ŠÍŘENÍ ZEMNÍHO PLYNU V UZAVŘENÉM PROSTORU A UTVÁŘENÍ VÝBUŠNÉ SMĚSI

Aleš Tulach[1], Miroslav Mynarz[2], Milada Kozubková [3]

ABSTRACT
The paper solved by the spread of the leaked gas enclosure and defining areas where arise local critical concentration. Coherent picture of the spread of natural gas is obtained through mathematical CFD models. At the specific time from the beginning of leakage, i tis possible to determine the exact distribution of the concentration of the gas mixture. The ultimate goal is to significantly reduce the risk of fire or explosion, or to prevent them. This can be proven by better understanding the spread of a mixture of gaseous fuels in confined spaces.

Key words: CFD models, local concentration, the critical concentration, diffusion of gas.

ABSTRAKT
V příspěvku je řešeno šíření uniklého zemního plynu uzavřeným prostorem a definování oblastí, kde vznikají místní kritické koncentrace. Celistvý obraz šíření zemního plynu je získán díky matematickým CFD modelům. V určitém čase, od počátku úniku, je tak možné zjistit přesné rozložení koncentrací plynné směsi. Konečným cílem je výrazně snížit riziko vzniku požáru nebo výbuchu, nebo jim předcházet. To lze dokázat lepším pochopením šíření a distribuce směsí plynných paliv v uzavřených prostorech.

Klíčová slova: CFD modely, místní koncentrace, kritické koncentrace, šíření plynu.

[1]) Ing. Aleš Tulach, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra požární ochrany, Lumírova 630/13, Ostrava - Výškovice, 700 30, Česká republika
[2]) Ing. Miroslav Mynarz, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra požární ochrany, Lumírova 630/13, Ostrava - Výškovice, 700 30, Česká republika
[3]) prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 17. listopadu 15/2172, Ostrava - Poruba, 708 33, Česká republika

ÚVOD

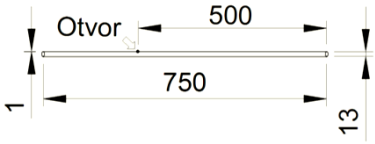
Při běžných výpočtech lze stanovit pouze množství uniklého plynu a dobu kdy dojde k vytvoření výbušné koncentrace v celém objemu ohraničeného prostoru (místnosti). Pro detailnější popsání šíření výbušného plynu je možné využít matematické modely. Tato úloha byla řešena pomoci softwaru ANSYS Fluent [1].

1 POPIS PROSTŘEDÍ

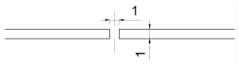
1.1 TVORBA GEOMETRIE

V programu Design Modeler byla vytvořena geometrie prostředí (Obrázek 3). Modelovány byly pouze vnitřní objemy všech částí. Geometrie je složena z potrubí s netěsností (Obrázek 1) a z objemu tvaru krychle, do kterého uniká hořlavý plyn. K úniku plynu dochází z netěsnosti o průměru 1 mm na měděném nízkotlakém plynovodním potrubí (Obrázek 2), ve kterém se tlak plynu pohybuje okolo hranice 2 kPa.

Otvor byl vytvořen vytažením válce o výšce a průměru 1 mm. Výška válce imituje stěnu měděného potrubí o tloušťce 1 mm.

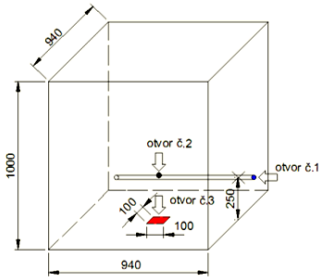


Obrázek 1 Schéma potrubí [5]



Obrázek 2 Schéma otvoru [5]

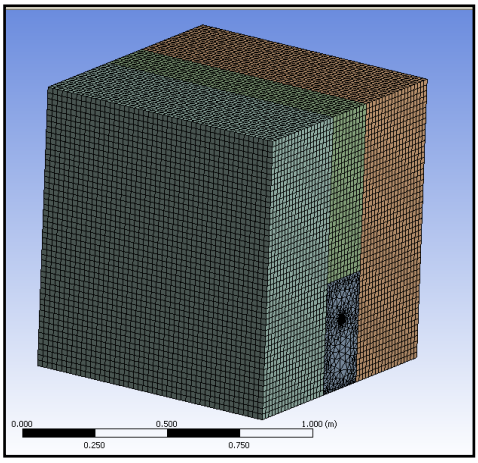
Plyn uniká do uzavřeného prostoru (krychlové nádoby). Potrubí bylo umístěno do spodní části krychlové nádoby o objemu cca 1 m^3 [5].



Obrázek 3 Vnitřní objem nádoby a umístění potrubí [5]

1.2 TVORBA VÝPOČTOVÉ SÍTĚ

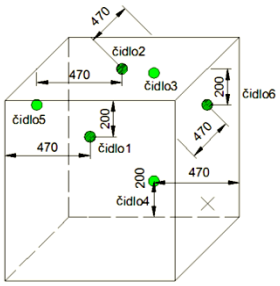
Výpočtová síť byla vytvořena v programu ANSYS Meshing. Celkovou výpočtovou síť tvoří 274 426 elementů (Obrázek 4). Parametr pro **určení kvality 3D buňky** (míry její deformace) je **0,748**. Hraniční hodnota parametru je **0,9**. Kvalita této výpočtové sítě tedy **vyhovuje** [5].



Obrázek 4 Výpočtová síť v celé soustavě [5]

1.3 TVORBA MONITOROVACÍCH BODŮ

Skrze program ANSYS Fluent bylo v modelu rozmístěno šest sledovacích bodů (Obrázek 5). Program Fluent následně z těchto bodů vyhodnotil závislost mezi dobou úniku a koncentrací metanu ve směsi se vzduchem v objemových procentech [5].



Obrázek 5 Umístění sledovacích bodů [5]

2 NUMERICKÉ MODELY

Pro numerické modelování výše popsaného fyzikálního měření byl použit program ANSYS Fluent [1], který je vhodný právě pro řešení proudění v dané oblasti. Zvolený program využívá, pro matematický popis probíhajících fyzikálních dějů, tyto zákony [3]:

Navierovy-Stokesovy rovnice (1) jsou jedny z rovnic, pomocí kterých lze proudění popsat.

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t}+\frac{\partial \rho uu}{\partial x}+\frac{\partial \rho uv}{\partial y}+\frac{\partial \rho uw}{\partial z}=\rho a_x-\frac{\partial p}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)+S_x$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t}+\frac{\partial \rho vu}{\partial x}+\frac{\partial \rho vv}{\partial y}+\frac{\partial \rho vw}{\partial z}=\rho a_y-\frac{\partial p}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right)+S_y \qquad (1)$$

$$\frac{\partial \rho w}{\partial t}+\frac{\partial \rho wu}{\partial x}+\frac{\partial \rho wv}{\partial y}+\frac{\partial \rho ww}{\partial z}=\rho a_z-\frac{\partial p}{\partial z}+\nu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)+S_w$$

V třech výše uvedených rovnicích se objevují čtyři neznámé (tlak a rychlosti všech tři složek x, y, z). Přidáním čtvrté rovnice dostáváme vztah čtyř rovnic o čtyřech

neznámých. Čtvrtou rovnicí, která pojednává o zachování hmotnostního průtoku, je **rovnice kontinuity** (2).

$$\frac{\partial(\rho)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z}=S_z \qquad (2)$$

Přenos příměsí (hmotnostního zlomku) je řešen pomocí **bilanční rovnice** (3), která v měnícím se čase počítá s hodnotami hmotnostních zlomků příměsi „Y_i“ a se složkami rychlosti proudění přítomných plynů „u_i“.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i)+\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j Y_i)=-\frac{\partial}{\partial x_j}J_{i,j}+R_i+S_i \qquad (3)$$

Rovněž bere v úvahu difúzní tok i-té komponenty směsi „$J_{j,i}$“, rychlost produkce příměsí vlivem chemické reakce „R_i“ a rychlost tvorby přírůstku z distribuované příměsi „S_i“. Distribuce příměsí se liší podle difúzního toku [3].

V řešené úloze dochází k přechodu mezi laminárním a turbulentním prouděním. Jedná se o přechodovou oblast, kde v potrubí probíhá laminární proudění (Re = 359) a v oblasti netěsnosti naopak, vlivem velkého nárůstu rychlosti, dochází k proudění turbulentnímu (Re = 4 640).

V rámci dosažení co nejlepší shody numerické simulace s experimentálním měřením bylo využito šesti matematických modelů „**Laminární**“; **k-ε Standard; k-ε RNG** a **k-ε Realizable; k-ω Standard a k-ω SST** [3].

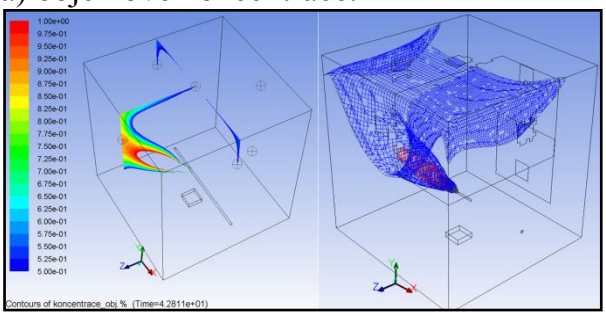
3 ŠÍŘENÍ METANU V UZAVŘENÉM PROSTORU

V reálných případech se do volného prostoru šíří zemní plyn. Proto se musí v simulaci definovat, že se jedná o směs zemního plynu se vzduchem.

Použitý Tranzitní zemní plyn obsahuje 98,39 % metanu a při porovnání hustot metanu z databáze programu ($\rho_{27°C}$ = 0,6679 [kg/m^3]) a Tranzitního zemního plynu z literatury [2] ($\rho_{20°C}$ = 0,680; $\rho_{30°C}$ = 0,658 [kg/m^3]) je vidět jistá shoda. Díky těmto faktům je možné považovat toto zjednodušení za přijatelné.

Pro vyhodnocování šíření metanu prostorem je brán v úvahu pouze matematický model „k-ε Stantard“, u kterého bylo dosaženo nejlepší shody, při srovnání s experimentálním měřením.

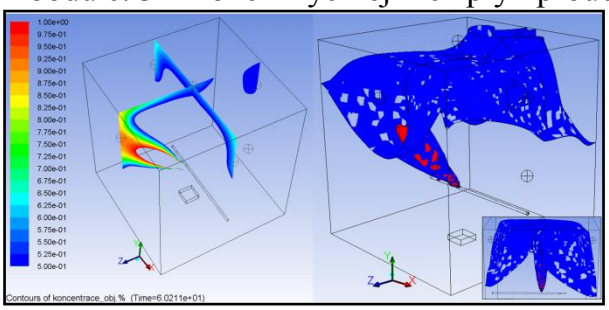
Rozsah vykreslených kontur, zobrazených na vytvořených plochách, je 0,5 až 1 obj. % koncentrace. Dále je vyhodnocení doplněno o prostorové rozmístění 0,5% (modrá) a 1% (červená) objemové koncentrace.



Obrázek 6 Místní koncentrace v době vytvoření 0,5 obj.% v měřících bodech č. 2,5,6 [5]

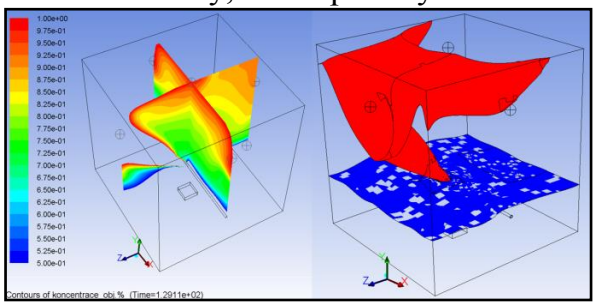
Obrázek ukazuje směr šíření plynu. Jelikož byl otvor natočen pod 45° úhlem, šířil se metan nejdříve k bodu č. 1. Poté se plyn šířil po stěně vzhůru až ke stropu

nádoby. Jakmile se metan rozšířil ke stropu, začal se šířit k bočním stěnám, na kterých se nacházejí měřící body s čísly 5 a 6. Krátce po reakci měřícího bodu č. 2 (0,5% koncentrace), dochází k velkému zpomalení rychlosti plynu šířícího se po stropě nádoby. Z pravého spodního rohu obrázku (Obrázek 7) je zřejmé, že se metan nešíří po obou bočních stěnách rovnoměrně. Proud metanu, který se šíří po pravé horní časti zadní stěny, se dostal k bodu č. 3 mnohem rychleji než plyn proudící z druhé strany.



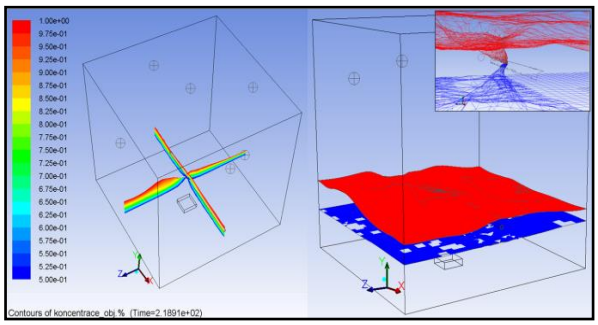
Obrázek 7 Místní koncentrace v době vytvoření 0,5 obj.% v měřícím bodě č. 3[5]

V době po vytvoření 0,5% obj. koncentrace v bodě č. 3 se plyn šíří pomalu po zadní stěně směrem dolů. Obrázek 8 zobrazuje rozmístění koncentrací v době vytvoření 1% obj. koncentrace v měřících bodech s čísly 2, 5 a 6. V této době již došlo k vyrovnání 0,5% koncentrace do jedné téměř vodorovné hladiny. Pokles 0.5% hladiny je již, na rozdíl od 1% hladiny, velmi pomalý.



Obrázek 8 Místní koncentrace v době vytvoření 1 obj.% v měřících bodech č. 2,5,6[5]

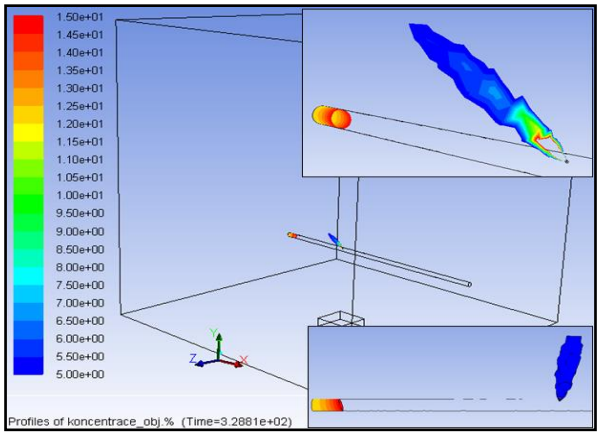
V čase vytvoření 0,5% obj. koncentrace v posledním bodě (č. 4) jsou obě hladiny téměř vodorovné a dochází k jejich pomalému posunu směrem dolů. Pravý horní roh obrázku (Obrázek 9) ukazuje, že se 0.5% a 1% koncentrace vytváří také v blízkosti otvoru, ze kterého plyn uniká, a že jsou souvisle spojeny s hladinami formou ohnutých kuželů.



Obrázek 9 Místní koncentrace v době vytvoření 0,5 obj.% v měřícím bodě č. 4[5]

4 VYTVÁŘENÍ VÝBUŠNÝCH KONCENTRACÍ PŘI ÚNIKU PLYNU

V době ukončení výpočtu (vytvoření 1% obj. koncentrace v bodě č. 4), vyplynula otázka, jestli se již v měřicí nádobě vytvořila výbušná koncentrace metanu a vzniklo by tak nebezpečí pro osoby nacházející se v blízkosti zasaženého prostoru. Zemní plyn je výbušný, dosáhne-li koncentrace 5 až 15 objemových procent. V programu Fluent byly vytvořeny prostorové hladiny zobrazující výbušné koncentrace plynné směsi. V momentu ukončení výpočtu vznikla výbušná koncentrace pouze v blízkosti netěsnosti (otvoru), ze které uniká plyn a v potrubí u jeho zaslepeného konce.



Obrázek 10 Výbušná koncentrace v době vytvoření 1 obj.% v měřícím bodě č. 4[5]

5 ZÁVĚR

Matematickým modelem, vyladěným tak, aby se shodoval s výsledky experimentu, bylo možné určit přesnější směry a rychlosti šíření zemního plynu v 3D prostoru a stanovit hranice vytvořených místních výbušných koncentrací.

Obdobným postupem je možné určit šíření plynu a vytváření nebezpečných a výbušných koncentrací přímo v reálných případech. Při haváriích spojených s únikem plynu ve výrobních provozech, domácnostech a dalších. Z takto zjištěných výbušných koncentrací je možné například odhadnout nejpravděpodobnější místa, kde by mohlo dojít k iniciaci výbušné koncentrace a zároveň i odhadnout energii exploze.

LITERATURA

[1] Ansys, Inc. *ANSYS FLUENT 13.0 - Theory Guid.* 2010

[2] Fík, J.: *Zemní plyn: tabulky, diagramy, rovnice, výpočty*. Praha : Agentura ČSTZ s.r.o., 2006, 355

[3] Kozubková, M.: *Modelování proudění tekutin, FLUENT, CFX.* 1. vyd. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2008

[4] TDG 903 01 – Výpočet množství uniklého plynu z poškozených plynovodů a plynovodních přípojek, ČPS, 2006

[5] Tulach, A.: *Stanovení množství úniku zemního plynu z domovního plynovodu*. Diplomová práce. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 67, 2013

Článok recenzovali dvaja nezávislí recenzenti.