

# Wpływ jakości wykonania połączeń mufowych z PP-R na opory przepływu – badania laboratoryjne

## Influence of the quality of PP-R socket fittings on the flow resistance value – laboratory tests

Bartłomiej Rogowski, Marcin K. Widomski, Anna Musz-Pomorska<sup>\*)</sup>

**Słowa kluczowe:** opory miejscowe, współczynniki strat miejscowych, połączenia mufowe, przewody PP-R

### Streszczenie

Opory miejscowe w instalacjach wewnętrznych, zwłaszcza wykonanych z nowoczesnych materiałów polimerowych ze znaczną liczbą połączeń przewodów, mogą stanowić znaczny udział całkowitych strat ciśnienia w układzie. Nieprawidłowe określenie wartości oporów na etapie projektowania oraz niewłaściwa realizacja połączeń przewodów i lokalizacja ich w bezpośredniej bliskości od siebie mogą doprowadzić do nieprawidłowego działania instalacji. Niniejsza praca przedstawia próbę oceny wpływu jakości wykonania zgrzanego połączenia mufowego przewodów PP-R 20x3,4 mm na wartość współczynnika oporu. Badania objęły 19 muf, przy realizacji których zmieniano głębokość wsunięcia przewodów oraz ich kąt względem siebie. Pomiary oporów miejscowych zrealizowano w zakresie przepływu 200-1400 dm<sup>3</sup>/h (liczba Reynoldsa ok. 5300-37000). Zaobserwowano znaczny wzrost wartości współczynnika oporów miejscowych badanych muf o różnej jakości wykonania względem wartości sugerowanych do obliczeń projektowych. Dodatkowo, wykazano, iż wzrost wartości oporu miejscowego jest bezpośrednio związany z realizacją wykonania połączenia prowadzącym do zmniejszenia średnicy objętości przepływowej.

**Keywords:** local losses, coefficients of minor losses, socket connections, PP-R pipes

### Abstract

Minor pressure losses in indoor installations, especially based on modern polymer materials with numerous pipes connections, may present a significant share in the total pressure loss. Incorrect determination of minor pressure losses at the designing stage, their inappropriate installation or placing them in the direct proximity may result in the faulty operation of the whole system. This paper presents the attempt of determination the influence of quality of PP-R 20x3,4 mm welded socket connections on their minor loss coefficient value. The study covered 19 connections for which the pipes insertion depth and angle was alerted. The minor pressure losses measurements were performed for water volumetric flow rate 200-1400 dm<sup>3</sup>/h (Reynolds number approx. 5300-37000). The clear increase in values of coefficient of minor pressure losses determined for the studied fittings with different installation quality in relation to values commonly suggested to designing was observed. Additionally, it was noted that, increase in minor pressure loss is directly related to the manner of welded socket realization significantly decreasing the diameter of waterbody.

## 1. Wstęp

Ilość i rodzaj połączeń przewodów, zastosowanych w instalacjach wodociągowych, bezpośrednio przekładają się na wysokość strat ciśnienia w tych układach. Poprawne oszacowanie wysokości strat ciśnienia ma zatem kluczowe znaczenie w prawidłowym działaniu instalacji.

Zgodnie z powszechnie stosowaną metodyką obliczeniową, podaną w wycofanej już normie PN-B-01706:1992 [18], przy wyznaczaniu minimalnego ciśnienia dla instalacji, straty miejscowe określa się w sposób przybliżony, jako 20–25% sumy strat na długości. O ile powyższe przybliżenie można było uznać za wystarczające w dobie materiałów z wysokim współczynnikiem chropowatości prowadzącym do wysokich wartości strat liniowych [13, 15], przy obliczeniach instalacji z tworzyw polimerowych, charakteryzujących się niskimi wartościami współczynnika chropowatości i niewielkimi oporami liniowymi, może prowadzić to do błędów przy projektowaniu [1, 3, 5, 24–26, 30]. Badania prowadzone przez Nowakowskiego [14] wykazały, iż straty miejscowe w instalacji

stanowią mogą nawet od 50% (w budynku jednorodnym) do 146% (w budynku wielorodzinnym) sumy strat na długości.

Do obliczania strat hydraulicznych w kształtkach niezbędna jest znajomość wartości liczbowej współczynników oporów miejscowych [24] podanych w normie PN-M-34034:1976 [17]. Nie uwzględnia ona jednak połączeń przewodów polimerowych. Opory miejscowe wynikające z połączeń rurociągów poprzez złączki dostępne są w katalogach producentów oraz w licznych publikacjach [2–4, 6–9, 12, 14, 23, 24, 29], aczkolwiek różnią się między sobą oraz często nie określają wartości straty ciśnienia zależnej od średnicy rury. W zależności od tego, z których źródeł literaturowych korzystamy, dobierając współczynniki oporów miejscowych przy obliczaniu strat hydraulicznych w przewodach wodociągowych lub centralnego ogrzewania, otrzymujemy różne wyniki.

Dodatkowo, wielokrotnie wykazano, iż normatywne, czy też zalecane przez poradniki projektowania, wartości współczynników oporów miejscowych połączeń oraz różnej armatury są zdecydowanie niższe niż wartości współczynników dla tych samych oporów zamontowanych

<sup>\*)</sup> Bartłomiej Rogowski, mgr inż., Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków, Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, b.rogowski@pollub.edu.pl,  
Marcin K. Widomski, dr hab. inż., Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków, Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, m.widomski@pollub.pl  
Anna Musz-Pomorska, dr inż., Politechnika Lubelska, Wydział Inżynierii Środowiska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków, Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, a.musz-pomorska@pollub.pl

w układach rzeczywistych, za pomocą połączeń charakterystycznych dla danego rodzaju materiału przewodu [4, 5, 10, 11, 16, 21, 28, 30].

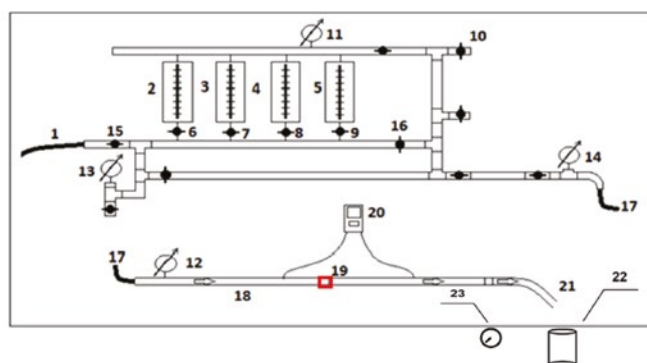
W przypadku połączeń zgrzewanych, nieumiejętne wykonanie zgrzewu znacznie zmniejsza prześwit rury, a co za tym idzie, zwiększają się opory miejscowe, szczególnie w przypadku małych wartości średnic [7]. Wysokość oporów miejscowych zależy także od szorstkości ścianki wewnętrznej oraz średnicy rury [7].

Celem niniejszej pracy jest określenie oporów miejscowych występujących na połączeniach mufowych o różnej jakości wykonania zrealizowanych na przewodzie instalacyjnym z PP-R 20x3,4 mm.

## 2. Metodyka badań

### 2.1. Stanowisko pomiarowe

Badania mające na celu określenie wartości współczynnika oporów miejscowych wytworzonych przez połączenia mufowe zastosowane na przewodzie instalacyjnym z PP-R o średnicy zewnętrznej 20 mm, grubości ścianki równej 3,4 mm, PN 20 (wykonanych zgodnie z normą PN-EN ISO 15874-2:2013 [20]) obejmowały pomiary laboratoryjne zrealizowane na pokazanym na Rys.1 stanowisku laboratoryjnym. Sugerowana do obliczeń projektowych wartość oporu miejscowego dla zgrzewanego połączenia mufowego przewodu PP-R wynosi 0,25–0,30 [22, 27].



Rys.1. Schemat stanowiska do przeprowadzenia badań, 1 – przewód zasilający, 2, 3, 4, 5 – rotametry, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 16 – zawory odcinające, 11, 12, 13, 14 – manometry, 17 – przewód elastyczny, 18 – przewód PP, 19 – badana mufa, 20 – manometr elektroniczny, 21 – przewód odprowadzający, 22 – zlewka, 23 – stoper)  
Fig.1. Scheme of laboratory installation, 1 – inflow pipe, 2, 3, 4, 5 – rotameters, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 16 – valve, 11, 12, 13, 14 – manometers, 17 – elastic pipe, 18 – PP-R pipe, DN20, 19 – socket connection, 20 – electronic differential manometer, 21 – elastic outflow pipe, 22 – glass, 23 – stopwatch






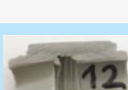
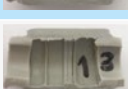


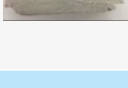


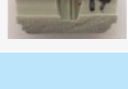
Rys. 2. Zestaw rotametrów wykorzystany w badaniach  
Fig.2. Set of rotameters applied to the study

Stanowisko badawcze składało się z części pomiarowej obejmującej zestaw połączonych ze sobą rotametrów (Rys. 2) oraz wymiennej części badawczej, złożonej z badanych przewodów polipropylenowych PP-R połączonych za pomocą zgrzewanych muf PP. Woda wodociągowa do zasilania stanowiska, o monitorowanej temperaturze, była pobierana poprzez zbiornik wyrównawczy, z wewnętrznej instalacji wodociągowej budynku. Zestaw rotametrów wykorzystanych do pomiaru natężenia przepływu składał się z czterech rotametrów klasy 4 o zakresach pomiarowych 20–200 dm<sup>3</sup>/h, 60–600 dm<sup>3</sup>/h, 100–1000 dm<sup>3</sup>/h i 60–600 dm<sup>3</sup>/h produkcji Meister Strömungstechnik, Weissen, Niemcy. Użyte w badaniach rotametry zostały poddane cechowaniu za pomocą metody naczynia podstawionego. Różnice ciśnień dla wybranych przekrojów przed i za badanymi połączeniami mierzono za pomocą elektronicznego manometru różnicowego Lutron Electronic (zakres pomiarowy: 0–20 mH<sub>2</sub>O, dokładność 2%) w odległościach, odpowiednio, 10d i 60d przed i za oporem miejscowym [5, 30], zgodnie z wymaganiami PN-EN 1267:2012 [19].

Badania przeprowadzono dla 19 połączeń mufowych o różnej jakości wykonania i 13 wartości objętościowego natężenia przepływu w zakresie 200–1400 dm<sup>3</sup>/h. W celu zminimalizowania błędów pomiarowych każdy pomiar powtórzono dwukrotnie. Po zakończeniu badań wszystkie badane mufy przecięto wzdłuż, uzyskując w ten sposób ich przekrój podłużny. Zmierzone wartości charakterystyczne każdego połączenia, tj. wysokość nadlewki (h), odległość łączonych przewodów od siebie (L) oraz ich kąt ułożenia w mufie ( $\alpha$ ). Wartości te są podstawą do analizy błędów montażowych i ich wpływu na wartość strat miejscowych. Charakterystykę badanych połączeń przedstawiono w tabeli 1

Tabela 1. Charakterystyka badanych zgrzewanych połączeń mufowych  
Table 1. Characteristics of the tested welded socket fittings

Mufa	Przekrój podłużny	Charakterystyczne wymiary mufy			Uwagi
		L [mm]	h	$\alpha$ [°]	
1		4,3	1,2	0,0	Mufa zgrzana poprawnie, aczkolwiek z delikatną nadlewką w odpływie
2		2,3	1,0	0,0	Mufa zgrzana poprawnie, z delikatną nadlewką w odpływie
3		12,2	1,1	0,5	Mufa zgrzana poprawnie, aczkolwiek rury są pod delikatnym kątem względem mufy i w znacznej odległości od siebie
4		14,2	0,8	1,0	Mufa zgrzana poprawnie, aczkolwiek rury są pod delikatnym kątem względem mufy i w znacznej odległości od siebie
5		14,3	1,0	1,0	Widoczne niewielkie nadlewki, rury są pod delikatnym kątem względem mufy i względem siebie oraz znajdują się w znacznej odległości od siebie
6		10,8	1,2	0,0	Widoczne nadlewki, zwłaszcza w odpływie
7		18,5	0,7	0,0	Rury znajdują się w dużej odległości od siebie, widoczne nadlewki
8		5,3	0,8	0,0	Widoczne nadlewki zarówno w dopływie, jak i w odpływie

9		3,3	1,8	4,0	Widoczne duże nadlewki w dopływie i odpływie, rury zamontowane pod dużym kątem względem mufy
10		10,1	2,4	0,5	Widoczne bardzo duże nadlewki, zwłaszcza w dopływie – przekrój rur
11		13,6	2,2	3,5	Widoczne duże nadlewki w dopływie i odpływie, rury zamontowane pod dużym kątem względem mufy i w znacznej odległości od siebie
12		8,6	2,1	2,5	Widoczna znaczna nadlewka w dopływie, obojętne rury zamontowane pod kątem względem mufy
13		28,3	1,2	0,5	Rury znajdują się w znacznej odległości od siebie
14		1,8	2,6	0,0	Widoczne bardzo duże nadlewki w dopływie i odpływie – przekrój rur znacznie zmniejszony
15		2,9	4,0	0,5	Widoczne bardzo duże nadlewki w dopływie i odpływie – przekrój rur znacznie zmniejszony, rury zamontowane pod delikatnym kątem względem mufy
16		4,2	4,9	0,5	Widoczne bardzo duże nadlewki w dopływie i odpływie – przekrój rur znacznie zmniejszony, dopływ zdeformowany, zamontowany pod delikatnym kątem względem mufy
17		10,5	0,8	0,0	Mufa zgrzana poprawnie, aczkolwiek z delikatną nadlewką
18		4,5	4,5	4,0	Widoczne bardzo duże nadlewki w dopływie i odpływie – przekrój rur znacznie zmniejszony, dopływ zdeformowany, dopływ zamontowany pod dużym kątem względem mufy
19		9,2	1,0	0,0	Widoczna nadlewka w odpływie

Gdzie:  $L$  – odległość montażu rur względem siebie;  $h$  – wysokość nadlewki;  $\alpha$  – kąt montażu rur w mufie.

Wartość współczynnika strat miejscowych, dla każdej z badanych muf, obliczono ze wzoru:

$$\zeta = \frac{2g \cdot \Delta h}{v^2} - \lambda \cdot \frac{(l_1 + l_2)}{d_w}, \quad (1)$$

gdzie:  $h_m$  – wysokość strat ciśnienia [mH<sub>2</sub>O];  $\lambda$  – współczynnik oporu liniowego;  $l_1 + l_2$  – długości przewodów przed mufą oraz za nią [m].

Prędkość przepływu wody przez przewód obliczono za pomocą równania:

$$v = \frac{4 \cdot Q_{rz}}{\pi \cdot d_w^2}, \quad (2)$$

gdzie:  $Q_{rz}$  – rzeczywiste natężenie przepływu [m<sup>3</sup>/s],  $d_w$  – średnica wewnętrzna przewodu [m].

Wartość współczynnika oporów liniowych, dla każdego z pomiarów, wyznaczono za pomocą metody kolejnych przybliżeń w oparciu o równanie Colebrooka-White'a, dla chropowatości ( $k$ ) przewodu z PP-R równej 0,007 mm:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left( \frac{k \cdot d^{-1}}{3,71} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right), \quad (3)$$

gdzie:  $k$  – chropowatość względna przewodu [m];  $Re$  – liczba Reynoldsa [–].

Dla każdego pomiaru wartość liczby Reynoldsa wyznaczono zgodnie z równaniem:

$$Re = \frac{v \cdot d_w}{\nu}, \quad (4)$$

gdzie:  $\nu$  – kinematyczny współczynnik lepkości [m<sup>2</sup>/s].

## 2.2. Analiza statystyczna

Po wykonaniu badań oraz przeprowadzeniu wszystkich niezbędnych obliczeń przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych wyników laboratoryjnych w programie Statistica.

W celu wyznaczenia normalności rozkładów, przeprowadzono test istotności Shapiro – Wilka. Jako próg istotności przyjęto  $p=0,05$ . W przypadku mniejszej od 5% wartości, odrzucono hipotezę zerową. Następnie, przeprowadzono nieparametryczny test ANOVA Kruskala-Wallisa, mający na celu wykazanie istotności różnic pomiędzy dystrybucjami badanych zmiennych. Jako zmienną zależną przyjęto wartość współczynnika oporu miejscowego dla poszczególnej mufy, natomiast jako zmienną niezależną – mufę.

## 3. Wyniki i dyskusja

Wyniki badań laboratoryjnych zależności współczynników oporów miejscowych  $\zeta$  dla poszczególnych złązek przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Pomierzone wartości współczynników oporów miejscowych badanych muf  
Table 2. The measured values of the local resistance coefficients of the tested socket fittings

Nr mufy	$\zeta_{min}$	$\zeta_{max}$	$\zeta_{\bar{s}}$	$\zeta$ [mediana]	Odchylenie standardowe $\zeta$
	[–]	[–]	[–]	[–]	[–]
1	0,029	1,839	0,587	0,475	0,382
2	0,019	1,951	0,427	0,300	0,432
3	0,146	2,766	0,698	0,464	0,624
4	0,264	2,148	0,655	0,513	0,500
5	0,723	4,379	1,666	1,294	0,944
6	0,360	2,085	1,173	1,189	0,357
7	1,073	5,737	1,738	1,401	0,958
8	0,935	7,010	1,860	1,442	1,224
9	1,464	7,123	2,320	1,847	1,281
10	1,719	6,017	2,539	2,320	0,790
11	1,832	8,480	2,858	2,243	1,528
12	1,305	7,403	2,228	2,082	1,245
13	1,305	3,891	1,790	1,617	0,556
14	1,878	6,354	2,807	2,424	1,086
15	2,494	6,466	3,352	3,128	0,966
16	5,552	8,957	6,229	5,905	0,871
17	0,911	4,340	1,324	1,124	0,670
18	3,489	6,803	4,477	4,134	0,912
19	0,939	6,859	1,705	1,179	1,290



Na rysunku 3 przedstawiono zależność współczynnika oporu miejscowego w funkcji liczby Reynolda dla poszczególnych badanych połączeń mufowych.

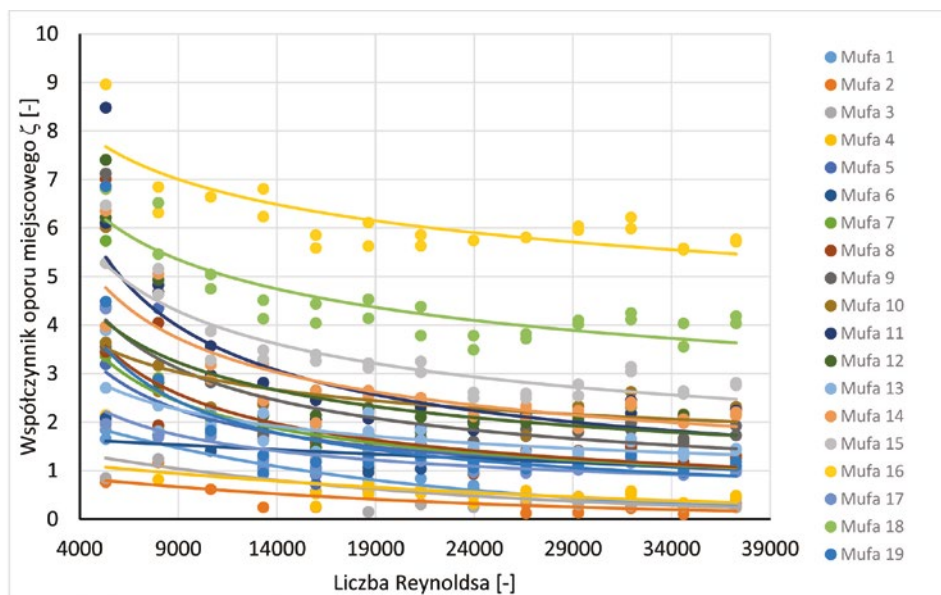
Porównując pomierzone wartości współczynników strat miejscowych do wartości literaturowych, tj. współczynnik oporu miejscowego z zakresu 0,25–0,30, widać znaczne rozbieżności. Dla większości wykonanych i badanych połączeń mufowych, uzyskano wartości współczynników strat miejscowych znacznie wyższe od wartości podawanych przez producentów. Należy podkreślić, iż zawyżone wartości zostały pomierzone dla złączek zamontowanych nieprawidłowo (z naciekami i krzywiznami). W przypadku muf zamontowanych z naruszeniem zasad prawidłowego montażu (mufy 16, 18) współczynnik strat miejscowych jest nawet kilkukrotnie wyższy od wartości podawanych przez producentów. Wyłącznie mufy zamontowane prawidłowo, tj. mufy o numerach od 1 do 4 charakteryzują się wartościami zbliżonymi do wartości podawanej przez producentów, ale tylko przy najniższym natężeniu przepływu zadawanym w trakcie badań (Rys. 3).

Czynnikami, które mogły wpływać na wielkość oporów miejscowych są odległość montażu rur względem siebie –  $L$ , wysokość nadlewki –  $h$  oraz kąt montażu rur w mufie –  $\alpha$ .

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono zależności oporów miejscowych od odległości montażu rur względem siebie i wysokości nadlewki oraz kąta montażu rur w mufie.

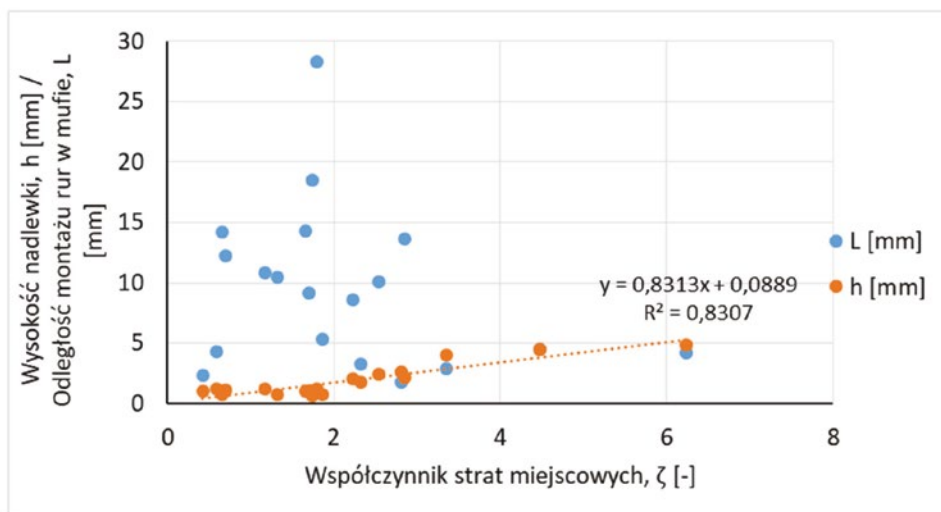
Przedstawione na rysunkach 4–5 wyniki wskazują, iż czynnikiem mającym największy wpływ na wartość współczynnika strat miejscowych jest wysokość nadlewki. Na wykresach widoczny jest wyraźny wzrost wartości współczynnika strat miejscowych wraz ze wzrostem wysokości nadlewki. Nadlewka powoduje zmniejszenie przekroju przewodu (równoznaczne ze zmniejszeniem jego średnicy). Przepływ napotyka opór w postaci kryzy, stąd powstają największe straty ciśnienia. Nie zaobserwowano natomiast wyraźnego wpływu odległości oraz kąta montażu rur w mufie na wielkość współczynnika strat miejscowych.

Przeprowadzona analiza statystyczna uzyskanych wyników dla



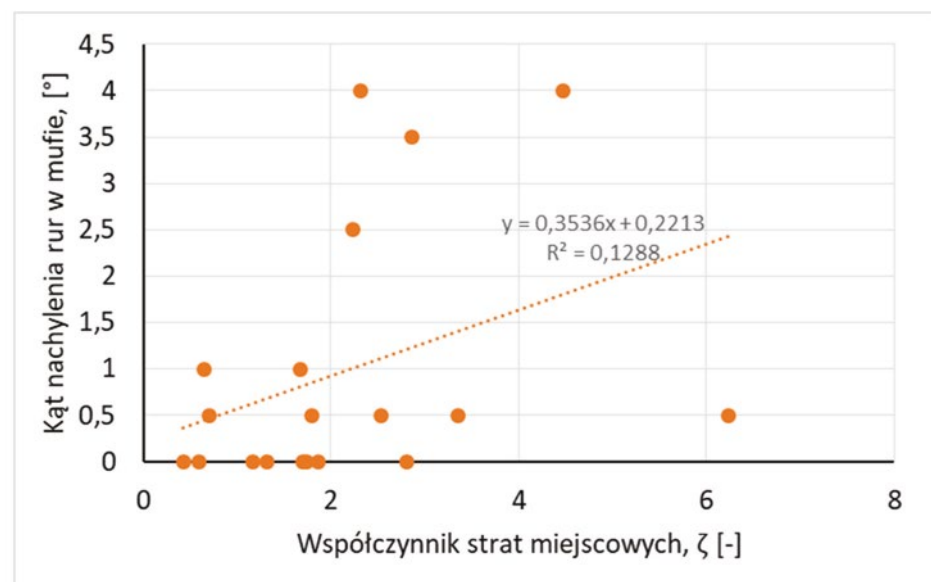
Rys. 3. Zależność współczynnika oporu miejscowego od liczby Reynolda

Fig. 3. Dependence of the local pressure loss coefficient on the Reynolds number



Rys. 4. Zależność współczynnika strat miejscowych od  $L$  (odległości montażu) i  $h$  (wysokości nadlewki)

Fig. 4. Dependence of the local pressure loss coefficient on  $L$  (montage length) and  $h$  (weld face height)



Rys. 5. Zależność współczynnika strat miejscowych od kąta montażu rur w mufie

Fig. 5. Dependence of the local pressure loss coefficient on the installation angle of the pipes in the socket fittings

Tabela 3. Macierz korelacji zależności wartości współczynnika oporu miejscowego każdej mufy  
 Table 3. Correlation matrix of the value of the local resistance coefficient for each socket fittings

Zmienna zależna	Wartość p dla porównań wielokrotnych (dwustronnych); Zmienna zależna (MUFY) Zmienna niezależna (grupująca); Zmienna niezależna Test Kruskala-Wallisa: H (18, N= 473) =356,2214 p=0,000																		
	MUFA 1	MUFA 2	MUFA 3	MUFA 4	MUFA 5	MUFA 6	MUFA 7	MUFA 8	MUFA 9	MUFA 10	MUFA 11	MUFA 12	MUFA 13	MUFA 14	MUFA 15	MUFA 16	MUFA 17	MUFA 18	MUFA 19
MUFA 1		1,000000	1,000000	1,000000	0,177213	1,000000	0,047332	0,017779	0,000024	0,000000	0,000000	0,000000	0,002122	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,429250
MUFA 2	1,000000		1,000000	1,000000	0,034475	1,000000	0,007821	0,002651	0,000002	0,000000	0,000000	0,000000	0,000257	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	0,091549
MUFA 3	1,000000	1,000000		1,000000	0,494792	1,000000	0,139863	0,054153	0,000081	0,000000	0,000000	0,000001	0,006782	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	1,000000
MUFA 4	1,000000	1,000000	1,000000		0,503386	1,000000	0,147591	0,058728	0,000108	0,000000	0,000000	0,000001	0,007836	0,000000	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	1,000000
MUFA 5	0,177213	0,034475	0,494792	0,503386		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,055655	0,071643	0,562737	1,000000	0,022528	0,000185	0,000000	1,000000	0,000001	1,000000
MUFA 6	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	0,050203	0,000043	0,000062	0,001199	1,000000	0,000012	0,000000	0,000000	1,000000	0,000000	1,000000
MUFA 7	0,047332	0,007821	0,139863	0,147591	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	0,178144	0,225376	1,000000	1,000000	0,076537	0,000820	0,000000	1,000000	0,000006	1,000000
MUFA 8	0,017779	0,002651	0,054153	0,058728	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	0,437659	0,544682	1,000000	1,000000	0,199055	0,002782	0,000000	1,000000	0,000025	1,000000
MUFA 9	0,000024	0,000002	0,000081	0,000108	1,000000	0,050203	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,799616	0,000442	0,111554	0,027461	1,000000
MUFA 10	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,055655	0,000043	0,178144	0,437659	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,263018	0,000132	1,000000	0,014083
MUFA 11	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,071643	0,000062	0,225376	0,544682	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,208480	0,000185	1,000000	0,018575
MUFA 12	0,000000	0,000000	0,000001	0,000001	0,562737	0,001199	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	0,022013	0,003176	0,634890	0,180075
MUFA 13	0,002122	0,000257	0,006782	0,007836	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	0,026151	0,000003	1,000000	0,000381	1,000000
MUFA 14	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,022528	0,000012	0,076537	0,199055	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	0,568386	0,000039	1,000000	0,005237
MUFA 15	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000185	0,000000	0,000820	0,002782	0,799616	1,000000	1,000000	1,000000	0,026151	1,000000		1,000000	0,000000	1,000000	0,000029
MUFA 16	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000442	0,263018	0,208480	0,022013	0,000003	0,568386	1,000000		0,000000	1,000000	0,000000
MUFA 17	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,111554	0,000132	0,000185	0,003176	1,000000	0,000039	0,000000	0,000000		0,000000	1,000000
MUFA 18	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000000	0,000006	0,000025	0,027461	1,000000	1,000000	0,634890	0,000381	1,000000	1,000000	1,000000	0,000000		0,000000
MUFA 19	0,429250	0,091549	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,014083	0,018575	0,180075	1,000000	0,005237	0,000029	0,000000	1,000000	0,000000	

Tabela 4. Wyniki testów wartości „p” dla porównań wielokrotnych dla obliczonych wartości współczynników oporu miejscowego dla każdej mufy  
 Table 4. Results of the "p" value tests for multiple comparisons for the calculated values of the local resistance coefficients for each socket fittings

Zmienna	Korelacje (MUFY) Oznaczone wsp. korelacji są istotne z p < ,05000 N=20 (Braki danych usuwano przypadkami)																		
	MUFA 1	MUFA 2	MUFA 3	MUFA 4	MUFA 5	MUFA 6	MUFA 7	MUFA 8	MUFA 9	MUFA 10	MUFA 11	MUFA 12	MUFA 13	MUFA 14	MUFA 15	MUFA 16	MUFA 17	MUFA 18	MUFA 19
MUFA 1	1,00	0,83	0,77	0,32	0,69	0,57	0,52	0,85	0,51	0,45	0,61	0,59	0,51	0,54	0,82	0,70	0,42	0,68	0,59
MUFA 2	0,83	1,00	0,63	0,56	0,73	0,57	0,43	0,91	0,45	0,39	0,58	0,56	0,51	0,45	0,78	0,71	0,41	0,55	0,59
MUFA 3	0,77	0,63	1,00	0,19	0,60	0,46	0,32	0,53	0,31	0,17	0,31	0,26	0,32	0,36	0,55	0,44	0,24	0,34	0,31
MUFA 4	0,32	0,56	0,19	1,00	0,17	0,26	0,15	0,56	0,10	0,12	0,26	0,35	0,08	0,10	0,39	0,35	0,02	0,24	0,23
MUFA 5	0,69	0,73	0,60	0,17	1,00	0,49	0,72	0,72	0,85	0,69	0,81	0,68	0,76	0,84	0,81	0,74	0,75	0,71	0,81
MUFA 6	0,57	0,57	0,46	0,26	0,49	1,00	0,56	0,49	0,39	0,53	0,47	0,59	0,44	0,31	0,39	0,57	0,52	0,33	0,58
MUFA 7	0,52	0,43	0,32	0,15	0,72	0,56	1,00	0,60	0,89	0,95	0,94	0,93	0,88	0,86	0,76	0,87	0,94	0,85	0,95
MUFA 8	0,85	0,91	0,53	0,56	0,72	0,49	0,60	1,00	0,58	0,55	0,75	0,72	0,64	0,61	0,91	0,85	0,51	0,77	0,72
MUFA 9	0,51	0,45	0,31	0,10	0,85	0,39	0,89	0,58	1,00	0,87	0,94	0,86	0,79	0,96	0,78	0,76	0,89	0,85	0,92
MUFA 10	0,45	0,39	0,17	0,12	0,69	0,53	0,95	0,55	0,87	1,00	0,92	0,89	0,86	0,81	0,70	0,82	0,95	0,80	0,95
MUFA 11	0,61	0,58	0,31	0,26	0,81	0,47	0,94	0,75	0,94	0,92	1,00	0,95	0,88	0,91	0,87	0,91	0,92	0,93	0,98
MUFA 12	0,59	0,56	0,26	0,35	0,68	0,59	0,93	0,72	0,86	0,89	0,95	1,00	0,80	0,82	0,82	0,88	0,85	0,90	0,95
MUFA 13	0,51	0,51	0,32	0,08	0,76	0,44	0,88	0,64	0,79	0,86	0,88	0,80	1,00	0,79	0,77	0,88	0,91	0,79	0,89
MUFA 14	0,54	0,45	0,36	0,10	0,84	0,31	0,86	0,61	0,96	0,81	0,91	0,82	0,79	1,00	0,83	0,74	0,84	0,87	0,87
MUFA 15	0,82	0,78	0,55	0,39	0,81	0,39	0,76	0,91	0,78	0,70	0,87	0,82	0,77	0,83	1,00	0,86	0,68	0,91	0,83
MUFA 16	0,70	0,71	0,44	0,35	0,74	0,57	0,87	0,85	0,76	0,82	0,91	0,88	0,88	0,74	0,86	1,00	0,82	0,85	0,91
MUFA 17	0,42	0,41	0,24	0,02	0,75	0,52	0,94	0,51	0,89	0,95	0,92	0,85	0,91	0,84	0,68	0,82	1,00	0,77	0,95
MUFA 18	0,68	0,55	0,34	0,24	0,71	0,33	0,85	0,77	0,85	0,80	0,93	0,90	0,79	0,87	0,91	0,85	0,77	1,00	0,88
MUFA 19	0,59	0,59	0,31	0,23	0,81	0,58	0,95	0,72	0,92	0,95	0,98	0,95	0,89	0,87	0,83	0,91	0,95	0,88	1,00

współczynników strat miejscowych każdej mufy obejmująca test Shapiro – Wilka wykazała, iż dla każdej mufy poziom istotności nie przekroczył progu 5% (p<0,05) czyli badane zmienne mają rozkład inny od rozkładu normalnego. Tabela 3 zawiera macierz korelacji wartości współczynników oporu miejscowego dla wszystkich badanych muf zgrzewanych.

Wyniki porównań wielokrotnych par do nieparametrycznego testu Kruskala – Wallisa (test jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA)) przedstawiono w tabeli 4.

Wyniki testów wartości „p” dla porównań wielokrotnych dla obliczonych wartości współczynników oporu miejscowego dla każdej mufy wskazują na to, że dystrybuanty rozkładów porównywanych muf z innymi poszczególnymi mufami w większości przypadków

różnią się istotnie statystycznie. Jest to kolejny dowód na to, że różnorodność w jakości wykonanych zgrzewów przekłada się bezpośrednio na różnorodność otrzymanych wartości współczynników oporu miejscowego. Jakość wykonania poszczególnych zgrzewów ma istotny wpływ na wielkość oporów przepływu powodowanych przez dane połączenie.

#### 4. Wnioski

Przeprowadzone badania współczynników oporu miejscowego wykazały wpływ jakości wykonania połączenia mufowego na wielkość oporu. Nawet stosunkowo niewielkie nadlewki wywołane zbyt długim przytrzymaniem rur w zgrzewarce lub wciskaniem ich

w mufę w niewłaściwy sposób powodują znaczne straty ciśnienia. Wyznaczona wartość współczynnika oporu miejscowego wahała się od  $\zeta=0,427$  (dla mufy zgrzanej prawidłowo, mufa nr 2) do  $\zeta=6,229$  (dla połączenia wykonanego nieprawidłowo, mufa nr 16).

Wyznaczone wartości współczynników oporu miejscowego są znacznie wyższe od danych podawanych przez producenta. Dlatego, już podczas projektowania należy wziąć pod uwagę fakt, że jakość wykonania danego połączenia może znacznie odbiegać od założeń producenta i przyjmując w obliczeniach hydraulicznych większe opory przepływu.

Przeprowadzona analiza statystyczna potwierdziła fakt, że jakość wykonania poszczególnych połączeń przekłada się bezpośrednio na wytwarzane opory przepływu zaobserwowane różnice są w znacznej części przypadków istotne statystycznie.

## LITERATURA

- [1] Annan M., Gooda E., 2018, "Effect of minor losses during steady flow in transmission pipelines – Case study. Water transmission system upgrade in Northern Saudi Arabia", *Alexandria Engineering Journal*, vol. 57(4):4299–4305.
- [2] Brydak-Jeżowiecka D., Nowakowski E., Malinowski P., 1994, „Straty ciśnienia w rurach z tworzyw sztucznych stosowanych w instalacjach wodociągowych”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, vol. 7(19):208–211.
- [3] Bylka H., Grabarczyk C., 1976, „Analiza ilościowa wpływu zmian chropowatości i średnicy przewodów na dokładność obliczeń hydraulicznych”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*” vol. 5:143–147.
- [4] Cisowska I., Kotowski A., 2004, „Straty ciśnienia w układach kształtek z polipropylenu”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, vol. 10:340–345.
- [5] Dul K., Widomski M., Musz-Pomorska A., 2015, „Analiza numeryczna przepływu wody przez zawór kulowy zamontowany na przewodzie PEX-Al-PEX”, *Instal*, vol. 11:36–39.
- [6] Grajper P., Smółka J., 2010, „Eksperymentalne i numeryczne określenie miejscowych strat ciśnienia w kolanach 90° instalacji wodociągowych”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, vol. 7–8:13–19.
- [7] Kalenik M., Brzeziński K., 2004, „Eksperymentalne badania wzrostu oporności hydraulicznej w eksploatowanych kształtkach wodociągowych”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej*, z. 37(211), cz.2:165–172.
- [8] Kalenik M., Witowska B., 2007, „Badania miejscowych oporów hydraulicznych w kształtkach z PVC”, *Architektura*, vol. 6(3):15–24.
- [9] Kotowski A., Wójtowicz P., 2005, „Podstawy metodologiczne badań parametrów hydraulicznych ciśnieniowych rurociągów i kanałów z tworzyw sztucznych”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, vol. 1:18–24.
- [10] Ligaj K., Widomski M.K., Musz-Pomorska A., 2019, “Minor pressure losses for different connections of PP-R and PEX/Al/PEX installation pipes”, *E3S Web of Conferences*, vol. 100:1–8.
- [11] Melichar J., Háková J., Veselský J., Michlík L., 2006, “Local Head Loss of Plastic Pipeline Joint Welded by Butt Fusion”, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, vol. 54(3):299–308.
- [12] Mielczarzewicz E.W., Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę, Arkady, Warszawa 2000.
- [13] Mosler P., Melichar J., 2017, “Results of experimental measurements and calculations of pressure losses in HD-PE pipes”, 18th International Conference in Transport and Sedimentation of Solid Particles, Praga, Czechy, 233–240.
- [14] Nowakowski E., 1995, „Opory miejscowe w instalacjach wodociągowych”, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, vol. 29(2):79–83.
- [15] Piechurski F., Wanot D., 2010, „Badanie wpływu połączeń na wzrost współczynnika strat liniowych  $\lambda$  oraz współczynnika chropowatości bezwzględnej  $k$  dla rur instalacyjnych z polipropylenu”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, vol. 5:18–22.
- [16] Pliźga O., Kowalska B., Musz-Pomorska A., 2016, “Laboratory and numerical studies of water flow through selected fittings installed at copper pipelines”, *Rocznik Ochrona Środowiska*, vol. 18(2):873–884.
- [17] PN-76/M-34034:1976 – Rurociągi. Zasady obliczeń strat ciśnienia (norma wycofana), Polski Komitet Normalizacji i Miar.
- [18] PN-B-01706:1992 – Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu (norma wycofana), Polski Komitet Normalizacji i Miar.
- [19] PN-EN 1267:2012 Armatura przemysłowa – Badanie oporu przepływu wodą. Polski Komitet Normalizacji i Miar.
- [20] PN-EN ISO 15874-2:2013-06 Systemy przewodów rurowych z tworzyw sztucznych do instalacji wody ciepłej i zimnej – Polipropylen (PP) – Część 2: Rury (z późniejszymi zmianami). Polski Komitet Normalizacji i Miar.
- [21] Poręba K., Kowalczyk W., Widomski M.K., Musz-Pomorska A., 2017, „Charakterystyka oporów miejscowych wybranych zaworów instalacyjnych zamontowanych na przewodach z różnych materiałów”, *Aktualne Zagadnienia W Uzdatnianiu I Dystrybucji Wody Rozdział A Innowacyjne Technologie Ujmowania I Uzdatniania Wody*, vol. 6: 29–36.
- [22] Purmo, poradnik techniczny, system Cleverfit Axial, Polska 03/2020. <https://www.purmo.com/docs/purmo-poradnik-techniczny-system-cleverfit-axial-03-2020.pdf>.
- [23] Serre M., Odgaard J., Elder A.R., 1994, “Energy loss at combining pipe junction”, *Journal of Hydraulic Engineering* vol. 7:808–830.
- [24] Siwiec T., Morawski D., Karaban G., 2002, „Eksperymentalne badania oporów hydraulicznych w zgrzewanych kształtkach z tworzyw sztucznych”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, vol. 2:49–50 and 63–68.
- [25] Strzelecka K., Jeżowiecka-Kabsch K., 2008, „Rzeczywiste wartości współczynnika oporów miejscowych podczas przepływu wody przez skokowe rozszerzenie rury”, *Ochrona Środowiska*, vol. 30(2):29–33.
- [26] Strzelecka K., Jeżowiecka-Kabsch K., 2010, „Rzeczywiste wartości współczynnika strat miejscowych podczas przepływu wody przez nagłe rozszerzenie rury”, *Ochrona Środowiska*, vol. 32(1):33–37.
- [27] System Kan-Therm, straty ciśnienia, ISO 9001.
- [28] Weinerowska-Bords, K., 2014, „Eksperymentalna analiza współczynników oporów lokalnych dla wybranych kształtek i złączy w systemach rur wielowarstwowych”, *Instal*, vol. 6:42–49.
- [29] Wereszko D., 1969, „Obliczanie strat hydraulicznych w chropowatych kolanach rurowych”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, vol. 9:295–302.
- [30] Widomski M.K., Musz A., Iwanek M., 2012, „Straty ciśnienia na zawrze antyskażeniowym – badania laboratoryjne i modelowe”, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, vol. 9:380–385.