

Výpočtové metódy na stanovenie dolnej medze výbušnosti uhľovodíkových plynov

The Calculation Methods for the Determination of Lower Explosion Limit by Hydrocarbon Gases

Ing. Eva Mračková, PhD.

Technická Univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta
T. G. Masaryka 2117/24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika
mrackova@tuzvo.sk

Abstrakt

Článok sa zaoberá stanovením dolnej medze výbušnosti uhľovodíkových plynov pomocou dvoch výpočtových metód. V požiarnej praxi je dolná medza výbušnosti dôležitým parametrom, pretože poskytuje informáciu pre bezpečnú manipuláciu s danou horľavou látkou. Cieľom práce je overiť presnosť dvoch použitých výpočtových metód dolnej medze výbušnosti pre uhľovodíkové plyny LPG, CNG a LNG, porovnať ich s experimentálne stanovenou dolnou medzou výbušnosti. Výsledky možno považovať za aproximatívne.

Kľúčové slová

Uhľovodíkové plyny, dolná medza výbušnosti.

Abstract

The article presenting determination of lower explosion limit of hydrocarbon gases by two calculation methods. Lower explosion limit is important parameter in fire prevention because it contains necessary information for safe handling with given flammable material. The main aim of this work is to verify exactness of lower explosion limits hydrocarbon gases LPG, CNG, LNG by computerized methods in comparison with experimentally determined value and to gain results. The results is possibility be considered to be approximated.

Keywords

Hydrocarbon gases, lower explosion limit.

Úvod

Na energetické účely sa v priebehu takmer 200 rokov histórie plynárenstva používali rôzne plyny. Významnejšie postavenie dosiahli iba plyny vyrobené splynením alebo odplynením uhľia, zemné plyny a kvapalné plyny na báze propánu a butánu. Vykurovacie plyny vyrobené odplynením alebo splynením uhľia patria medzi stredne výhrevné plyny a sú známe ako koksárenský plyn alebo svietyplýn. Ich rozhodujúcimi zložkami je metán, vodík a oxid uhoľnatý. Spalné teplo sa pohybuje v rozmedzí 17 - 20 MJ/m³. Plyny s vysokým obsahom metánu sú veľmi výhrevnými vykurovacími plynmi. Rozhodujúcou zložkou je metán, môžu tiež obsahovať vyššie uhľovodíky a inertné plyny. Ich spalné teplo závisí na obsahu metánu - pohybuje sa od 20 do 40 MJ/m³. Plyny na báze propánu a butánu patria medzi vysoko výhrevné plyny. Používajú sa ako čisté plyny alebo zmes známa pod označením propán-bután. Odberateľom sa na rozdiel od vyššie uvedených plynov dodávajú v kvapalnom stave. Spalné teplo závisí na pomere propánu a butánu v zmesi. Dosahuje od 101,7 (čistý propán) do 133,9 MJ/m³ (čistý bután) [1].

Využívanie uvedených plynov súvisí tiež s automobilizmom a sú priam vhodné v podobe LPG, LNG alebo CNG ako pohon motorov náhradou za tradičný benzín alebo naftu. Avšak protipožiarna ochrana musela byť urýchlene aktualizovaná práve

pre garáže, servisy a opravovne motorových vozidiel a čerpacej stanice pohonných látok, ktorá je uvedená v závere článku.

Metóda a materiál

Stanovenie dolnej medze výbušnosti propán-butánu a zemného plynu pomocou dvoch výpočtových metód:

Výpočtové metódy stanovenia dolnej medze výbušnosti

Stanovenie dolnej medze výbušnosti uhľovodíkových plynov je možné pomocou dvoch výpočtových metód [2], ktoré sú zovšeobecnené:

I. výpočet dolnej medze výbušnosti z počtu atómov v sumárnom vzorci horľavého plynu,

II. výpočet dolnej medze výbušnosti z výhrevnosti.

I. Prvá metóda vychádza z výpočtu:

$$c_{\min} = \frac{44}{k_{hor}} \quad (\text{platí pre } k_{hor} > 1) \quad (1)$$

kde

c_{\min} dolná medza výbušnosti horľavého plynu vo vzduchu [obj. %],

k_{hor} súčiniteľ horľavosti [-].

$$k_{hor} = 4a + b + 4j - 1d - 2c - 2f - 3e - 5g$$

a až j - počty atómov prvkov v sumárnom vzorci horľavého plynu $C_a H_b O_c N_d F_e Cl_f Br_g S_j$.

II. Druhá metóda vychádza z výpočtu:

$$c_{\min} = \frac{4350}{Q_i \cdot M_h} \quad (2)$$

kde

c_{\min} dolná medza výbušnosti horľavého plynu vo vzduchu [obj. %],

Q_i výhrevnosť [MJ.kg⁻¹],

M_h molárna hmotnosť [g.mol⁻¹], ktorá sa vypočíta ako súčet atómových hmotností prvkov v sumárnom vzorci horľavého plynu [2].

Propán - bután (C₃H₈ - C₄H₁₀)

Propán-bután, Liquefied Petroleum Gas - (LPG) je zmes skvapalnených plynov, ktorá je pri normálnom atmosférickom tlaku a bežnej teplote plynná. Okrem propánu a butánu obsahuje 3 - 5 % propylénu v zmesi. Tento plyn a predstavuje mobilnú energiu pre rôzne použitie. Dokáže nahradiť iné energie, zabezpečí čisté vykurovanie, varenie alebo svietenie. Skvapalnený plyn možno skladovať v kvapalnom stave pri teplote prostredia pod jeho vlastným tlakom pár alebo v ochladenom stave pod nižším tlakom, tiež pri atmosférickom tlaku. Z toho vyplýva, že kvapalina zaberá len zlomok objemu rovnovážneho množstva plynu, preto sa propán-bután najmä z ekonomických dôvodov skladuje a prepravuje v kvapalnom stave v tlakových nádobách a železničných alebo automobilových cisternách.

Hustota pár LPG je väčšia ako hustota vzduchu, preto plyn v prípade úniku prúdi v najnižších miestach (ako keby tiekol po zemi) a vniká do najnižších otvorených priestorov, odkiaľ je ťažko

odvetrateľný. Takto nahromadené pary v podmienkach „pokoja“ vyžadujú dlhší čas na dispergovanie. To znamená, že takáto horľavá zmes sa môže zapáliť aj vo veľkej vzdialenosti od miesta úniku a plameň prenikne až do miest úniku. Na iniciáciu je okrem bežných zdrojov, napr. plameň alebo elektrická iskra, ktorá vznikne pri spojení kontaktov, dostatočný aj elektrostatický výboj. Jedným z mnohých zdrojov výbuchu zmesi propán-bután so vzduchom môžu byť elektricky nabitú častice propán-butánu [3].

Tab. 1 Identifikácia látky/zmesi

Typ chemikálie	Zmes
Názov	Propán-Bután
Obchodný názov/Označenie	Propán-Bután, LPG, (Autoplyn Trieda C - letný, Autoplyn Trieda B - zimný)

Tab. 2 Základné fyzikálne a chemické vlastnosti LPG

Vzhľad	Plyn rozpustený v kvapaline pod tlakom
Skupenstvo	Plyn
Farba	Bezfarebný
Zápach	bez zápachu
Bod varu	- 10 °C
Výbušné medze [obj.%]	1,8 - 8,4 vol %
Relatívna hustota	2,02
Hustota	2,416 kg/m ³
Log Pow	2,8
Teplota samovznietenia	460 °C

Zemný plyn

Ťažba a úprava zemného plynu

Naftový zemný plyn je spravidla uložený v pórovitých horninách ohraničených nepriepustnými vrstvami a vodou. Tu sa ako špecificky ľahšia látka nahromadil v priebehu tisícov rokov nad vrstvami ropy alebo vody. Plyn sa ťaží vrtmi vedenými priamo do pórovitých vrstiev ložísk v hĺbke do 3 kilometrov pod povrchom zeme. Ťaží sa z ložísk na pevnine (Rusko, Alžírsko, Holandsko) a tiež pod morským dnom (Severné more).

Vyťažený plyn je potrebné pred diaľkovou prepravou upraviť na kvalitu zodpovedajúcu jeho komerčnému využitiu. Technológia čistenia závisí od zloženia plynu. Keďže sa zemný plyn často ťaží spoločne s ropou, obsahuje vysoké podiely vyšších uhľovodíkov. Odstrániť je treba tiež látky, ktoré by mohli negatívne pôsobiť na distribučné systémy. Ide o vodu a sírne látky, spôsobujúce koróziu zariadení, a tiež prach, ktorý by mohol byť príčinou porúch kompresorových a regulačných staníc.

Rovnako dôležitým energetickým zdrojom pre spaľovacie motory, vykurovanie a tiež pre petrochemický priemysel je zemný plyn. Zemný plyn je používaný vo forme stlačeného plynu - CNG (tlak 20 MPa) alebo v skvapalnenej forme - LNG (pri teplote - 162 °C). Zemný plyn je v súčasnosti častejšie využívaný vo forme CNG [4].

Skvapalnený zemný plyn alebo kvapalný zemný plyn (LNG) je druh paliva. Zemný plyn sa v skvapalnenej forme v prírode prakticky nevyskytuje. Je skvapalňovaný po vyťažení, aby mohol byť dopravovaný na odbytisko, väčšinou pomocou tankerov. Lodnou dopravou môže byť zemný plyn prepravovaný iba vo forme LNG. Lodná flotila na transport LNG je ale obmedzená a súčasne náročná na bezpečnosť a údržbu. Lodné terminály pre LNG sú nákladné a je ich málo.

Je to zmes stlačených alebo skvapalnených uhľovodíkov s prevládajúcim obsahom metánu alebo propán-butánu. Niekedy sa v unikajúcom zemnom plyne nachádza aj hélium. Pri spaľovaní

zemného plynu sa uvoľňuje veľké množstvo tepelnej energie, preto má veľký význam ako priemyselné palivo, ktoré nahrádza jedovatý svietiplyn. Spracováva sa priamo parciálnou oxidáciou na metanol alebo parciálnou dehydrogenáciou na ľahké alkény a aromaty alebo nepriamo cez syntézu plynu na metanol a celý rad chemikálií cez metanol, alebo priamo zo syntézneho plynu [5].

Zemný plyn nemá nijaký zápach, preto sa k nemu pridávajú chemikálie, aby ho po úniku bolo možné zaregistrovať. Skladá z niekoľkých častí.

Tab. 3 Percentuálne zastúpenie zložiek tvoriacich zemný plyn [5]

Zložka	Vzorec	Podiel Rusko [%]	Podiel Alžírsko [%]	Podiel USA [%]	Podiel Holandsko [%]
Metán	CH ₄	95,0	86,98	99,72	82,12
Etán	C ₂ H ₆	2,3	9,35	0,06	2,81
Propán	C ₃ H ₈	0,7	2,33	0,0005	0,38
Bután	C ₄ H ₁₀	0,3	0,63	0,0005	0,13
Oxid uhličitý	CO ₂	0,2	0,87	0,019	0,99
Dusík	N ₂	1,5	0,71	0,20	13,43

Zloženie zemného plynu je určené lokalitou ťažby. Zemný plyn ťažený v Rusku, Nórsku a vo Veľkej Británii má nízky podiel nehorľavých látok, pod 5 obj. %. Naopak, zemný ťažený v Holandsku, Belgicku a vo Francúzsku má nižšie spaľné teplo a vyšší obsah inertných zložiek.

Unikajúci uhľovodíkový plyn predstavuje veľké nebezpečenstvo, pričom o ňom platí:

- je horľavý a ľahko zápalný plyn,
- energia alebo teplota potrebná na zapálenie je veľmi nízka,
- rýchlosť šírenia explózie pri zapálení plynu a rýchlosť narastania výbuchového tlaku spôsobuje deštruktívne zmeny budov,
- je škodlivý pre ľudský organizmus (dusivosť, narkotickosť). [6]

Najdôležitejšími iniciačnými zdrojmi výbuchu zemného plynu sú plameň a horúce produkty horenia, blesk, samovznietenie, ultrazvuk, tepelný prejav mechanickej energie, elektrotechnické zariadenia a vysokofrekvenčné elektromagnetické vlny.

Základné vlastnosti materiálu

Stlačením sa dajú plyny skvapalniť. Podmienky, pri ktorých je to možné sú u rôznych plynov rôzne. Niektoré plyny sa skvapalňujú ľahko, iba stlačením pri obvyčajnej teplote, iné je nutné hlboko ochladiť, aby sa skvapalnili buď obvyčajným alebo zvýšeným tlakom. U každého plynu existuje medzná teplota, pri prekročení ktorej sa už plyn nedá skvapalniť ani väčším tlakom. Táto teplota sa nazýva kritická teplota a tlak potrebný ku skvapalneniu pri tejto teplote je tlak kritický.

Výhrevnosť sa vypočíta zo spaľného tepla daného plynu tak, že sa od spaľného tepla odpočíta výparné teplo vody unikajúcej v spalínach v podobe vodnej pary.

Horľavý plyn je výbušný jedine vtedy ak sa zmieša so vzduchom (kyslíkom). Ak zapálime zmes horľavého plynu a vzduchu, môže sa horenie za priaznivých podmienok šíriť tak rýchlo, že dosahuje rýchlosť niekoľko tisíc m za sekundu: nastáva explózia. Zmes plynu a vzduchu je zápalná len pri určitom zložení. Pri prebytku jedného z oboch plynov sa oheň zmesou nešíri.

Všetky uvedené uhľovodíkové plyny sú podľa zákona NR SR 67/2010 Z. z o podmienkach uvedenia chemických látok a chemických zmesí na trh a o zmene a doplnení niektorých zákonov (chemický zákon), vyhláška MV SR 124/2000 Z. z. ktorou sa ustanovujú zásady požiarnej ochrany pri činnostiach s horľavými

plynmi a horenie podporujúcimi plynmi, mimoriadne horľavé, F+ a za určitých podmienok výbušné.

Tab. 4 Kritické hodnoty vybraných horľavých plynov [6, 1]

Plyn	Bod topenia [°C]	Bod varu [°C]	Kritická teplota [°C]	Výhrevnosť [MJ.kg ⁻¹]	Dolná medza výbušn. [obj. %]	Horná medza výbušn. [obj. %]	Zápalná teplota [°C]	Teplota horenia [°C]
LPG	-104/-74	-42,1/-0,5	50	45,8	2,12/1,86	9,35/8,41	-	-
zemný plyn	-182,5	-161,5	50	46,35	4,3	15,0	-	-
LNG	-	-	-	34,08	5	15,0	650	1957

Výsledky a vyhodnotenie

Vypočítané hodnoty dolnej medze výbušnosti propán-butánu a zemného plynu pomocou dvoch výpočtových metód:

Výsledky prvej metódy

Výpočet dolnej medze výbušnosti vybraných horľavých plynov z počtu atómov v sumárnom vzorci horľavého plynu podľa vzorca je zovšeobecnený, [2]:

$$\begin{aligned} \text{LPG} & \quad C = 7, H = 18 \\ (C_3H_8 + C_4H_{10} = C_7H_{18}): & \quad k_{hor} = 4.7 + 1.18 = 46 \\ + & \quad c_{min} = \frac{44}{k_{hor}} = \frac{44}{46} = 0,96 \text{ obj. \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3 - 5 \% \text{ propylénu } (C_3H_6) & \quad C = 3, H = 6 \\ \text{v zmesi} & \quad k_{hor} = 4.3 + 1.6 = 18 \\ & \quad c_{min} = \frac{44}{k_{hor}} = \frac{44}{18} = 2,4 \text{ obj. \%} \end{aligned}$$

Dolná medza výbušnosti LPG: $c_{min} = 1,44 - 3,36 \text{ obj. \%}$

$$\begin{aligned} \text{Zemný plyn:} & \quad C = 1, H = 4 \\ 95 \% \text{ metánu } (CH_4) & \quad k_{hor} = 4.1 + 1.4 = 8 \\ & \quad c_{min} = \frac{44}{k_{hor}} = \frac{44}{8} = 5,5 \text{ obj. \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + & \\ \text{Etán } (C_2H_6), \text{ propán, } (C_3H_8) & \quad C = 10, H = 24, O = 2, N = 2 \\ \text{Bután } (C_4H_{10}), \text{ oxid uhličitý } (CO_2) & \quad k_{hor} = 4.10 + 24 - 1.2 - 2.2 = 58 \\ \text{a dusík } (N_2) \text{ tvoria zvyšných } & \quad c_{min} = \frac{44}{hor} = \frac{44}{58} = 0,76 \text{ obj. \%} \\ 5 \% \text{ zmesi} & \end{aligned}$$

Dolná medza výbušnosti zemného plynu: $c_{min} = 4,74 - 6,26 \text{ obj. \%}$

Výsledky druhej metódy

Výpočet dolnej medze výbušnosti vybraných horľavých plynov z výhrevnosti (Q_i) a molárnej hmotnosti (M_h), podľa [2]:

$$\begin{aligned} \text{LPG} \quad \text{Relatívna atómová hmotnosť: } C = 12,011 \\ (C_3H_8 + C_4H_{10} = C_7H_{18}) & \quad H = 1,008 \\ M_h = (12,011.7) + (1,008.18) & = 102,22 \\ \text{Výhrevnosť LPG } (Q_i) & = 45,8 \text{ MJ.kg}^{-1} \\ c_{min} = \frac{4350}{45,8.102,22} & = 0,93 \text{ obj. \%} \end{aligned}$$

+
3 - 5 % propylénu (C_3H_6) Relatívna atómová hmotnosť: C = 12,011
v zmesi H = 1,008

$$\begin{aligned} M_h & = (12,011.3) + (1,008.6) = 22,08 \\ \text{Výhrevnosť propylénu } (Q_i) & = 46,05 \text{ MJ.kg}^{-1} \end{aligned}$$

$$c_{min} = \frac{4350}{46,05.22,08} = 4,28 \text{ obj. \%}$$

Dolná medza výbušnosti LPG:

$$c_{min} = 3,35 - 5,21 \text{ obj. \%}$$

Zemný plyn:

95 % metánu (CH_4) Relatívna atómová hmotnosť: C = 12,011
v zmesi H = 1,008

$$M_h = (12,011.1) + (1,008.4) = 16,04$$

Výhrevnosť metánu (Q_i) = 50,12 MJ.kg⁻¹

$$c_{min} = \frac{4350}{50,12.16,04} = 5,41 \text{ obj. \%}$$

+

Etán (C_2H_6), propán, (C_3H_8), Relatívna atómová hmotnosť:
C = 12,011

Bután (C_4H_{10}), oxid uhličitý (CO_2) H = 1,008

a dusík (N_2) tvoria zvyšných 5 % zmesi O = 15,99

N = 14,006

$$M_h = (12,011.10) + (1,008.24) + (15,99.2) + (14,006.2) = 204,3$$

Výhrevnosť zložiek zmesi (Q_i) = 185,04 MJ.kg⁻¹

$$c_{min} = \frac{4186,8}{185,04.204,3} = 0,11 \text{ obj. \%}$$

Dolná medza výbušnosti zemného plynu: $c_{min} = 5,3 - 5,52 \text{ obj. \%}$

Tab. 5 Vzájomné porovnanie vypočítaných hodnôt dolnej medze výbušnosti s experimentálne stanovenou hodnotou

Plyn	Prvá metóda [obj. %]	Druhá metóda [obj. %]	Experimentálne stanovenie [obj. %]
LPG	1,44 - 3,36	3,35 - 5,21	1,86/2,12
Zemný plyn	4,74 - 6,26	5,06 - 5,76	4,3

Záver

V článku boli vykonané stanovenia dolnej medze výbušnosti uhlíkovodíkových plynov dvomi výpočtovými metódami, ktoré sú orientačné. Závisí to hlavne od percentuálneho zloženia uhlíkovodíkových plynov, z ktorého ložiska boli čerpané. Prvá výpočtová metóda stanovovala hodnotu dolnej medze výbušnosti uhlíkovodíkových plynov LPG a zemného plynu, ktorý sa môže v praxi nachádzať vo forme stlačeného plynu ako CNG alebo v skvapalnenej forme LNG, na základe počtu atómov v sumárnom vzorci horľavého plynu, druhá výpočtová metóda stanovovala z výhrevnosti. Pri použití týchto orientačných výpočtov stanovenia dolnej medze výbušnosti uhlíkovodíkových látok môžeme konštatovať, že sú výsledky aproximatívne. Vzájomným porovnaním dosiahnutých výsledkov bolo potvrdené, že obidve metódy sú pomerne presné a výsledky, ktoré priniesli, sú porovnateľné s experimentálne nameranými hodnotami dolnej medze výbušnosti len pre uhlíkovodíkové plyny, t.j. pre organické uhlíkovodíky. Po poznaní dolnej medze výbušnosti uhlíkovodíkových

plynov LPG, CNG a LNG je potrebné v praxi zaujať z protipožiarnej ochrany stanovisko, aby bola dodržiavaná bezpečnosť a ochrana osôb a majetku pred požiarom. Konkrétne sa jedná o protipožiarnu bezpečnosť garáží, ktorá je riešená v SR a ČR technickou normou 73 0804 - Požiarna bezpečnosť stavieb, kde sú podľa druhu vozidiel garáže rozdelené do nasledujúcich skupín:

- a) garáž skupiny 1 - pre osobné vozidlá, dodávky a jednostopová vozidlá;
- b) garáž skupiny 2 - pre nákladné automobily, autobusy a špeciálne automobily;
- c) garáž skupiny 3 - pre traktory a samohybné pracovné stroje.

Ďalej sa delia podľa zoskupenia odstavných státi sa garáže triedi na:

- a) jednotlivé garáže - s maximálne tromi stojiskami as možným aj jediným vjazdom;
- b) radové garáže - s viac ako tromi stojiskami, ktoré sú buď v jednej rade, alebo v dvoch radoch za sebou a každé státie v prvom rade má samostatný vjazd;
- c) hromadné garáže - slúžiaci k odstavovaniu (odstavná garáž) alebo parkovanie (parkovacia garáž) viac ako troch vozidiel so spoločným vjazdom.

Nie menej podstatné sú typy garáží, ktoré sa delia podľa druhu palív, ktoré vozidlá obsahujú a členia sa do dvoch skupín a to:

- a) s kvapalnými palivami alebo elektrických zdrojov (bez ohľadu na kombináciu s týmito palivami);
- b) s plynými palivami, popr. kombinácii s elektrickým zdrojom.

Pre projektovanie servisov a opravovní motorových vozidiel a čerpacích staníc pohonných látok platí STN 73 6059, obdobne je to aj v ČR.

Základné ustanovenia a ČSN 73 6060; požiarne bezpečnosť sa posudzuje podľa STN 73 0804 o čerpacích staniach pohonných hmôt a podľa STN 650202 Horľavé kvapaliny. Plnenie a stáčanie. Výdajné čerpacie stanice, príp. podľa TPG 304 01 alebo TDG 304 02 pre čerpacie stanice propán-butánu a plniaca stanica stlačeného zemného plynu. Plniace stanice stlačeného zemného plynu pre motorové vozidlá.

Použitá literatúra

- [1] O zemnom plyne. Dostupné na internete (15.7.2014) (online) http://www.rwegas.sk/wps/portal/rwegas/domov/o-zemnom-plyne/druhy-plynu!/ut/p/b1/04_SjzS0MDK0MDM2MDPWj9CPykyssy0xPLMnMz0vMAfGjzOLd_Q2dLZ0MHQ38vd0MDTydAtxM_V0cjYMNTIAKIoEKDHAARwN8-r29DKH68SggYH9wcbZ-uH4UXmsMTaAK8DjTzyM_N1U_NyrHzSI4IB0AhJ9nag!!/dl4/d5/L2dJQSEvUUt3QS80SmtFL1o2X0dPMUM5QjFBME9LRjEwSUJQRjVPREEzU080/.
- [2] Damec, J.: *Protivýbuchová prevence*. EDICE SPBI SPEKTRUM 8., Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1998, ISBN 80-86111-21-0.
- [3] Košík, Š.: Mimoriadne udalosti spojené s únikom vykurovacích plynov, In *Riešenie krízových situácií na plynovodoch pri úniku plynu s následným požiarom*, Rimavská Sobota, 2006, str. 11, 13, ISBN 80-228-1554-3.
- [4] Serafin, J.; Mračková, E.; Bernatík, A.; Mynarz, M.: Safety risks connected with parking of cng vehicles in underground car parks, In *Rizik i bezbednosni inženjering: Zbornik radova 7. Medjunarodnog naučnog savetovanja*, Kopaonik, 29. januar - 4. februar 2012. - Novi Sad: Visoka tehnička škola strukovnih studija, 2012. - ISBN 978-86-6211-006-0. - S. 368-372.

- [5] Mračková, E.: Riziká transportu zemného plynu, Protivýbuchová ochrana, In *Riešenie krízových situácií na plynovodoch pri úniku plynu s následným požiarom*, Rimavská Sobota, 2006, str. 23, 24, ISBN 80-228-1554-3.
- [6] Riedl, R.: *Plynárenská a koksárenská príručka*, Praha 1962, str. 55-61, 04-422-62.