

## OVERENIE TLAKOVÝCH STRÁT PRI DOPRAVE VODY V HADICOVOM VEDENÍ VERIFICATION OF PRESSURE LOSS FOR TRANSPORT WATER HOSE LINES

Milan DERMEK<sup>1</sup>, Mikuláš MONOŠI<sup>2</sup>

### ABSTRACT:

The article deals with an issue of length pressure losses in hose line during water transfer to fires. It compares currently used attributes of pressure losses, pressure losses by hydrodynamic laws and experimentally determined pressure losses in the hose line. It designs adjustments of the constants used for the simplified calculation parameters of water transport.

**KEYWORDS:** pressure losses, hose lines, water transport

### ÚVOD

Pri doprave vody od čerpadla na požiarisko sa v hadicovom vedení prejavujú tlakové straty. Výstupný pracovný tlak čerpadla sa znižuje v závislosti na dĺžke vedenia, počtu zaradených armatúr a dopravnej výške. Tlakové straty v hadicovom vedení rozdeľujeme na straty tlakové a miestne. Každé čerpadlo má svoj pracovný diagram, ktorý tvorí závislosť tlaku vody z čerpadla a prietoku. Na efektívne hasenie požiaru je nutné dodávať na požiarisko potrebné množstvo hasiacej látky.

To môže byť znemožnené veľkými stratami vo vedení, ktoré vedú k zníženiu požadovaného tlaku pred prúdnicou, a tým k zníženiu efektivity hasenia.

Pre efektívne hasenie je potrebné, aby bol pred prúdnicou potrebný tlak, inak prúdnica nebude dosahovať stanovené parametre. Požadovaný tlak na konci hadicového vedenia pred prúdnicou je najčastejšie 0,4 MPa, kedy dosahujeme pri útočnom vedení typu C prietok najčastejšie 400 l/min. Hadice typu B používané na dopravu vody najčastejšie s prietokom 800-1000 l/min. V článku porovnávame hodnoty tlakových strát podľa teoretického výpočtu, zjednodušeného výpočtu používaného v hasičskej praxi a experimentálne namerané hodnoty.

### 1. VÝPOČET TLAKOVÝCH STRÁT

Doprava vody v hadicovom vedení vychádza z Darcy-Weisbachového vzťahu, ktorý je pre praktické využitie v hasičskej praxi nevhodný. Z tohto dôvodu sa pre najčastejšie používané hadice upravil vzorec nahradením súčiniteľa trenia a Reynoldsovo čísla odporovou konštantou dĺžkových strát A, ktorá je špecifická pre určitý druh hadíc [1] (1).

$$p_{z1} = \frac{L}{A} \cdot Q^2 \quad (1)$$

kde:  $p_{z1}$  – veľkosť tlakovej straty [MPa]  
L – dĺžka hadíc v stovkách metrov  
Q – prietok udávaný v 1000 l.min<sup>-1</sup>  
A – odporová konštantá

Dodnes používané hodnoty konštanty dĺžkových strát „A“ vychádzajú z literatúry I. Palúch, 1981:

- B75 izolované A = 4
- C52 izolované A = 0,5

Podľa skúseností z praxe nevyhovujú súčasným novým hadiciam, ktorú sú vyrobené z moderných materiálov. To je badateľné hlavne pri doprave vody na dlhé vzdialenosti. Už vykonané čiastkové merania na Slovensku a merania vykonané v Českej republike poukazujú na rozdielnosť výsledných hodnôt [2].

<sup>1</sup> Milan Dermek, Ing., Katedra požiarneho inžinierstva, Fakulta bezpečnostného inžinierstva Žilinskej univerzity v Žiline, 1. mája 32, Žilina, tel.: +421 41 513 6754, e-mail: milan.dermek@fbi.uniza.sk.

<sup>2</sup> Mikuláš Monoši, doc. Ing., PhD., Katedra požiarneho inžinierstva, Fakulta bezpečnostného inžinierstva Žilinskej univerzity v Žiline, 1. mája 32, Žilina, tel. +421 41 513 6758, e-mail: mikulas.monosi@fbi.uniza.sk.

## 2. HYDRAULICKÝ VÝPOČET

Hydraulický výpočet hadicového vedenia slúži pre určenie hydraulických odporov, čiže hydraulických strát prúdiacej kvapaliny. Je založený na použití rovnice kontinuity a Bernoulliho rovnice pre prúdenie reálnych kvapalín. Pri prúdení reálnych tekutín vznikajú následkom viskozity hydraulickej odpory, sú to sily pôsobiace proti pohybu častíc tekutiny. Hydraulické odpory pri prúdení kvapaliny sú účinky, ktoré spôsobí rozptyl energie. Rozptyl energie sa prejaví ako tlakový úbytok čiže strata [2, 3, 4].

Rýchlosť prúdenia hasiacej látky sa počíta podľa vzťahu (2):

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} \quad (2)$$

kde:  $v$  – rýchlosť prúdenia kvapaliny [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $Q$  – objemový prietok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $S$  – prierez hadice [ $\text{m}^2$ ]  
 $d$  – priemer hadice [ $\text{m}$ ]

Reynoldsovo číslo  $Re$  sa vypočíta podľa vzťahu (3), súčasťou tohto vzťahu je kinematická viskozita (4), ktorá je závislá na teplote prúdiacej vody.

$$Re = \frac{v \cdot d}{\vartheta} \quad (3)$$

$Re$  – Reynoldsovo číslo pre prúdenie v potrubí

$$\vartheta = \frac{1,79 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,0337 \cdot t + 0,000221 \cdot t^2} \quad (4)$$

kde:  $\vartheta$  – kinematická viskozita [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $t$  – teplota vody [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Súčiniteľ trenia  $\lambda$  sa pre turbulentné prúdenie vypočíta podľa vzťahu Nikolajeva – Lobanova pre gumenné hadice (5):

$$\lambda = 0,01113 + 0,917 \cdot Re^{(-0,41)} \quad (5)$$

kde:  $\lambda$  – súčiniteľ trenia [-]

Na určenie stratovej výšky trením je možné použiť Darcyho – Weissbachovu rovnicu (6):

$$h_t = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

kde:  $h_t$  – stratová výška trením [ $\text{m}$ ]  
 $L$  – dĺžka hadicového vedenia [ $\text{m}$ ]  
 $d$  – priemer hadice [ $\text{m}$ ]  
 $v$  – rýchlosť prúdenia vody [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Tlakové straty sa vypočítajú zo základného vzorca hydrostatického tlaku, kde za výšku  $h$  je dosadená stratová výška trením  $h_t$  (7):

$$\Delta p_{z1} = \rho \cdot g \cdot h_t \quad (7)$$

kde:  $p_{z1}$  – veľkosť tlakovej straty [ $\text{MPa}$ ]  
 $\rho$  – hustota vody pri  $15^{\circ}\text{C}$  [ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ]  
 $g$  – gravitačné zrýchlenie [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

V tabuľke 1 sú vypočítané teoretické hodnoty tlakových strát podľa uvedených vzťahov. Výpočty sú počítané na hasičské hadice B75 v daných prietokoch 400 až  $1200 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$  a na hadiciach C52 od prietoku 200 až  $800 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ . Tieto prietoky sú dané tak, aby ich bolo možné potom porovnať s nameranými hodnotami z reálnych meraní. Pre výpočty bola použitá teplota vody  $15^{\circ}\text{C}$  [5].

Tabuľka 1 Vypočítané hodnoty tlakových strát na 100 metrov hadicového vedenia

Typ hadice	Q [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	S [ $\text{m}^2$ ]	v [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	Re [-]	$\lambda$ [-]	$h_t$ [m]	$\Delta p_{z1}$ [MPa]	A [-]
C52	200	0,002123	1,5704	70948,9451	0,020537	4,9659	0,0486	0,8230
	300		2,3556	106423,4177	0,019096	10,3894	0,1017	0,8851
	400		3,1407	141897,8903	0,018210	17,6129	0,1724	0,9281
	500		3,9259	177372,3628	0,017591	26,5846	0,2602	0,9608
	600		4,7111	212846,8354	0,017126	37,2691	0,3647	0,9869
	700		5,4963	248321,3080	0,016758	49,6396	0,4858	1,0085
	800		6,2815	283795,7805	0,016458	63,6753	0,6232	1,0269
	B75		400	0,004416	1,5098	98382,5372	0,019357	2,9996
500		1,8872	122978,1716		0,018638	4,5128	0,0442	5,6603
600		2,2647	147573,8059		0,018097	6,3098	0,0617	5,8295
700		2,6421	172169,4402		0,017670	8,3859	0,0821	5,9703
800		3,0196	196765,0745		0,017322	10,7371	0,1051	6,0904
1000		3,3970	221360,7088		0,017030	13,3601	0,1307	6,1947
1200		4,1519	270551,9774		0,016564	19,4115	0,1899	6,3690

Pre ilustráciu je v tabuľke aj prepočet hodnôt na koeficient A ktorý sa používa pri staršom type zjednodušeného výpočtu tlakových strát. Jeho hodnoty pre hadicu C sú v intervale 0,8 - 1,0 v závislosti od prietoku; pričom pri výpočtoch sa používa hodnota 0,5. Pri hadiaci typu B sa odporový koeficient pohybuje v intervale 5,4 - 6,4 v závislosti od prietoku, pričom pri výpočtoch sa používa hodnota 4.

### 3. EXPERIMENT

Pri počítaní tlakových strát vstupuje do vzorcov viacero premenných, ktoré sú odmerané alebo dané tabuľkovo. Jednou zo sporných hodnôt môže byť súčiniteľ trenia, ktorý je udávaný pre gumene hadice. Súčasné moderné hadice však používajú gumené vnútorné vložky od rôznych výrobcov, preto pre možnosť verifikácie týchto výsledkov sa pristúpilo k experimentálnemu stanoveniu tlakových strát vznikajúcich prúdením vody v hadicovom

vedení. Tlakové straty v hadicovom vedení sa udávajú na 100 m dĺžky, preto aj meranie prebehlo na 100 m úseku hadicového vedenia. Meranie na kratšiu vzdialenosť by mohli ovplyvniť miestne tlakové straty na zapojení armatúr.

Merané hadicové vedenie bolo zložené z 5 ks hadíc v celkovej dĺžke 100 m. Meranie prebehlo v priestoroch FBI, VŠB TU Ostrava, ako zdroj vody slúžila 4000 l nádrž a stabilné laboratórne čerpadlá. Meranie sa vykonalo na meracích armatúrach (obr. 1), na ktorých sa nachádzali indukčné prietokometry Flonet FN 2014.1. Tlak bol zobrazovaný pomocou analógového ukazovateľa a súčasne meraný pomocou tlakového čidla. Údaje boli zapisované datalogerom Almemo 2590 do dátových súborov, ktoré boli následne v počítači spracované do požadovanej podoby. Ako zdroj elektrickej energie pre meracie prístroje slúžila prenosná elektrocentrála.



Obrázok 1 Meranie tlakových strát v hadicovom vedení (autor)

Meracie armatúry sú zhotovené tak, aby v nich vznikalo ustálené prúdenie a neovplyvňovali meranie, podľa údajov výrobcov meracích zariadení. Prvá meracia armatúra na začiatku merala tlak a prietok na začiatku hadicového vedenia, druhá merala tlak na konci hadicového vedenia. Prietok na konci nebolo nutné merať, nakoľko prietok je v celom hadicovom vedení rovnaký, pokiaľ nedochádza

k úniku vody. Pomocou čerpadla sme postupne zvyšovali tlak, pričom sme merali prietok vody a tlak na meracích armatúrach. Diferencia tlakov predstavuje tlakovú stratu vzniknutú trením vody v hadicovom vedení pri danom prietoku. Namerané hodnoty tlakových strát sú v tabuľke 2 pre hadice typu C a v tabuľke 3 pre hadice typu B.

Tabuľka 2 Tlakové straty v 100 m hadicového vedenia typu C52

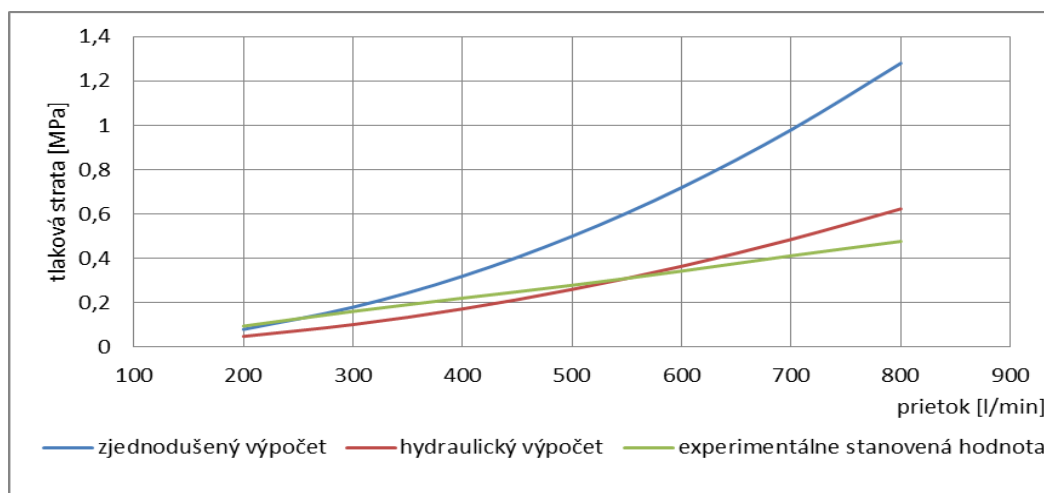
prietok [l/min]	200	300	400	500	600	700	800
tlaková strata [MPa]	0,095	0,161	0,221	0,279	0,343	0,412	0,477
koeficient A [-]	0,421	0,559	0,724	0,896	1,049	1,189	1,342

Tabuľka 3 Tlakové straty v 100 m hadicového vedenia typu B75

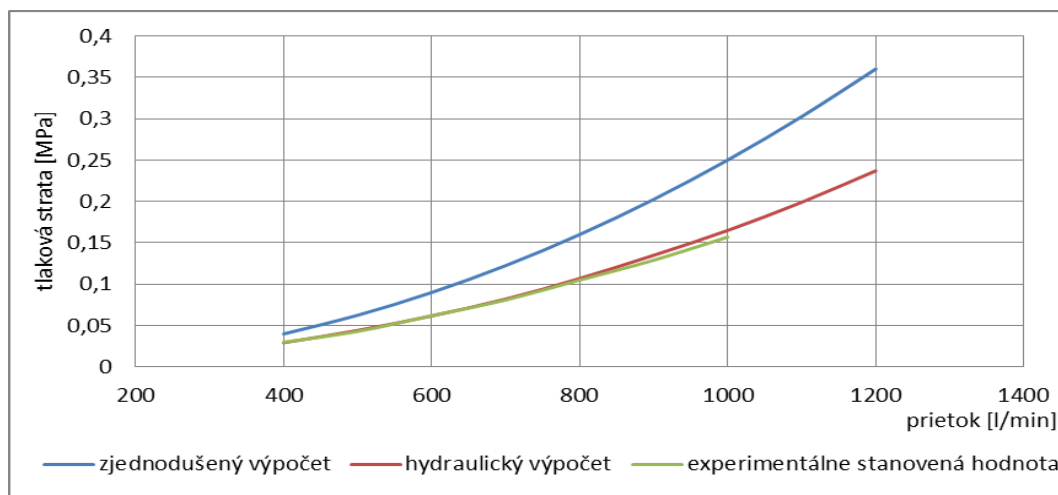
prietok [l/min]	400	500	600	700	800	900	1000
tlaková strata [MPa]	0,03	0,043	0,062	0,081	0,105	0,129	0,157
koeficient A [-]	5,334	5,813	5,808	6,049	6,095	6,279	6,369

Hodnoty tlakových strát vypočítaných podľa starej hodnoty odporového koeficientu, podľa teoretického výpočtu a namerané hodnoty sú

znázornené v grafe na obrázku 2 pre hadice typu C a v grafe na obrázku 3 pre hadice typu B.



Obrázok 2 Porovnanie výsledkov tlakových strát v 100 m hadiciach typu C 52



Obrázok 3 Porovnanie výsledkov tlakových strát v 100 m hadiciach typu B 75

Z uvedeného grafu na obrázku 2 a obrázku 3 môžete vidieť rozdielnosť tlakových strát udávaných na 100 m hadicového vedenia v závislosti od prietoku. Pri vyšších prietokoch môžeme vidieť výrazný rozdiel medzi hodnotami nameranými a vypočítanými podľa starých hodnôt odporových konštánt.

Pri oboch meraniach možno počítať z chybami merania, ktorý vychádzajú z odchýlok jednotlivých meracích prístrojov a nepresnosťou merania. Meranie prebiehalo na laboratórnych prístrojov s požadovanými rozsahmi merania parametrov, po prepočítaní výsledkov merania a stanovení jednotlivých

odchýlok nám vyšla relatívne nepresnosť merania do 3 % [6, 7].

#### 4. ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV

Pre spresnenie zjednodušeného výpočtu tlakových strát v hasičskej praxi navrhujem zmenu odporovej konštanty „A“. Pri hadiciach typu C, kde je požadovaný prietok najčastejšie 400 l/min, upraviť hodnotu z 0,5 na 0,7. Podľa zistených výsledkov a prepočtov sa táto hodnota pohybuje nad 0,7. Je nutné uvažovať z vyššou tlakovou stratou ako je reálna, aby sa zaistila spoľahlivosť dopravy vody v požadovanom prietoku.

Pri hadiciach typu B, kde je požadovaný prietok nad 800 l/min, upraviť hodnotu z 4 na 5,5. Podľa zistených výsledkov a prepočtov sa táto hodnota pohybuje nad 6; avšak je nutné uvažovať z vyššou tlakovou stratou ako je reálna, aby sa zaistila spoľahlivosť dopravy vody v požadovanom prietoku. Veľkosť tlakovej straty negatívne ovplyvňujú opotrebovanie vnútornej vložky hadíc a spôsob rozloženia hadicového vedenia, ktoré sú spôsobené zlomami a zakrivením hadicového vedenia. Preto je dôležité dbať na pravidelnú

kontrolu a obmenu vecných prostriedkov hasičských jednotiek. Odporúčame aby pri zásahu bola dosiahnutá čo najväčšia priamosť hadicového vedenia.

#### 5. ZÁVER

Článok poukazuje na rozdielnosť hodnôt tlakových strát podľa zjednodušeného výpočtu, hydraulického výpočtu a experimentálne stanovených hodnôt. Presné hodnoty tlakových strát pre danú hadicu je možno stanoviť len meraním v laboratórnych podmienkach, nakoľko presné fyzikálno-chemické zloženie a vlastnosti vnútornej vložky sú spravidla výrobným tajomstvom daného výrobcu. Jedným z možných riešení je povinnosť výrobcov udávať závislosť tlakových strát od prietoku pre každý druh hadice.

V článku sa podarilo dokázať, že nové typy hadíc majú podstatne lepšie kvalitatívne vlastnosti ako staré typy hadíc. Dochádza tak k poklesu tlakových strát trením, vodu je možné dopraviť do väčšej vzdialenosti v porovnaní so starými druhmi hadíc pri rovnakej tlakovej strate.

#### LITERATÚRA

- [1] KOZIČOVÁ, B. 2015: Doprava vody na hasenie lesného požiaru v extrémnych terénnych podmienkach. [Master thesis], University of Žilina. Faculty of Security Engineering, Žilina: FŠI ŽU, 2015. 80 p.
- [2] KVARČÁK, M. 2008: Požární taktika v příkladech. 2., aktualiz. vyd. V Ostravě: SPBI, 175 s. 2008, Spektrum. ISBN 978-80-7385-062-3.
- [3] FARKAŠ, D. – SVETLÍK, J. 2012. Prietokové parametre hasičských hadíc. In: Spravodajca - Protipožiarna ochrana a záchranná služba. – Bratislava: Ministerstvo vnútra SR, Prezídium HaZZ, 2012, roč. 43, č. 4, ISSN 1335-9975.
- [4] PALÚCH, I. 1976. Hydraulika – teória a prax pre zdolávanie požiarov. 1.vydanie. Praha. SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1976. 428 s.
- [5] PALÚCH, I. 1981. Technické prostriedky požiarnej ochrany. 1. Vydanie, Bratislava. Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1981. 444 s.
- [6] DRUSA, M. a kol. 2003. Hydraulika a hydrológia. Žilina: EDIS vydavateľstvo ŽU, 2003. 260 s. ISBN 80-8070-037-0
- [7] KOPEČNÝ, Jan. Fyzikální měření. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 1999. ISBN 80-7078-655-8.