

IWONA CISOWSKA

Kielce University of Technology,
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7,
25-314 Kielce, Poland,
e-mail: cisowska@tu.kielce.pl

STUDIES OF HYDRAULIC RESISTANCE IN POLYPROPYLENE PIPE FITTINGS

Abstract

The results of studies of local hydraulic resistance in polypropylene segmental elbows ($R/d \leq 1$) and bends ($R/d > 1$) in systems of two or more pipe fittings connected in series are analyzed. Qualitative and quantitative formulas for the coefficient of local resistance in pipelines built from elbows and bends connected conformingly (forming spiral loops) or alternatinvely (forming sinusoidal waves) are presented.

Keywords: Pipe fittings; Pressure flow; Local resistance.

1. Introduction

The local resistance coefficients for elbows or bends found in the literature are mainly for steel or cast iron pipe fittings and they considerably differ from experimental results for single plastic pipe fittings and especially for two consecutive elbows or bends connected conformingly or alternatinvely. As yet local resistance in systems made up of several to a dozen or so elbows or bends connected in series has not been studied, so the aim of this research was to explore:

- the local resistance in systems of two or more bends or elbows conformingly connected in series to form, among others, spiral loops;
- the local resistance in systems of two or more bends or elbows alternatinvely connected in series to form, among others, sinusoidal waves.

The measurement results and physical formula for the local resistance coefficient of single segmental 90° elbows and bends was presented in dissertation (Cisowska 2004).

2. Experimental Setup

Model local resistance studies were carried out on forty six geometrical arrangements of segmental polypropylene elbows ($R/d \leq 1$) and bends ($R/d > 1$), consisting of pipe fittings with central angles $\alpha \in \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ \text{ and } 90^\circ\}$, relative radii of curvature $R/d \in \{1.0, 1.75, 2.25, 4.25\}$ and number of socket joints $z \in \langle 1, 48 \rangle$ at relative straight socket section length $l_k/d = 0.70$. A diagram of the experimental setup is shown in Fig. 1. The measuring lengths (0-4) were built from straight socket sections with assembly length $L_m = 1.0$ m ($L_m/d = 14.1$).

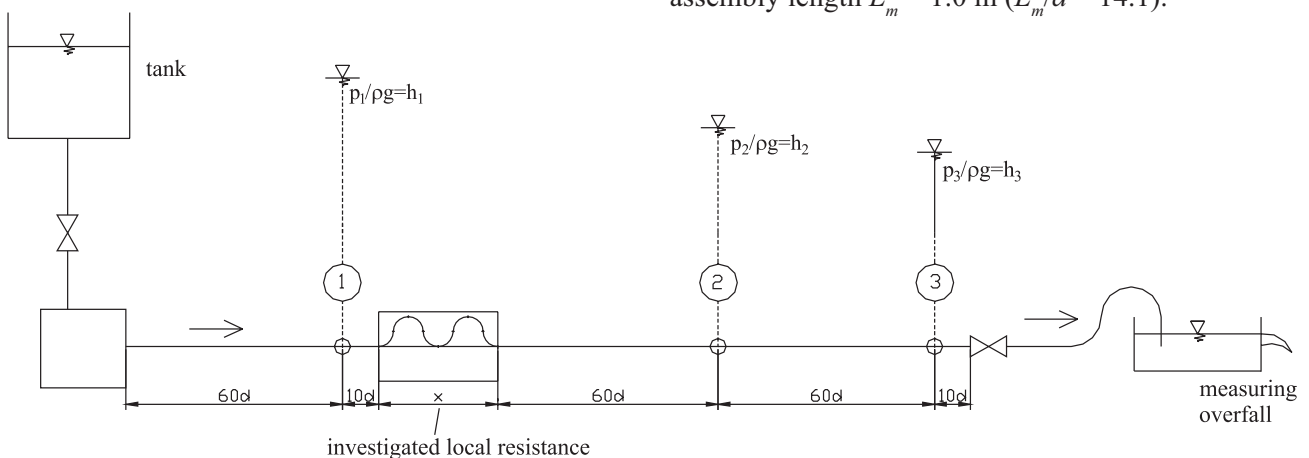


Fig. 1. Schematic diagram of measurements in the model

Needed results of the linear resistance coefficients of the studied pipelines yielded results which were found to be in quite good agreement with the ones calculated from the Prandtl-Karman formula (for hydraulically smooth pipes) and presented in (Cisowska 2004). The internal diameter of the polypropylene pipelines and pipe fittings was determined (by the volumetric method) to be $d = 71.0 \pm 0.1$ mm. Reynolds number range was $Re \in \langle 47000, 248000 \rangle$.

3. Analysis and Interpretation of Local Resistance Experimental Results

Experimental local resistance coefficient values are usually given for the fully developed turbulent flow of liquid in the $25 \div 40 d$ long section of the pipeline before the obstruction, taking into account the losses (due to the velocity and pressure distribution disturbances caused by the obstruction) along the $40 \div 70 d$ long section after the obstruction. In practice, different local resistances are often closely spaced so that the flow of liquid cannot fully redevelop. Then the overall resistance coefficient for a system of pipe fittings is not equal to the direct sum of the individual resistance coefficients and it should be experimentally determined.

According to the Standard (Polish Standard 1976), $\zeta_{(2 \times 90^\circ)} = 2\zeta_{(90^\circ)}$ for sequences of conformingly connected double elbows $\alpha_s = 2 \times 90^\circ = 180^\circ$, i.e. it is recommended to double the value of ζ_i of the individual elbows, whereas for alternatively connected double elbows the coefficient is $\zeta_{(2 \times 90^\circ)} = 4\zeta_{(90^\circ)}$. In neither case has this been corroborated by the results of the studies. The above recommendations result in overestimated local losses in the investigated pipe fittings (Tabl. 1 – series I, III and IV).

Generally, for the same ratio R/d , total numerical axial length l_o/d of elbows or bends, sum of central angles α_s and number of socket joints z , the hydraulic resistance of spiral-loop systems is much lower than that of sinusoidal-wave systems.

To generalize the experimental results for the systems of alternatively connected pipe fittings (including ones forming sinusoidal waves) an attempt of the a mathematical description of local resistance coefficient ζ as a function of the particular dimensionless similarity numbers was made. For this purpose the thirty two samples, possibilities of measurements relating to the systems of alternatively connected pipe fittings were divided into families depending on the segments' central angles $\alpha_i \in \{30^\circ; 45^\circ; 60^\circ; 90^\circ\}$.

By combining the families of relations ζ for $\alpha_i \in \{30^\circ, 45^\circ, 60^\circ\}$ one obtains a sufficiently accurate

mathematical expression:

$$\zeta = -0.0756 + \frac{1.635}{(R/d)^3} - 0.00223 \frac{\alpha_s}{\alpha_i} + 0.780 \frac{l_o}{d} - 0.823 z \quad (1)$$

at a sum of the squares of the deviations of 0.055 and a standard deviation of 0.05. Relation (1) holds for the following intervals of dimensionless similarity numbers:

$$R/d \in \langle 1.75, 4.25 \rangle; \alpha_s / \alpha_i \in \langle 2.12 \rangle;$$

$$l_o/d \in \langle 2.36, 35.60 \rangle; z \in \langle 2, 32 \rangle.$$

For systems of alternatively connected pipe fittings at $\alpha_i = 90^\circ$ the following implicit formula for ζ :

$$\zeta = -0.0923 + \frac{2.437}{(R/d)^3} + 0.0654 \frac{\alpha_s}{\alpha_i} + \frac{0.0648 \cdot (\alpha_s / \alpha_i)^2}{(R/d)^3} + 0.210 \frac{l_o}{d} - 0.205 z \quad (2)$$

at sum of the squares of the deviations of 0.072 and a standard deviation of 0.08 in parameter ranges: $R/d \in \langle 1.0, 4.25 \rangle; \alpha_s / \alpha_i \in \langle 2, 8 \rangle; l_o/d \in \langle 3.14; 53.41 \rangle; z \in \langle 2, 48 \rangle$ is proposed.

Also the experimental results for ten geometric arrangements of conformingly connected elbows and bends ($\alpha_i = 90^\circ$), including spiral loops, have been generalized. The following formula:








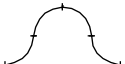


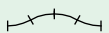
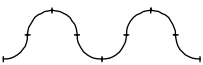
$$\zeta = 0.0891 + \frac{0.968}{(R/d)^3} + 0.0515 \frac{\alpha_s}{\alpha_i} + 0.170 \frac{l_o}{d} - 0.168 z \quad (3)$$


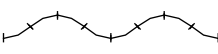
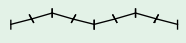



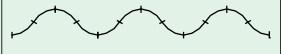
at sum of the squares of the deviations 0.056 and a standard deviation of 0.07 in parameter ranges: $R/d \in \langle 1.0, 4.25 \rangle; \alpha_s / \alpha_i \in \langle 2, 8 \rangle; l_o/d \in \langle 3.14, 28.27 \rangle; z \in \langle 2, 24 \rangle$ is proposed.

4. Conclusions

The local resistance coefficient of the studied systems consisting of (n) segmental elbows or bends considerably differs between conformingly connected systems and alternatively connected systems: in the former case the values of total resistance coefficient $\zeta_{(n)}$, which is not a direct sum of resistance coefficients ζ_i of the component pipe fittings, are much lower than in alternatively connected systems where the

Table 1. Measured local resistance coefficient for model ζ

| Series \ Variants | | A | B | C | D |
|-------------------|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | R/d = 4.25 | R/d = 2.25 | R/d = 1.75 | R/d = 1.00 |
| No. | Description, scheme | - systems of bends | - systems of bends | - systems of bends | - systems of elbows |
| | (α_i) $[\alpha_s]$ | $\alpha = 15^\circ$ | $\alpha = 30^\circ$ | $\alpha = 45^\circ$ | $\alpha = 90^\circ$ |
| | | ζ | ζ | ζ | ζ |
| I | Bends or elbows (90°) [90°]  | 0.279 | 0.324 | 0.434 | - |
| II | Bends (45°) [45°]  | 0.178 | - | - | - |
| III | 2 conformingly connected bends or elbows (90°) [180°]  | 0.469 | 0.466 | 0.606 | 1.233 |
| IV | 2 alternately connected bends or elbows (90°) [180°]  | 0.426 | 0.561 | 0.856 | 2.841 |
| V | 2 alternately connected bends (60°) [120°]  | 0.313 | 0.401 | - | - |
| VI | 2 alternately connected bends (45°) [90°]  | 0.246 | - | 0.745 | - |
| VII | 2 alternately connected bends (30°) [60°]  | 0.150 | 0.276 | - | - |
| VIII | 4 bends or elbows (90°) [360°]  | 0.860 | 1.075 | 1.517 | 4.321 |
| IX | 4 bends (60°) [240°]  | 0.603 | 0.801 | - | - |
| X | 4 bends (45°) [180°]  | 0.462 | - | 1.174 | - |
| XI | 4 bends (30°) [120°]  | 0.282 | 0.459 | - | - |
| XII | 8 bends or elbows (90°) [720°]  | 1.974 | 1.977 | 2.996 | 7.994 |

| | | | | | |
|---------|---|-------|-------|-------|-------|
| XIII | 8 bends 60° [480°]  | 1.438 | 1.444 | – | – |
| XIV | 8 bends 45° [360°]  | 0.976 | – | 2.109 | – |
| XV | 8 bends 30° [240°]  | 0.546 | 0.907 | – | – |
| XVI | Spiral loop [360°] made from bends or elbows (90°)  | 0.830 | 0.700 | 1.120 | 1.781 |
| XVII | 2 spiral loops [720°] made from bends (90°)  | – | 1.352 | 1.655 | – |
| XVIII a | 12 bends (45°) [540°]  | – | – | 3.222 | – |
| XVIII b | 24 bends (30°) [720°]  | – | 2.330 | – | – |

hydraulic resistance of systems built from the same pipe fittings as above is much greater and $\zeta_{(m)}$ is approximately a direct sum of components ζ_i .

Ratio R/d and then equally central angle α_i (or ratio of central angles α_s/α_i), relative axial length l_o/d and number of socket joints z have the most significant effect on the local resistance coefficient of single segmental polypropylene elbows or bends and their systems.

The quantitative formulas for coefficient ζ derived in this paper can be used to polypropylene systems of bends and elbows or other plastics in the adopted range of dimensionless similarity numbers and systems of geometric similarity.

Notation

The following symbols are used in this paper:

- d = the inside diameter of a pipeline or a pipe fitting;
- l_o = the axial length of an elbow ($R/d \leq 1$) or a bend ($R/d > 1$): $l_{o(mi)} = (n_i \alpha_i^\circ / 360^\circ) 2\pi R$ or a system of such pipe fittings: $l_{o(n)} = (n \alpha_i^\circ / 360^\circ) 2\pi R$;
- l_k = the length of the straight socket section in a segmental elbow or bend;
- n = the number of a segmental elbows or bends (α_i) in a system (α_s);

n_i = the number of single elbow or bend (α) in segmental elbow or bend (α_i);

R = the radius of curvature of a segmental elbow or bend;

Re = the Reynolds number: $Re = \nu d / \nu$;

z = the number of socket joints in a segmental elbow or bend: $z = n_i$ or in a system: $z = n_i n$;

α = the central angle of a single elbow or bend;

α_i = the central angle of a segmental elbow or bend:

$$\alpha_i = n_i \alpha;$$

α_s = the sum of central angles in a system of segmental elbows or bends: $\alpha_s = n \alpha_i$;

ζ = a nondimensional coefficient of local resistance.

References

- [1] Cisowska I. (2004), *Studies of Hydraulic Resistance in Polypropylene Pipes and Pipe Fittings*, Wrocław University of Technology (doctoral) (in Polish).
- [2] Kotowski A., Cisowska I. (2003), *Physical modeling of flows of liquid in hydraulically smooth pipes*, 8th Conference on Hydraulic Engineering Problems, Wrocław University of Technology, Wrocław-Kliczków, 4-6 June 2003 (in Polish).
- [3] Polish Standard, PN-76/M-34034 (1976), Pipelines. Principles of calculating pressure losses (in Polish).

Iwona Cisowska

Opory hydrauliczne w kształtkach z polipropylenu

1. Wstęp

Podane w literaturze wartości współczynników oporów miejscowych pojedynczych kolan ($R/d \leq 1$) lub łuków ($R/d > 1$) odnoszą się głównie do kształtek stalowych i żeliwnych i znacznie odbiegają od wyników badań pojedynczych kształtek z tworzyw sztucznych, zwłaszcza w układach dwóch kolan lub łuków bezpośrednio po sobie występujących. Ze względu na to, że dotychczas nie przeprowadzono badań oporów miejscowych w takich układach, celem podjętych pomiarów było poznanie oporów miejscowych układów dwóch i więcej łuków lub kolan zgodnych (płaskich) połączonych szeregowo (w tym w postaci pętli) oraz oporów miejscowych układów dwu i więcej łuków bądź kolan przemiennych (w tym w postaci sinusoidalnych fal).

2. Metodyka badań

Badania modelowe oporów miejscowych dotyczyły 48 układów geometrycznych kolan oraz łuków segmentowych z PP, złożonych z kształtek o kątach środkowych $\alpha \in \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 90^\circ\}$ i względnych promieniach krzywizny $R/d \in \{1,0, 1,75, 2,25, 4,25\}$ oraz liczbie złącz kielichowych $z \in \langle 1,48 \rangle$, przy względnej długości prostek kielichowych $l_k/d = 0.70$. Średnicę wewnętrzną badanych rurociągów i kształtek z polipropylenu określono metodą objętościową w wysokości $d = 71,0 \pm 0,1 \text{ mm}$ [1].

Schemat stanowiska doświadczalnego przedstawiono na rys. 1.

3. Analiza wyników

W układach zgodnych kolan podwójnych $\alpha_s = 2 \times 90^\circ = 180^\circ$ (występujących bezpośrednio po sobie) norma [2] podaje: $\zeta_{(2 \times 90^\circ)} = 2\zeta_{(90^\circ)}$, czyli zaleca podwajanie wartości ζ_i pojedynczych kolan, a w wypadku przemiennych kolan podwójnych – $\zeta'_{(2 \times 90^\circ)} = 4\zeta_{(90^\circ)}$. W badaniach nie potwierdzono takich zależności. Zalecenia te prowadzą do przeszacowania wartości strat miejscowych badanych

kształtek. Generalnie układy spiralnych pętli dają mniejszy opór hydrauliczny w porównaniu z układami w postaci sinusoidalnych fal dla danego stosunku R/d i tej samej sumarycznej długości osiowej l_o/d kolan bądź łuków, sumy kątów środkowych α_s oraz liczby złączy kielichowych z .

W uogólnieniu wyników badań układów przemiennych, w tym w postaci sinusoidalnych fal zbudowanych z kolan bądź łuków segmentowych, podjęto próbę opisu matematycznego współczynnika oporu miejscowego ζ w funkcji czterech bezwymiarowych liczb podobieństwa.

Z połączenia rodzin zależności ζ dla układów przemiennych złożonych wyłącznie z łuków segmentowych, przy $\alpha_i \in \{30^\circ; 45^\circ; 60^\circ\}$, uzyskano zadowalająco dokładny zapis matematyczny w postaci:

$$\zeta = -0.0756 + \frac{1.635}{(R/d)^3} - 0.00223 \frac{\alpha_s}{\alpha_i} + 0.780 \frac{l_o}{d} - 0.823 z \quad (1)$$

przy sumie kwadratów odchyień równej 0,055 i odchyleniu standardowym równym 0,05. Zależność (1) obowiązuje dla przedziałów bezwymiarowych liczb podobieństwa, związanych z zakresem przeprowadzonych badań, a mianowicie:

$$R/d \in \langle 1,75; 4,25 \rangle; \alpha_s / \alpha_i \in \langle 2.12 \rangle;$$

$$l_o / d \in \langle 2,36; 35,6 \rangle; z \in \langle 2, 32 \rangle.$$

Dla układów przemiennych, przy $\alpha_i = 90^\circ$, proponuje się następującą, uwikłaną postać wzoru do obliczeń ζ :

$$\zeta = -0.0923 + \frac{2.437}{(R/d)^3} + 0.0654 \frac{\alpha_s}{\alpha_i} + \frac{0.0648 \cdot (\alpha_s / \alpha_i)^2}{(R/d)^3} + 0.210 \frac{l_o}{d} - 0.205 z \quad (2)$$

przy sumie kwadratów odchyień równej 0,072 i odchyleniu standardowym równym 0,08; w zakresie zmian parametrów:

$$R/d \in \langle 1,0; 4,25 \rangle; \alpha_s / \alpha_i \in \langle 2, 8 \rangle;$$

$$l_o / d \in \langle 3,14; 53,4 \rangle; z \in \langle 2, 48 \rangle.$$

Uogólniono także wyniki badań współczynnika ζ dla układów geometrycznych kolan i łuków segmentowych zgodnych ($\alpha_i = 90^\circ$), w tym tworzących spiralne pętle. Zaproponowano następującą postać wzoru:

$$\zeta = 0.0891 + \frac{0.968}{(R/d)^3} + 0.0515 \cdot \alpha_s / \alpha_i + 0.170 \cdot l_o / d - 0.168 \cdot z \quad (3)$$

przy sumie kwadratów odchyień 0,056 i odchyleniu standardowym równym 0,07, w zakresie zmian wartości liczb podobieństwa:

$$R/d \in <1,0; 4,25>; \alpha_s / \alpha_i \in <2; 8>;$$

$$l_o / d \in <3,14; 28,27>; z \in <2; 24>$$

4. Podsumowanie

Współczynnik oporów miejscowych badanych układów (n) kolan bądź łuków różni się zasadniczo dla układów płaskich i przemiennych. W układach

płaskich występują mniejsze wartości sumarycznego współczynnika oporu układu $\zeta_{(n)}$, który nie jest sumą prostą wartości współczynników oporów ζ_i – składowych kształtek, w przeciwieństwie do układów przemiennych, gdzie występuje większy opór hydrauliczny układów, a $\zeta_{(n)}$ jest w przybliżeniu sumą prostą składowych ζ_i .

Najistotniejszy wpływ na wartość współczynnika oporów miejscowych pojedynczych kolan lub łuków z PP oraz ich układów, ma stosunek względnej krzywizny kształtki R/d , a następnie równorzędnie: kąt środkowy α_i (lub stosunek α_s/α_i), względna długość osiowa l_o/d i liczba złącz kielichowych z . Wyprowadzone w pracy wzory ilościowe na wartość współczynnika ζ odnoszą się do badanych układów kształtek z PP, a także innych tworzyw sztucznych pod warunkiem zachowania podobieństwa geometrycznego i wartości bezwymiarowych liczb podobieństwa wynikających z zakresu przeprowadzonych badań oraz przyjętych założeń.