subject of the article is road tunnels ventilation during fire and follows loosely previous article in VVI 5/2007 „ Smoke control in road tunnel during fire“, that discussed standards and recommendations for ventilation operation in road tunnels in Czech Republic as well as abroad.
The article is in the first part focused at the main factors influencing smoke behavior in the road tunnel. In three chapters, is on different parameters (slope, length and wind), illustrated the need of immediate reaction of the ventilation system. Scenarios were calculated by Solvent on models with geometry and performance corresponding to several highway tunnels in Czech Republic as: Lochkov, Valík a Klimkovice.
Second part deals with importance of fire tests in relation with fire heat release and the influence of ventilation control strategies on smoke and temperature in the tunnel.
Key words: *road tunnel, tunnel safety, fire test, tunnel length; longitudinal ventilation, smoke control, emergency ventilation, CFD, Solvent, FDS.*

V roce 2007 ve VVI 5/2007 vyšel článek – zamyšlení ing. Pokorného „Management podélného větrání při požárech ve stavbách silničních tunelů“. Jeho přínosem v původní části bylo upozornění na reálný problém ČSN 73 7507 v kapitole požárního větrání, který jsem podpořil podrobným rozborem této normy a který vyšel ve stejném čísle. Problémem článku ing. Pokorného bylo, že se zabýval pouze tunely do délky 500 až 600 m (zjevně tunelem Valík), aniž by to uváděl. Tento příspěvek se pokusí zasadit tyto „krátké až střední“ tunely do kontextu celé problematiky řízení podélného větrání a tím i kouře v tunelu při požáru. V článku jsou prezentovány výsledky simulací, které byly získány řešením trojrozměrných modelů, řešených CFD modelováním v programech: SOLVENT v 1.0. a Fire Dynamics Simulator v. 5.1.6 (FDS).

Program SOLVENT je založen na jádru CFD programu COMPACT-3D jehož jádro bylo optimalizováno pro řešení všech standardních systémů větrání v tunelech příp. jejich kombinací. Model je řešen jako nestacionární třírozměrný numerický model tvořený zákony zachování hmoty, hybnosti, energie a parametrů turbulence ($k - \varepsilon$ rozšířený o vztlakové síly). SOLVENT je výsledkem spolupráce Innovative Research, Inc. a Massachusetts Highway Department. a byl ověřen v rámci skutečných zkoušek v tunelu Memmorial v letech 1995-98.

FDS řeší Navier-Stokesovy rovnice numerickým schématem vhodným pro nízké rychlosti při neizotermním proudění s důrazem na přenos kouře a tepla od požáru. Turbulence je řešena v upraveném Smagorinskeho schématu Large Eddy Simulation (LES). Lze také použít přímou numerickou metodu (Direct Numerical Simulation – DNS). FDS byl vytvořen americkým národním úřadem pro vydávání standardů – National Institute of Standards and Technology (NIST). Pro zasíťování modelu je využívána strukturovaná rovnoměrná nebo nerovnoměrná síť v kartézských souřadnicích a metoda konečných objemů.

Při tvorbě modelů byly zachovány stejné počáteční i okrajové podmínky. Detailní rozbor a popis modelování v těchto programech je nad rámec tohoto článku. Každý z programů má ovšem své výhody i nevýhody a záleží na zkušenostech uživatele, který z těchto dvou CFD řešitelů použije. V zásadě ale vždy platí pravidlo, že jakékoliv výsledky matematického modelování jsou doposud jenom jistou formou aproximace skutečnosti.

Pokles pístového účinku vozidel a ostatní okrajové nebo počáteční podmínky ve 3D modelech byly stanoveny jednorozměrnou simulací proudění. Základní popis metodiky jednorozměrného modelování proudění v automobilových tunelech je např. uveden v [1].

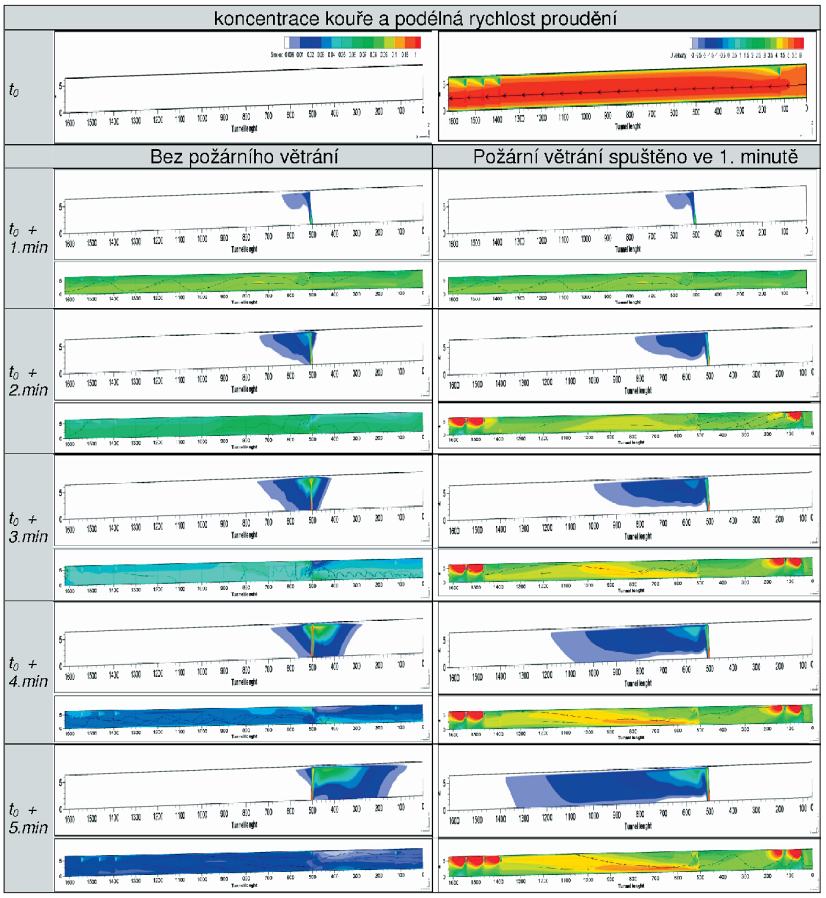
1. ŠÍŘENÍ KOUŘE PŘI POŽÁRU

Pro názornost jsou použity modely tří tunelů v ČR – Valík, Klimkovice, Lochkov. V České republice je od roku 1997 v provozu 6 dálničních tunelů a další 3 by měly být otevřeny v blízké době (tab. 1). Všechny dálniční tunely jsou větrány podélně, tzn. tunel nemá žádnou strojovnu, která by zároveň sloužila také pro odvod kouře, ale kouř je odváděn ve směru jízdy výjezdovým portálem tunelu s využitím proudových ventilátorů zavěšených pod stropem tunelu. Tunely bez vybavení proudovými ventilátory jsou odvětrány přirozeně za působení vztlaku mezi portály. Následující kapitoly se věnují vlivu klesání tunelu, délky tunelu a protivětru na výjezdový portál.

Tab. 1

Poloha v ČR	Tunel	V provozu od roku	Délka m	Sklon %	Provoz	Intenzita dopravy** voz./ 24 h	Systém větrání
I/35 mezi Svitavami a Moravskou Třebovou	Hřebeč	1997	355	6,3	obousměrný		podélné ***
R35 mezi Lipníkem nad Bečvou a Olomoucí	Dolní Újezd	1999	93	3,95	jednosměrný		podélné přirozené
D5 u Plzně	Valík	2006	385	4	jednosměrný	50 000	podélné
D8 v Krušných horách	Panenská	2006	2.140	3,2	jednosměrný		podélné
D8 v Krušných horách	Libouchec	2006	510	4,5	jednosměrný		podélné
D47 u Ostravy	Klimkovice	2008	1.080	0,6	jednosměrný	26 200	podélné
R1 Pražský okruh - Jih	Cholupice	2010*	1.930	4	jednosměrný		podélné
R1 Pražský okruh - Jih	Šabatka	2010*	70	4	jednosměrný		podélné přirozené
R1 Pražský okruh - Jih	Lochkov	2009*	1.655	4	jednosměrný	69 040	podélné
Celkem			8.220				

* předpoklad
** projektová intenzita; aktuální intenzita např. na D47 je nižšší;
*** podélný systém nuceného odvodu kouře; tunely jsou vybaven proudovými ventilátory;
Zdroje: Podzemní stavitelství v České republice 2007



Obr. 1 Lochkov – požár v klesajícím tunelu

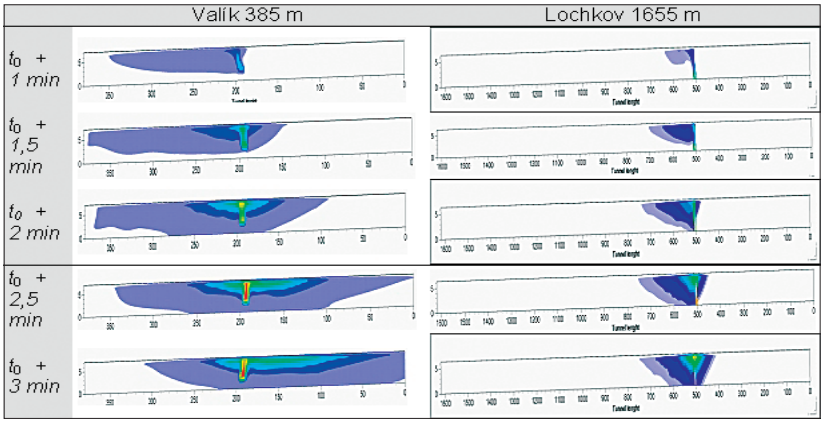
1.1 Sklon

U všech tunelů je nejpodstatnější rychlost detekce a rychlost spuštění automatického požárního režimu. Důležitost rychlosti detekce a rychlosti reakce řídicího systému je zdůrazněna u tunelu s klesáním. Z hlediska ochrany uživatelů v tunelu je rozhodujících prvních 10 až 15 minut od vzniku požáru. V této době je správná funkce požárního větrání zásadní. Vlastní strategie řízení po spuštění jsou rozebírané podrobněji v prvním článku ve VVI 5/07.

Na obr. 1 je porovnání vývoje šíření kouře v čase bez spuštěné vzduchotechniky a se vzduchotechnikou reagující v 1. minutě od vzniku požáru řešením v programu Solvent. Model má geometrické a výkonové parametry tunelu Lochkov. Uvedený scénář zahrnuje 30 MW požár s nárůstem do maxima ve 2. minutě; protivítr na výjezdový portál 4 m/s; pokles tlaku vlivem vyjíždějících vozidel není ve výpočtu zahrnut. Vývoj je porovnáván po minutách. Kromě koncentrace kouře je vykreslena i podélná rychlost proudění. V příkladu uvedeném na obr. 1, požár nastal v okamžiku dopravní špičky. Ve výpočtu jsou zahrnuty tlakové změny vlivem požáru (vztlak, místní vliv požáru), tlakové podmínky na portálech, nárůst ztrát vlivem stojících vozidel zablokovaných v tunelu požárem a vliv proudových ventilátorů. Je zřejmé, že existuje určitá setrvačnost proudění v tunelu, tedy kouř se ještě nějaký čas bude šířit ve směru jízdy. Pokud by vzduchotechnika nebyla spuštěna, osoby a vozidla před požárem by byla zasažena nejprve kouřem, a později i možným přenesením požáru.

1.2 Délka

Omezujícím faktorem strategie popsané v předcházející kapitole je délka tunelu. (Tento případ je popisován ing. Pokorným.) Na obr. 2 (SOLVENT) je porovnána situace po vznícení požáru 30 MW v tunelu Valík a v tunelu Lochkov bez spuštěné vzduchotechniky při rychlosti protivětru 4 m/s. Nárůst intenzity tepelného výdeje požáru do maxima za 2 minuty. U tunelů kratších než 500 až 600 m je možnost efektivního zásahu při požáru omezená. Kouř během krátké doby dosáhne výjezdového portálu, obrátí se, a v čase 2:30 min od vznícení začne opouštět tunel vjezdovým portálem. Setrvačnost vzduchu v tunelu je malá. Pokud jsou tyto tunely navíc ve sklonu nebo s portály vystavenými větru, vznikají velké požadavky na tah a na počet ventilátorů společně s rychlostí detekce. Z rizikové analýzy u takovýchto tunelů často plyne, že i když jsou některé tunely vybaveny proudovými ventilátory, během fáze evakuace jsou vypnuty. Potřeba rychlosti detekce je nutná z důvodu vypnutí proudových ventilátorů, pokud by byly v rámci provozního větrání před požárem v provozu.

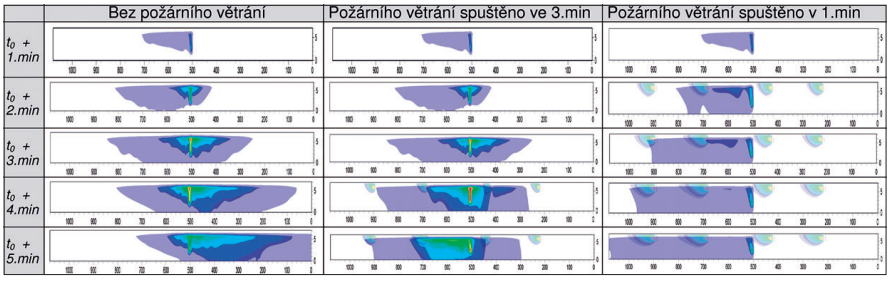


Obr. 2 Vliv délky tunelu – přirozené proudění

Pro přesnější posouzení vývoje v čase je třeba do detailu zvážit všechny parametry včetně vlivu postupného poklesu pístového efektu vlivem vyjíždějících vozidel za vzniceným požárem ve směru jízdy a vjíždějících do tunelu ještě před jeho uzavřením. Pro tyto účely je využíván jednorozměrný výpočet.

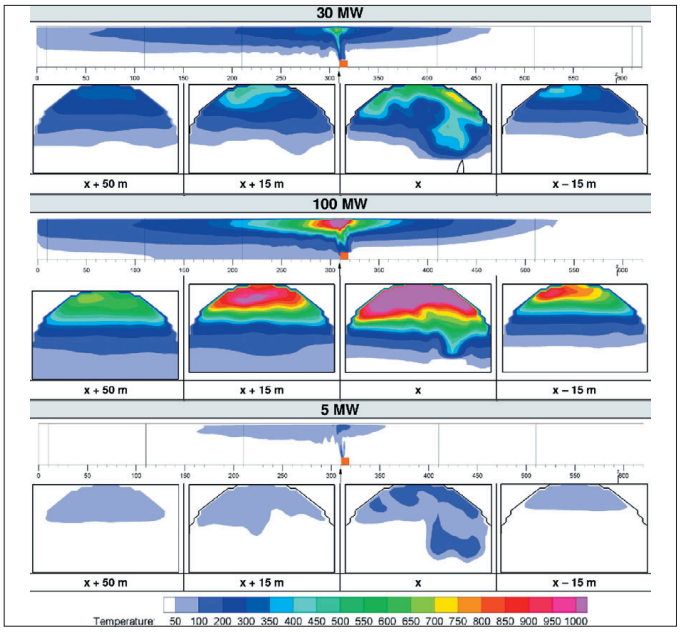
1.3 Protivítr

Obdobně jako sklon a délka tunelu, tak i protivítr na výjezdovém portále vyžaduje okamžitou reakci vzduchotechnického systému. Ve většině případů se síla větru na portál pohybuje do 4 až 5 m/s. Tunel Klimkovice je příkladem, kdy bylo třeba uvažovat s vyšší rychlostí. Rychlost větru měřená na portálech ve výšce okolo 8 m nad povrchem dosahuje v poryvech až 10 až 12 m/s. Obr. 3 (Solvent) ukazuje vývoj šíření kouře při protivětru na portál 8 m/s bez spuštěné vzduchotechniky a se spuštěnými proudovými ventilátory.

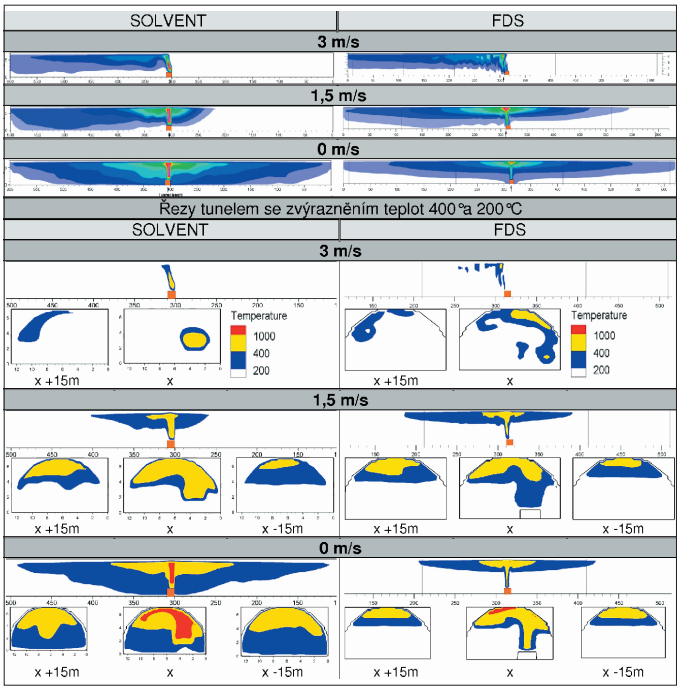


Obr. 3 Klimkovice – vliv protivětru 8m/s

Před uvedením do provozu byl kromě standardních zkoušek prověřen také výkon systému větrání, zvýšením protitlaku na výjezdový portál mobilním ventilátorem.



Obr. 4 Intenzita požáru při u = 1,5 m/s



Obr. 5 Teplotní pole v závislosti na rychlosti podélného proudění

2. POŽÁRNÍ ZKOUŠKY

Velký důraz je kladen na bezpečnost tunelů v případě požáru a často je opakován názor, že pro ověření bezpečnosti je potřeba podrobit tunel požární zkoušce ohněm. Proto proběhla při příležitosti zprovoznění tunelu Valík (2006) první požární zkouška na dálničním tunelu. Plánovaná požární zkouška při zprovozňování tunelu Klimkovice (2008) byla zrušena a větrací systém byl prověřen měřením podélné rychlosti v tunelu. Další požární zkoušky jsou plánovány v tunelech Lochkov a Cholupice (2010). Výkon větracího systému se standardně zkouší ověřením rychlosti podélného proudění v tunelovém tělese. Kouř, ani teplý, ani studený, není potřeba. Jedná se pouze o vizualizaci proudění, které vlivem omezeného výkonu na 5 MW (z důvodu záručních podmínek vybavení), nemůže ověřit systém dimenzovaný na 30 až 50 MW. A už vůbec neposkytne informaci o tom, jak se systém bude chovat při požáru nad 100 MW.

2.1 Intenzita požáru

Občas je slyšet důvod, že zkoušky ohněm jsou třeba pro ověření stavby vystavením vyšší teplotě. V takovém případě je třeba konkrétně stanovit cíl a vyhodnotit praktickou využitelnost poznatků z takové zkoušky.

Na obr. 4 je (výpočtem v programu FDS) ilustrováno šíření kouře při různé intenzitě tepelného výdeje požáru. Pro porovnání různých intenzit tepelného výdej požáru byly zvoleny hodnoty: 30, 100 a 5 MW a ve všech případech stejná počáteční podélná rychlost 1,5 m/s. 30 MW je standardně užívaná hodnota tepelného výdeje pro návrhový požár a odpovídá požáru nákladního vozidla. Hořící nákladní vozidlo však může mít tepelný výdej 100 MW i víc. Při zkouškách v tunelu Runehamar dosáhl největší zkušební požár s vrcholem tepelného výdeje v 18,5 minutě od zapálení, průměrně 203 MW. Ve vybavených tunelech jsou zkoušky omezeny výkonem do 5 MW, což je ekvivalent tepelného výdeje při požáru osobního vozidla.

2.2 Teplota v tunelu

V závislosti na dopravním stavu může být zvolena různá strategie přístupu zohledňující možnost přítomnosti osob v místech za požárem ve směru jízdy. Regulací na nižší podélnou rychlost pod 2 m/s existuje po omezenou dobu pravděpodobnost stratifikovaného šíření i na straně za požárem. Viditelnost a dýchatelnost přetrvá pravděpodobně po delší dobu, ovšem za cenu zvýšení rizika pro unikající osoby před požárem. Při použití strategie nadkritické rychlosti je oblast před požárem chráněna bezpečně. Různé rychlosti proudění mají vliv na rozložení teplot v tunelu. Na obr. 5 jsou pro ilustraci vybrány rychlosti 3; 1,5 a 0 m/s, pro požár o tepelném výkonu 30 MW s nárůstem na maximum do 2 minut. Pro porovnání jsou uvedeny výpočty v programu Solvent i FDS.

Výsledky ukazují, že bez podélného proudění je teplota na klenbě tunelu přes 400 °C v oblasti okolo 50 m na obě strany požáru. Při rychlosti 1,5 m/s, se oblast zúží přibližně na polovinu a při dalším zvýšení rychlosti na 3 m/s teplota dosahuje 400 °C jen místně a 200 °C dosahuje v oblasti řádově jednotek metrů. Programy ve výsledcích vykazují velkou shodu. Rozdíly jsou výraznější při rychlostech proudění blížících se nule, kdy se pravděpodobně projevuje to, že program SOLVENT je specificky vyvinutý pro prostředí s podélným prouděním charakteristickým pro tunely.

ZÁVĚR

1. Z hlediska bezpečnosti, řídící systém musí aktivovat předem naprogramovaný požární režim co nejrychleji po detekci. Větrání, pokud se spouští, musí být okamžitě spuštěno. Pokud se u krátkých nebo středně dlouhých tunelů nespouští, musí být okamžitě vypnuto.

2. Je také zřejmé, že požární zkouška ohněm nepřinese žádnou novou informaci kromě té, že se jedná o drahé vizuální divadlo, které lze efektivněji využít spíše osvětově, protože přes všechna stavební, technologická, požární, dopravní aj. opatření, nejzásadnější roli z hlediska smrtelných následků hraje informovanost ohrožených motoristů, obsluhy i zasahujících jednotek. Význam požárních zkoušek ohněm je často nepochopen. Relevantní, tedy prakticky využitelné výsledky pro zvýšení bezpečnosti, lze získat pouze z odborné rizikové analýzy posouzením vývoje jednotlivých scénářů pro každý tunel, která zohledňuje vybavení tunelu, četnost rizikových událostí a posouzení kritických scénářů požárů vyšších intenzit, než je hodnota návrhová v závislosti na následcích a přijaté míře rizika atd. Tato dokumentace musí být živá – neustále aktualizovaná na základě zkušeností z provozu.

Použité zdroje:

[1] Pořízek, J.: Simulace 1-D proudění v portálovém objektu tunelu Blanka. *Vytápění, větrání, instalace,* 2007, roč. 16, č. 2, s. 83–88.
[2] NIST, Fire Dynamics Simulator (Version 5) – User's Guide, May 2008
[3] SOLVENT Version 1.0, User's Manual – a computational tool for the simulation of fluid flow, heath transfer, and smoke transport in tunnels, 2000, Massachusetts Highway Department / Innovative Research, Inc. ■