

ANALÝZA VÝPOČTOVÝCH METOD PRO ÚNIK A DISPERZI ZKAPALNĚNÉHO HOŘLAVÉHO PLYNU



M. SKŘÍNSKÁ¹, J. SKŘÍNSKÝ^{1,2}, V. SLUKA¹, M. PRAŽÁKOVÁ¹, S. MALÝ¹, L. FRIŠHANSOVÁ¹, J. SENČÍK¹

¹ Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i., Praha

² Výzkumné energetické centrum, VŠB- TUO

ÚVOD

Pod pojmem těžký plyn se označuje plyn, který má vyšší molekulovou hmotnost než vzduch (28,96 g.mol⁻¹), anebo se nachází ve stavu, kdy má oproti vzduchu významně vyšší hustotu (1,29 kg.m⁻³). Při svém úniku do atmosféry tyto plyny za určitých okolností vytvářejí oblaky o relativní hustotě vyšší než je hustota okolního vzduchu, což vede k jejich klesání k zemskému povrchu. Plynná látky po úniku do atmosféry vytváří oblak, který je následně rozptylován ve směru vanutí větru. Existují tři hlavní mechanismy rozptylu a to **(1) vznášivý rozptyl, (2) rozptyl neutrálního plynu, (3) rozptyl těžkého plynu nebo směsí těžších než vzduch.**

Modely pro fyzikální popis rozptylu plynu v atmosféře je možné, rozdělit podle:

- (I) chování vytvořeného oblaku (modely pro vznášivý rozptyl, modely pro rozptyl těžkého plynu, turbulentní modely),**
(II) trvání úniku (modely pro okamžitý únik plynu, modely pro kontinuální únik plynu),
(III)složitosti modelování (jednoduché „box modely“, CFD modely) [1]. Mezi nejpoužívanější modely patří výpočet koncentrace v bodě o souřadnicích x, y, z pro kontinuální a okamžitý únik [2].

HAVARIJNÍ SCÉNÁŘ

LNG (zkapalněný zemní plyn) o hustotě **425,6 kg/m³** (1,76 kg/m³ při bodu varu -162°C) uniká z cisterny kruhovým otvorem **27 mm** v horní části cisterny za podmínek **25°C** a **4 bar** přetlaku (**5 bar abs.**). Poměr tepelných kapacit **LNG= 1,31**. Doba trvání výtoku je **174 s**. Při havárii vane vítr **10,9 m/s** (měřeno **10 m** nad povrchem). Jaká je vzdálenost ve směru vanutí větru, kdy koncentrace par ve vzduchu dosáhne úrovně dolní meze výbušnosti **DMV=5.0 obj. %**, předpokládáme-li, že k úniku dojde za standardních atmosférických podmínek, tj. teplota **298 K**, tlak **101,325 hPa**?

Hodnoty vstupních parametrů pro model úniku a rozptylu

	Rovnice	Parametr	Hodnota	Jednotka
Rozptyl	6	ρ	425,6	kg/m ³
	6,7	ρ ₀	1,76	kg/m ³
	7	g	9,81	m/s ²
	7	ρ _a	1,224	kg/m ³
	8,9,10,12,14	U	10,9	m/s
	8	Rd	174	s
Únik	1,2	P ₂	1,01325·10 ⁵	kg/m ² .s ²
	3,5	P ₁	5,00·10 ⁵	kg/m ² .s ²
	3,5	k	1,31	-
	4	D	27·10 ⁻³	m
	5	C _D	0,85	-
	5	M	19,5	g/mol
	5	R	8314·10 ⁻³	m ³ /mol. K
	5	T ₁	298	K

MODEL ÚNIKU

1.krok – určení fáze výtoku z okrajové podmínky pro výtok páry kapaliny

$$P_2 \leq P_l$$
 (1)

2.krok – určení výtokového režimu

$$\frac{P_s}{P^1} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{k/(k-1)}$$
 (2)

okrajová podmínka pro sonický výtok plynu/páry kapaliny $P_2 \leq P_s$ (3)

3.krok – určení průřezu kruhového výtokového otvoru

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$
 (4)

4.krok – určení výtokové rychlosti

$$\dot{m}_s = C_D \cdot A \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{kM}{RT_1} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{(k+1)/k-1}}$$
 (5)

MODEL ROZPTYLU

1.krok – určení objemové rychlosti výtoku par

$$q_o = \frac{v \cdot \rho}{\rho_o}$$
 (6)

2.krok – posouzení použitelnosti navrženého modelu podle Britter-McQuaid, tj. počáteční vzestupnost

$$g_o = \frac{g \cdot (\rho_o - \rho_a)}{\rho_a}$$
 (7)

3.krok – kritérium pro určení jednorázového /kontinuálního výtoku

$$\frac{u \cdot R_d}{x} \geq 2,5$$
 (8)

4.krok – určení charakteristického rozměru zdroje a kritéria pro dostatečně těžký oblak

$$D_c = \left(\frac{q_o}{u}\right)^{1/2} \left(\frac{g_o q_o}{u^3 D_c}\right)^{1/3} \geq 0,15$$
 (9,10)

5.krok – výpočet koncentrace pro neisotermální únik páry materiálu

$$C_m = \frac{C_0}{C_0 + (1 - C_0) \cdot (T_a/T_o)}$$
 (11)

6.krok -výpočet parametrů α a β k aproximaci Britter-McQuaidovy rozměrové korelaci pro disperze vleků těžkých oblaků.

$$\alpha = \log_{10} \left(\frac{g_o^2 q_o}{u^5}\right)^{1/5}$$

$$\beta = 0,45\alpha + 2,39$$

(12,13,14)

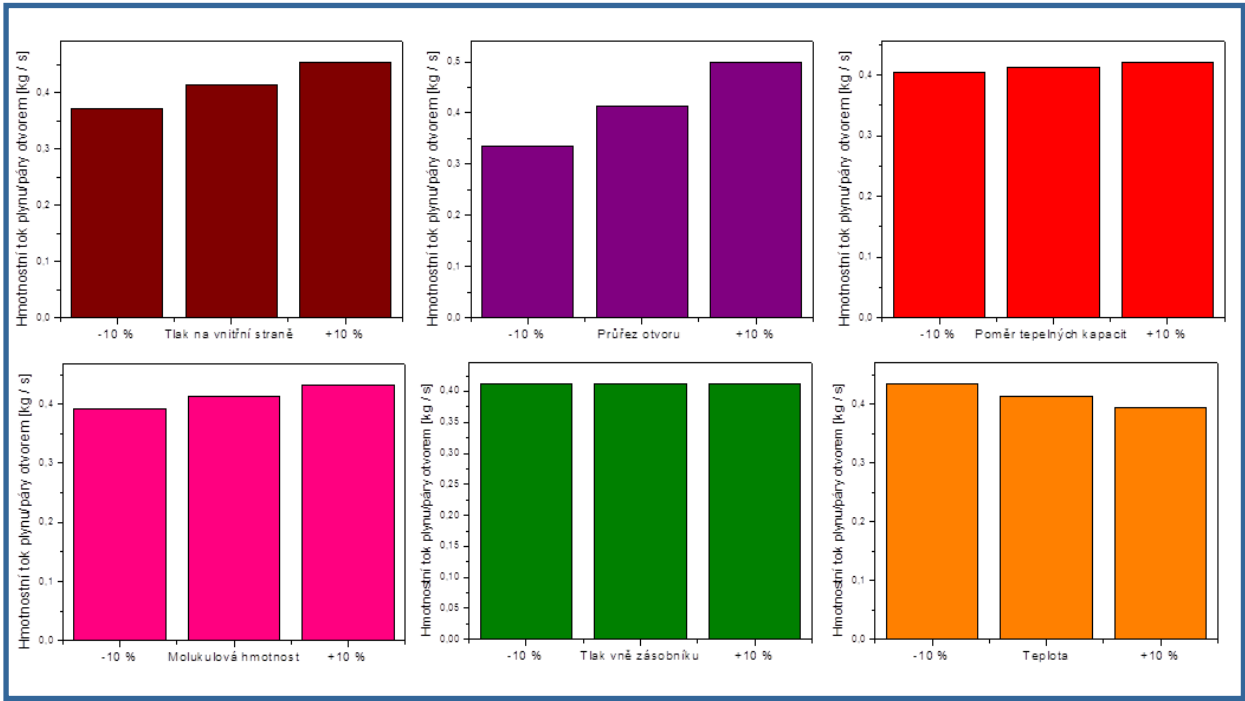
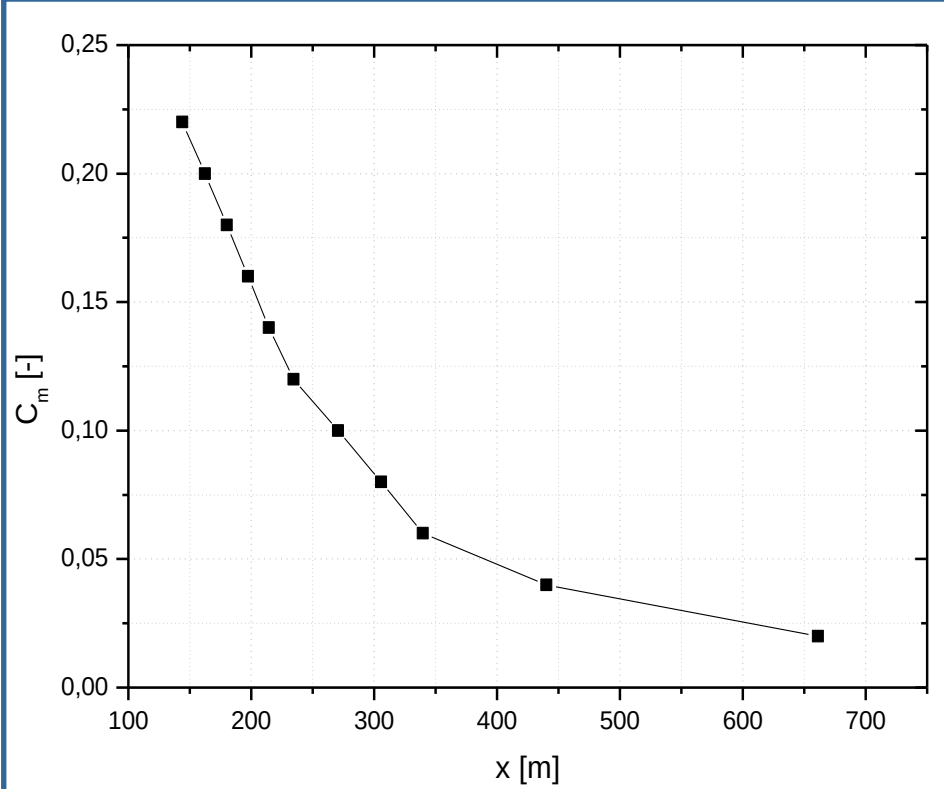
$$\beta = \log_{10} \left[\frac{x}{(q_o/u)^{1/2}}\right]$$

VÝSLEDKY A ANALÝZA

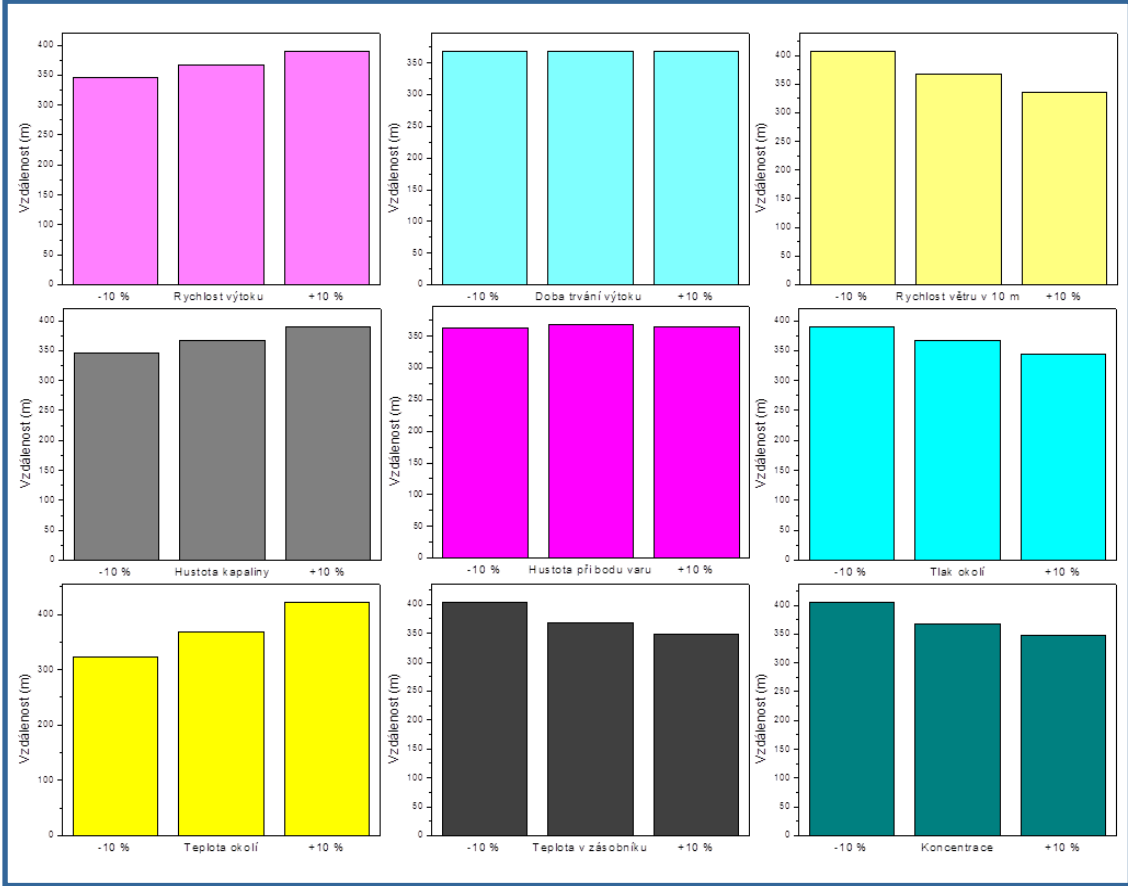
Vypočítané hodnoty výstupních parametrů

	Rovnice	Parametr	Hodnota	Jednotka
Únik	2	P _s	2,719·10 ⁵	kg/m ² .s ²
	4	A	0,000572	m ²
	5	m _s	0,23	m3/s
Rozptyl	6	q _o	55,618	m3/s
	7	g _o	4,296	m/s ²
	9	D _c	2,2589	m
	11	C _m	0,019227	
	12	α	-0,4352	
	13,14	β	2,19416	

Vypočítané hodnoty vzdálenosti, x, ve směru větru pro různé koncentrace, c_m



Citlivostní analýza vstupních parametrů modelu úniku.



Citlivostní analýza vstupních parametrů modelu rozptylu.

ZÁVĚR

Vstupní parametry modelů úniku a rozptylu byly podrobeny citlivostní analýze s cílem zjistit, jak variace vstupního parametru o ±10% ovlivní výslednou hodnotu. Vypočítané hodnoty ukazují, že největší vliv na hodnotu vypočítané vzdálenosti mají pro prezentovaný model a dané podmínky rychlost větru (10%), teplota v zásobníku (9%), teplota okolí (6%), hustota kapaliny (6%) a rychlost výtoku (6%). Únik je nejvíce ovlivněn průřezem otvoru (17%), tlakem na vnitřní straně cisterny (9%), molekulovou hmotností (5%) a teplotou okolí (5%).

Literatura

1. Skřehot P. a kolektiv: Prevence nehod a havárií. 2. díl: Mimořádné události a prevence nežádoucích následků. Praha, Výzkumný ústav bezpečnosti práce a T-SOFT, 2009, 1. vydání, 595 s. ISBN 978-80-86973-73-9.
2. CCPS, Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, 2nd Edition. 2000, 748 pages. ISBN 978-0-8169-0720-5

Poděkování

J.S. chce poděkovat za finanční podporu projektu „Inovace pro efektivitu a životní prostředí - Growth“, identifikační kód LO1403 pod MŠMT v rámci programu NPU I.