

Experimentálne stanovenie konštanty dĺžkovej straty v hasičských hadiciach

Experimental determination of the constants of linear losses in the fire hose

Jozef Svetlík

Katedra požiarneho inžinierstva, FBI ŽU v Žiline; 1. Mája 32 010 01 Žilina
jozef.svetlik@fbi.uniza.sk

Dušan Farkaš

OR HaZZ v Starej Ľubovni; Mýtna 4, 064 01 Stará Ľubovňa
dusan.farkas@minv.sk

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá jedným zo spôsobov určenia konštanty dĺžkových strát v hadicovom vedení. V článku je popísaný experiment, výsledky a odporúčanie pre praktické použitie.

Kľúčové slová: strata trením, experiment, doprava vody, hadicové vedenie.

Abstract

The paper deals with one method of determining the constants of length loss in the hose line. The article describes an experiment, the results and recommendations for practical use.

Keywords: friction loss, experiment, water transport, hose line.

ÚVOD

Prúdenie kvapalín v priestore so sebou prináša premenu kinetickej energie kvapaliny na formy, na pre dopravu nežiaduce formy. Jedná sa najmä o hluk, trenie, teplo a iné. Pre energetickú rovnováhu v sústave, v ktorej dopravujeme vodu za reálnych podmienok platí Bernoulliho rovnica prúdiacej kvapaliny:

$$\frac{\alpha \cdot u^2}{2g} + z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \sum Z_i = \text{konšt} \quad (1)$$

Kde:

α - Coriolisovo číslo (-)

u - stredná prierezová rýchlosť kvapaliny ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

g - gravitačné zrýchlenie ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

ρ - hustota kvapaliny ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

p - tlak kvapaliny (Pa)

Z_i - stratová výška (m)

V praxi sa stretáme s problémom určenia tlakových strát pri doprave vody hadicovým vedením. Pri pohybe reálnych kvapalín rozoznávame tri základné druhy hydraulických strát:

- straty výškové – prekonanie geodetickej výtláčnej výšky,
- straty trením – vplyvom trenia jednotlivých vrstiev kvapaliny,
- straty miestne – dochádza ku zmene rýchlostného poľa prúdiacej kvapaliny.

Odhad (výpočet) straty trením v hadicovom vedení sa pre potreby praxe určuje zo vzťahu (2), čo je upravený Darcy-Weisbachov vzťah. Pre potreby hasičov pomerne presne popisuje závislosť tlakových strát od prietoku, pri ktorom je neznámou konštanta dĺžkových strát A . Veľkosť straty statického tlaku p_{zl} a veľkosť prietoku Q boli získané meraním.

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

Kde:

p_{zl} - veľkosť straty statického tlaku v hadiciach (MPa)

L - dĺžka hadíc jedného druhu v stovkách metrov (m); napr. 200m $\rightarrow$ $L=2$

Q - prietok ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)

A - konštanta dĺžkových strát pre daný typ hadice

CIELE EXPERIMENTU

Znalosť hodnoty konštanty dĺžkových strát A znamená pre veliteľov a strojníkov hasičskej techniky jednoduché a okamžité zistenie veľkosti straty statického tlaku p_{zl} . Na základe toho je zvolená varianta rozvinutia zásahových hadíc a použitie vecných prostriedkov (rozdeľovač, prúdnicie a pod.). Hodnoty dĺžkových strát A , a následne aj hodnoty straty statického tlaku p_{zl} sa používajú zo sedemdesiatych rokov minulého storočia, kedy bolo uskutočnená séria testov. Do konca deväťdesiatych rokov však nenastal výrazný progres v kvalite vyrábaných hasičských hadíc, pre ktorý by bolo nutné vykonávať nové merania. Posledné roky je však badať nesúlad reálnych hodnôt s výpočtami podľa pôvodných konštánt. Prejavuje sa to najmä pri práci s vyšších prietokmi, prípadne dlhším hadicovým vedením. Dnešné zásahové hadice majú podstatne kvalitnejšie parametre dĺžkových tlakových strát ako tie merané v sedemdesiatych rokoch minulého storočia a používané skoro dodnes.

Tento jav sa dá relevantne overiť experimentom, ktorý jednoznačne preukáže odlišné hodnoty konštanty dĺžkových strát pre jednotlivé druhy zásahových hadíc oproti pôvodne používaným. Hlavným cieľom experimentu bolo teda potvrdiť túto hypotézu, že novšie hadice vykazujú pri porovnateľných podmienkach prevádzky menšie trecie straty a je možné preto pri doprave vody zvýšiť rozstupy čerpadiel.

Keďže v dnešnej dobe je veľké množstvo výrobcov a dodávateľov hasičských hadíc, platnosť výsledných hodnôt je použiteľná len na konkrétny druh skúšaných hadíc od konkrétneho výrobcu. Na zovšeobecnenie je do budúcnosti potrebné vykonať merania aj na hadiciach iných výrobcov. Následne je potrebné výsledky vzájomne porovnať a len v prípade, ak budú s určitou mierou nepresnosti podobné, je možné ich oficiálne vyjadriť a prijať za východiskové.

Na meranie veľkosti straty statického tlaku p_{zl} bola použitá metóda nepriameho merania, vzhľadom na absenciu zariadenia na meranie diferenčného tlaku. Za výstupnú hodnotu bola považovaná absolútna hodnota rozdielov priamo nameraných tlakov na začiatku (p_1) a na konci (p_2) hadicového vedenia (3).

$$p_{zl} = |p_1 - p_2| \quad (3)$$

Výsledná hodnota prietoku vychádzala rovnako z nepriameho merania a bola vypočítaná z pomeru priamo nameraných hodnôt výšky h_N , dĺžky d_N a šírky s_N nádrže v tvare pravouhlého kvádra a času jej naplnenia t_N (4).

$$Q = \frac{h_N \cdot d_N \cdot s_N}{t_N} \quad (4)$$

SKLADBA EXPERIMENTÁLNEHO ZARIADENIA

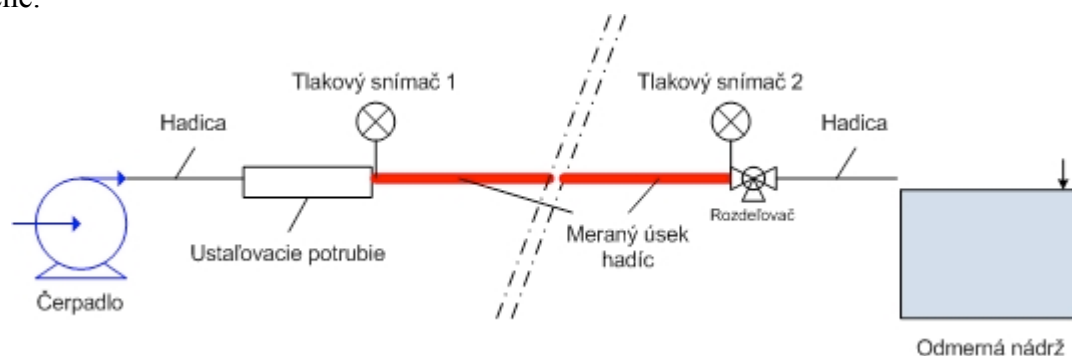
Samotný merací systém pozostával počas celého procesu merania z rovnakých komponentov. Zmena skladby nastala len pri výmene druhu skúšaných hasičských zásahových hadíc. V našom prípade išlo o zásahové hadice s týmito parametrami:

- výrobca: Prometheus – SL s.r.o.,
- pracovný tlak: 1,6 MPa,
- deštrukčný tlak: 4,9 MPa,
- vnútorný priemer: 25, 52 a 75 mm,
- vnútorná vložka: gumená - DUNLOP ENERKA,
- konštrukcia tkaniny: keprová – PES,
- hmotnosť: 2,5 kg, 6,1kg, 9,1kg
- dĺžka: ± 20 m
- počet kusov použitých v zapojení pre meranie: 5 ks

Experimentálne zariadenie bolo v smere od čerpadla po plnenú nádrž zložené z komponentov, ako je to na obrázku 1.

Čerpadlom bola voda tlačaná cez hadicu do rúry slúžiacej na ustálenie prúdenia, za ktorou nasledovala armatúra z umiestneným tlakovým snímačom č.1. Vedenie ďalej pokračovalo hadicami, na ktorých sa vyjadrovala strata tlaku na konci ktorého bol umiestnený snímač č.2. Pre zavodenie celej trasy a vyplnenie hadíc v celom priereze vodou bol použitý trojcestný rozdeľovač. Z rozdeľovača kvapalina smerovala do nádrže.

Samotné merania sa uskutočnili na rovnej betónovej ploche so sklonom maximálne 2%. Meranie na výškovo nerovnomernej ploche by predstavovalo vyššiu chybu merania. Chyba by bola spôsobená statickým tlakom kvapaliny, či už jeho prekonávaním, alebo opačne.



Obrázok 1 Zloženie meracieho zariadenia

POSTUP SKÚŠKY

Zariadením zabezpečujúcim dodávku vody a potrebného tlaku do meracej sústavy bolo odstredivé čerpadlo Rosenbauer NH20 s menovitým výkonom $2000 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ pri tlaku 1,0 MPa, umiestnené na podvozku automobilu hasičskej záchrannej služby Mercedes Atego.

Vzhľadom na prietoky pri meraniach bol prietok meraný pomocou nádrže tvaru pravouhlého kvádra. Prietok bol závislý od času naplnenia nádrže. Čas sa stanovoval dvojicou na sebe nezávislých chronometrov. Zvyšovanie jednotlivých prietokov bolo dosiahnuté zvyšovaním tlaku na manometri na meracej trubici č.1. Zvýšenie tlaku na manometri o potrebnú hodnotu bez toho, aby sa napúšťala meracia nádrž, bolo dosiahnuté uzavretím ventilu prívodu do nádrže na rozdeľovači za meracou trubicou č.2 a otvorením ventilu pre voľný výtok ako na obrázku 2.



Obrázok 2 Časť meracieho systému. Meracia trubica č. 1 so snímačom tlaku, odmerná nádrž.

Po nastavení potrebného vstupného tlaku sa uzavrel ventil voľného výtoku na rozdeľovači a následne sa otvoril ventil prívodu do nádrže spolu so spustením stopiek. Nádrž bola pred každým meraním vyprázdnená. Po dosiahnutí maximálnej hladiny nádrže bola časomiera zastavená a zapísaný nameraný čas.

Pre zisťovanie tlakov na vstupe a výstupe zo zariadenia bolo použité meracie zariadenie ALMEMO 2690-8, schopné pomocou snímačov umiestnených na meracích trubicach v otvoroch na odber tlaku priebežne ukladať jednotlivé hodnoty v zadaných časových intervaloch. Pre zistenie tlakových strát boli použité len tie hodnoty odmeraných tlakov, ktoré sme zaznamenali meracím zariadením počas plnenia nádrže. Zaznamenané hodnoty tlakov sa v predprogramovanom časovom slede (5 sekúnd) automaticky uložili do pamäte meracieho zariadenia.

Pred samotným experimentom sa odmerali presné dĺžky jednotlivých hadíc. Taktiež sa uskutočnilo šesť nezávislých meraní dĺžky, šírky a výšky nádrže a premerala sa kolmosť nádrže. Nádrž umiestnila na vodorovnú plochu, kde hladina rovnomerne zakrývala všetky jej steny.

Dĺžka času naplnenia nádrže, tlak na vstupe a výstupe z hadicového vedenia a reálny čas začiatku merania sa písomne zapisovali do tabuľky pracovného protokolu pre registráciu výsledkov a ostatných parametrov (viď. tab.2). Po skončení merania sa namerané hodnoty z meracieho prístroja preniesli do programu MS Excel, v ktorom boli vykonané aj výpočty pre každý typ hadice.

SPRACOVANIE ÚDAJOV A VÝSLEDKY MERANÍ

Na stanovenie presnosti výsledkov merania a jeho zovšeobecnenie formou matematických výrazov sa využívajú často štatistické metódy. Pri voľbe správnej experimentálnej metódy sú výsledky merania korektné (t.j. pri opakovanom meraní získavame podobné výsledky) aj pri pôsobení iných vonkajších podmienok.

V súčasnej dobe sa v súvislosti s vyhodnocovaním meraní stretávame hlavne s pojmom neistoty v meraní. Táto metodika sa do praxe dostáva od začiatku deväťdesiatych rokov ako náhrada koncepcie ešte stále používaných chýb merania. Výsledné hodnoty z meraní vyjadrujú hodnoty s neistotou upravenou na konfidenčnú hladinu 99,7%, bol získaný takmer zaručený výsledok. Základný matematický vzťah, ktorým sa spracovali výstupy so všetkými vstupnými veličinami, od ktorých je nami určovaná konštanta závislá je:

$$A = \frac{L}{100} \cdot \frac{Q^2}{p_{z1}} = \frac{5 \cdot d_H}{100} \cdot \frac{\left(\frac{V_N}{t_N}\right)^2}{(p_1 - p_2)} = \frac{5 \cdot d_H}{100} \cdot \frac{\left(\frac{h_N \cdot d_N \cdot s_N}{t_N}\right)^2}{(p_1 - p_2)} \quad (5)$$

Kde:

A - konštanta dĺžkových strát

L - celková dĺžka piatich hadíc (m)

Q - prietok pri danom meraní ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)

V_N - objem plnenej nádrže (m^3)

p_{z1} - absolútna hodnota rozdielu tlakov na vstupe a výstupe (MPa)

d_H - dĺžka jednej hadice (m)

h_N - výška nádrže pre naplnenie (m)

d_N - dĺžka nádrže pre naplnenie (m)

s_N - šírka nádrže pre naplnenie (m)

p_1 - hodnota tlaku na meracej trubici č.1 (MPa)

p_2 - hodnota tlaku na meracej trubici č.2 (MPa)

KVANTIFIKÁCIA VELIČÍN

Ide o pridelenie hodnoty každej vstupnej veličine, či už analýzou štatistických opakovaných meraní, prevzatím neistoty z kalibračného certifikátu, odhadom, výberom z technických tabuliek alebo iným spôsobom zodpovedajúcim správnosti výsledku. Ako príklad je možné uviesť vstupné parametre, ktoré sú konštantné pre všetky merania hadíc B75 (v tabuľke 1). Vstupnými hodnotami, ktoré sa menia v závislosti od každého zaznamenaného merania sú tlak na snímačoch 1 a 2 a čas naplnenia nádrže viď. tabuľka č. 2 (výsledky piateho merania - jedno zo siedmich uskutočnených meraní pri hadiciach B75).

Tabuľka 1: Údaje, ktoré nemenia hodnotu a sú zhodné pre všetky merania hadíc B 75

	Meranie výšky nádrže h_N (m)	Meranie dĺžky nádrže d_N (m)	Meranie šírky nádrže s_N (m)	Meranie dĺžok hadíc B 75 (m)
	0,803	1,997	1,004	20,10
Teplota vzduchu: 11°C	0,799	2,003	1,001	20,10
	0,801	2,003	0,999	20,17
Teplota vody: 11,7°C	0,802	2,002	1,003	20,12
	0,805	2,004	1,004	20,14
	0,798	2,001	0,998	

Tabuľka 2: Hodnoty tlakov na vstupe a výstupe meracieho zariadenia platné pre 5. meranie

Meranie č.5	Čas reakcie meracieho zariadenia (h;min;s)	Tlak na snímači č.1 vstup (MPa)	Tlak na snímači č.2 výstup (MPa)
Približný začiatok merania 11:33:45 h	11:33:48	0,409	0,093
	11:33:53	0,408	0,092
	11:33:58	0,407	0,086
	11:34:03	0,408	0,089
Čas č.1 naplnenia nádrže 01:06,0 min.	11:34:08	0,402	0,089
	11:34:13	0,405	0,088
	11:34:18	0,409	0,090
	11:34:23	0,400	0,092
Čas č.2 naplnenia nádrže 01:05,8 min.	11:34:28	0,405	0,091
	11:34:33	0,407	0,091
	11:34:38	0,406	0,093
	11:34:43	0,408	0,092
	11:34:48	0,402	0,094

VÝSLEDNÉ HODNOTY MERANIA

Zo všetkých nameraných údajov boli vypočítané a vyjadrené hodnoty konštanty dĺžkových strát A s parametrom neistoty merania pre tlakové zásahové hasičské hadice druhu B75, C52 a D25 (2. stĺpec v tab.3) .

Pre prax je takáto presnosť dĺžkových strát nad rámec potrieb hasičskej jednotky, preto bolo potrebné výsledky upraviť na celé čísla, prípadne na jedno desatinné miesto. Úpravy disponujú kritériami pravdivosti s určitou mierou matematickej rezervy a sú opodstatnené. Upravené konštanty je možné vidieť v tabuľke č.3 v stĺpci 3.

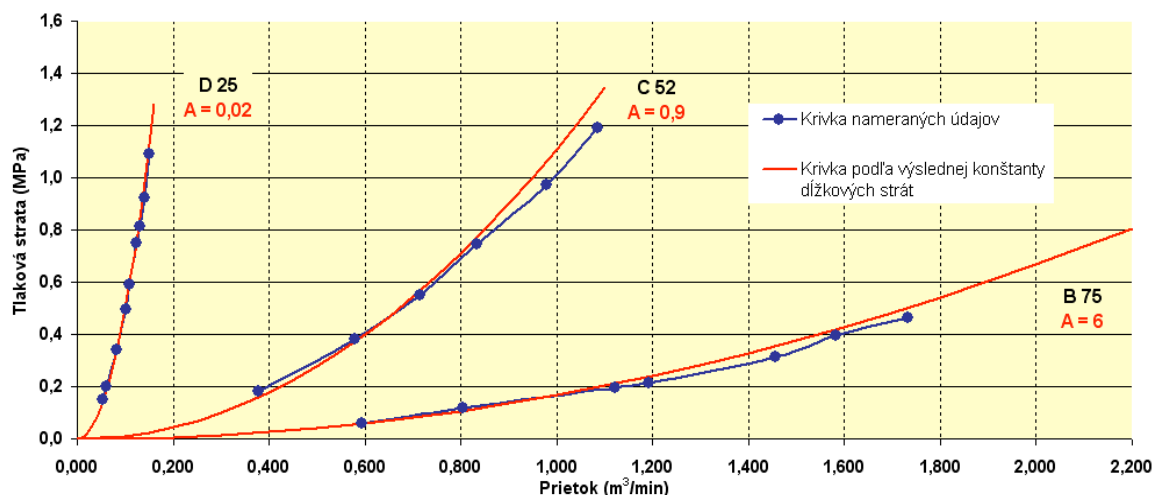
Tabuľka 3: Porovnanie pôvodných a nameraných konštánt dĺžkových strát

Druh hadíc	Konštanta dĺžkových strát A súčasných hadíc (Experimentálna)	Konštanta dĺžkových strát A súčasných hadíc (Pre použitie v praxi)	Konštanta dĺžkových strát A pôvodných hadíc
B 75	6,389± 0,585	6	4
C 52	0,965 ± 0,131	0,9	0,5
D 25	0,020± 0,001	0,02	nemerané

ZHODNOTENIE EXPERIMENTU

Z odborného hľadiska môžu zaznieť oprávnené námietky voči niektorým postupom a metódam použitým v týchto meraniach. Hlavná námietka môže spočívať v správnosti použitia upraveného Darcy-Weisbachovho vzťahu pre určovanie tlakových dĺžkových strát.

Jeho použitie z hľadiska presnosti spôsobuje určité odchýlky, avšak tie sa vyskytujú predovšetkým v nízkych, resp. nižších prietokoch, kedy je tlaková strata ovplyvňovaná okrem drsnosti potrubia aj Reynoldsovým číslom. Naopak, pri vysokých prietokoch už Reynoldsovo číslo nemá vplyv na tlakovú stratu trením. Z vedeckého hľadiska by bolo ďalej možné používať namerané hodnoty len pre vysoké prietoky. Z praktického pohľadu však nie je vhodné diferencovať konstantu pre nižšie a vyššie prietoky. Zavedenie dvoch konštánt by predstavovalo vyššie nároky na teoretické znalosti obsluhy čerpadiel a veliteľov zásahu. Potvrďuje to aj fakt, že samotná odchýlka pri jednotlivých režimoch je zanedbateľná. Vizuálne je toto tvrdenie podporené krivkami vytvorenými podľa nových konštánt dĺžkových strát pre jednotlivé hadice dosadených do upraveného Darcy-Weisbachovho vzťahu a krivkami získanými z meraní počas experimentu, ako je to na obrázku 3.



Obrázok 3: Graf kriviek výsledných konštánt v porovnaní s krivkami priamych meraní

DISKUSIA

S postupom technológií výroby hasičských hadíc sa viacero ich parametrov zmenilo. Parametre typu hmotnosť, dĺžka, odolnosť a podobne, nemajú až taký veľký vplyv na posúdenie správnosti taktiky zásahu ako práve zmena koeficientu dĺžkových tlakových strát. Samozrejme platí to, len pokiaľ ide o zložitejší zásah z hľadiska slabej dostupnosti techniky, dlhodobej dodávky vody na väčšiu vzdialenosť, pohyb s dopravným a útočným vedením v ťažkom teréne, potreby veľkých prietokov a podobne. V súčasnosti sa na prepočet tlakových strát v hadicových vedeniach používajú údaje konštánt dĺžkových strát také, ako sú uvedené v tabuľke 3, stĺpec 4. To do veľkej miery ovplyvňuje schopnosť veliteľov reálne posúdiť dnešné možnosti využitia modernejších hadíc. Príklady zjavných rozdielov, ktoré ovplyvňujú taktické možnosti používania moderných hadíc v porovnaní s výpočtami vychádzajúcimi z konštánt používanými od 70-tych rokov minulého storočia.

Z takéhoto porovnania jednoznačne vyplýva, že nami merané hadice sú v porovnaní s teoretickými výpočtami podľa dnes používaných konštánt dĺžkových strát zjavne kvalitnejšie. Pri hadiciach B75 sa napr. tlakové straty pri jednotlivých prietokoch znížili približne o 30%. Jasne to dokazuje zlepšené taktické možnosti pre vedenie zásahov pri doprave väčšieho množstva vody na dlhšie vzdialenosti. Pri hadiciach C52 sa otvárajú možnosti ešte podstatnejšie. Tlakové straty pri rovnakých prietokoch klesajú až o viac ako 40%. To predurčuje používať hadice C52 ako dopravné vedenie pri lesných požiaroch, ktoré umožnia dopraviť vodu napr. 300 l/min do útočných vedení D až na vzdialenosť 400m s dĺžkovou tlakovou stratou len 0,4MPa. Tieto parametre sú dostatočné na zásobovanie 4 až 5 D prúdnic s požadovaným tlakom pred prúdniciou, a tiež na bežné prekonanie výškových rozdielov. Podobných taktických variant, poukazujúcich na kvalitnejšie využitie nových parametrov hadíc je samozrejme viac.

Dôležité je si uvedomiť, že pokiaľ nebudú tieto hodnoty potvrdené opakovanými meraniami hadíc od rôznych výrobcov, môžeme výsledky použiť len ako rezervu, ktorá umožní predĺžiť dopravné vedenie až za hranice dané pôvodnými výpočtami.

ZÁVER

Vyjadrené hodnoty konštánt dĺžkových strát sú relatívne často diskutovanou témou. Rozdielnosť nameraných hodnôt oproti hodnotám v minulosti, alebo tým súčasným meraným inými organizáciami (VŠT TU Ostrava) je spôsobená ani nie tak metodikou merania, ako

materiálmi, z ktorých sú hadice vyrobené. Znižovanie drsnosti vnútorných povrchov hadíc a armatúr sa mení v hadiciach typ prúdenia, ktorý má priamy vplyv na súčiniteľ straty trením. Čím nižší je súčiniteľ, tým menšia je celková strata.

Je však nesporné, že pri meraniach, boli dosiahnuté podobné hodnoty, aké registrujú aj hasiči pri praktickej činnosti. Z toho dôvodu je dôležité do budúcnosti rozšíriť vzorku o nové ešte namerané typy hadíc od iných výrobcov, pristúpiť k zovšeobecneniu výsledkov a k ich premietnutiu do odbornej prípravy hasičských jednotiek.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. KOSTÚR, K. – LACIAK, M. – TRUHLÝ, M. 2005. *Systémy nepriameho merania*. 1. vyd. Košice : Reprocentrum, 2005. 173 s. ISBN – 80-8073-273-6
2. KUREKOVÁ, E. – GABKO, P. – HALAJ, M. 2005. *Technické meranie – zväzok II*. 1. vyd. Bratislava : Ing. Peter Juriga – Grafické štúdio, 2005. 708s. ISBN 80-89112-04-8.
3. PALÚCH, I. 1976. *Hydraulika – teória a prax pre zdolávanie požiarov*. 1. vyd. Praha : SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1976. 428 s.
4. PALÚCH, I. 1981. *Technické prostriedky požiarnej ochrany*. 1. vyd. Bratislava : Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1981. 444 s.
5. STARÍČEK, I. 1988. *O fyzike pre fyzikov a nefyzikov*. 1. vyd. Bratislava : Veda – vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 1988. 344 s.
6. MAJDAN, P. 2009. *Meranie dĺžkových tlakových strát v požiarnych hadiciach* : diplomová práca. Žilina : ŽU v Žiline, 2009. 69 s.
7. ČSN 80 8715 : 1994 : Zkoušení izolovaných a oboustranně povrstvených tlakových hadic
8. Betriebsanleitung&ersatzteilliste : 2007 : *Einbaupumpe NH30*. 2007. 93 s.
9. Popis produktu : Merací prístroj ALMEMO 2690-8, In Areko[online]. [cit. 01.12.2009] Dostupné na internete:
10. <http://www.areko.sk/detail.php?pid=13&cat=1&subcat=1&prod=1&pg=10>
11. Popis produktu : Snímač tlaku FDA602Lx, In Areko[online]. [cit. 01.12.2009] Dostupné na internete:
12. <http://www.areko.sk/detail.php?pid=180&cat=2&subcat=9&prod=1>
13. <http://www.semattr.sk/images/gallery/166.jpg> [cit. 10.12.2009]