

EKSPERYMENTALNE BADANIA MIEJSCOWYCH OPORÓW HYDRAULICZNYCH W KSZTAŁTKACH ŻELIWNYCH

Marek Kalenik, Beata Witowska

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań współczynników oporów miejscowych w wybranych losowo trzech nieocynkowanych i ocynkowanych kolankach i trójnikach żeliwnych. Badania przeprowadzono na wybudowanym w laboratorium stanowisku pomiarowym. Pomiary wykonano dla kształtek o kącie nachylenia 90° , wyprodukowanych przez dwóch producentów żeliwnych kształtek wodociągowych. Wyznaczone współczynniki oporów miejscowych z badań porównano ze współczynnikami oporów miejscowych wyznaczonych według obowiązującej normy PN-76-M-34034 [1987].

Słowa kluczowe: współczynniki oporów miejscowych, kształtki żeliwne, kolanka, trójniki

WSTĘP

Układy wodociągowe zaprojektowane zgodnie z obowiązującymi zaleceniami powinny zapewnić odbiorcy wodę w dostatecznej ilości, pod odpowiednim ciśnieniem i o odpowiedniej jakości. W układach wodociągowych zarówno na zewnątrz, jak i wewnątrz budynków stosuje się różne kształtki wodociągowe (kolanka, trójniki, zwężki, rozszerzenia), które zmieniają kierunek układania rurociągów wodociągowych lub ich średnice. Szczególnie w instalacjach wodociągowych wewnątrz budynku oraz w stacjach uzdatniania wody występuje dużo różnych kształtek wodociągowych, które są produkowane z różnych materiałów (np. żeliwa, PVC, PE). Kształtki wodociągowe powinny być szczelne, nie pogarszać jakości wody, odporne na oddziaływanie mechaniczne i chemiczne wody oraz umożliwiać przepływ wody przy jak najmniejszych oporach hydraulicznych (stratach hydraulicznych).

Do obliczania strat hydraulicznych w kształtkach wodociągowych niezbędna jest znajomość wartości liczbowej współczynników oporów miejscowych (ζ), które są podane

Adres do korespondencji – Corresponding author: Marek Kalenik, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Katedra Budownictwa i Geodezji, Zakład Wodociągów i Kanalizacji, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: marek_kalenik@sggw.pl

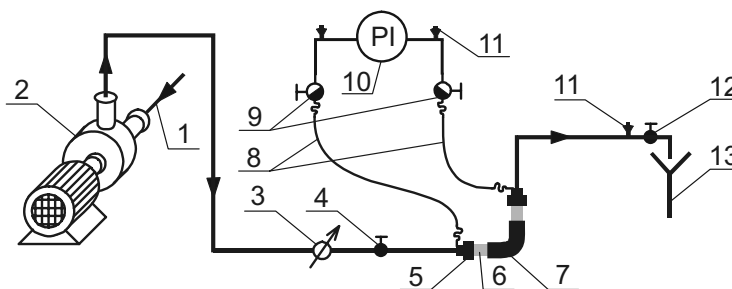
w normie PN-76/M-34034 [1987] oraz w licznych publikacjach [Wereszko 1969, Bylka i Grabarczyk 1976, Brydak-Jeżowiecka i in. 1994, Serre i in. 1994, Nowakowski 1995, Grabarczyk 1997, Mielcarzewicz 2000, Siwiec i in. 2002, Cisowska i Kotowski 2004, Kalenik i Brzeziński 2004, Kotowski i Wójtowicz 2005]. W związku z tym, w zależności, z jakich źródeł literatury korzystamy przy dobieraniu współczynników oporów miejscowych przy obliczaniu strat hydraulicznych w przewodach wodociągowych, otrzymujemy różne wyniki. Na wzrost oporów hydraulicznych w kształtce wodociągowej ma wpływ szorstkość wewnętrznej ścianki, kąt wygięcia kształtki i wielkość średnicy.

W układach wodociągowych, gdzie występuje duża liczba kształtek wodociągowych, suma oporów hydraulicznych w kształtkach powoduje znaczny wzrost oporów hydraulicznych całego układu wodociągowego. W związku z tym układy wodociągowe, w których występują duże opory hydrauliczne, generują większe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, ponieważ do układu należy dobrać większe pompy i silniki elektryczne o większej mocy.

Celem artykułu jest przedstawienie analizy wyników badań współczynników oporów miejscowych, obliczonych według PN-76/M-34034 [1987] i wyznaczonych z pomiarów wykonanych na stanowisku pomiarowym. Zakres artykułu obejmuje badania współczynników oporów miejscowych w nieocynkowanych i ocynkowanych nowych kolankach i trójnikach wykonanych z żeliwa, których średnica wynosiła 0,02 m.

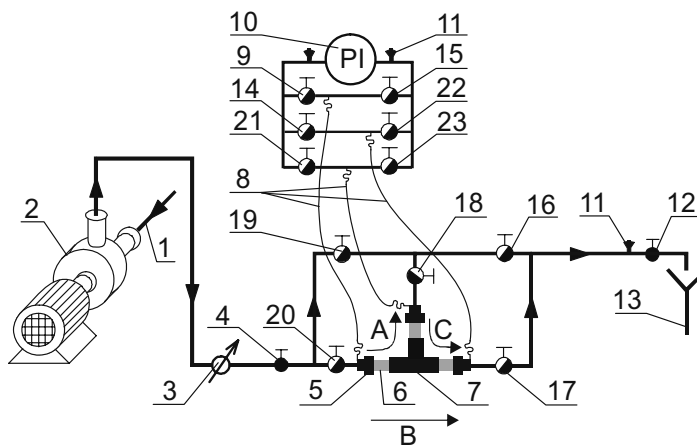
OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO

Badania miejscowych oporów hydraulicznych w żeliwnych kształtkach wodociągowych wykonano na laboratoryjnym stanowisku pomiarowym (rys. 1 i 2). Układ przewodów i urządzeń pomiarowych został zamontowany za pomocą obejm na dwóch stalowych statywach. Rurociąg (1) doprowadzał wodę do pompy (2), która wymuszała przepływ przez stanowisko pomiarowe. Za pompą zamontowano elektroniczny przepływomierz (3) typu PROMAG 33FT40, firmy Endress+Hauser, do pomiaru ilości przepływającej wody oraz zawór grzybkowy (4), który odcinał dopływ wody podczas wymiany kształtek. Na początku i na końcu kształtki (7) zostały zamontowane wężyki impulsowe (8), które podłączono do odcinających zaworów kulowych (9 – rys. 1) i rozdzielacza z zaworami odcinającymi (9, 14, 15, 21, 22, 23 – rys. 2). Straty hydrauliczne w poszczególnych kształtkach mierzono za pomocą elektronicznego miernika różnicy ciśnienia (10) typu DELTABAR 230, firmy Endress+Hauser. Kształtki na stanowisku pomiarowym montowano za pomocą śrubunku (5) i krótkiego odcinka z rury PE (6). W najwyższych punktach układu pomiarowego zamontowano odpowietrzniki (11). Natężenie przepływu wody na stanowisku pomiarowym regulowano za pomocą zaworu grzybkowego (12). Stanowisko pomiarowe pracowało w układzie otwartym, a woda odprowadzana była spustem do kanalizacji (13).



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego do badania miejscowych oporów hydraulicznych w kolankach: 1 – rurociąg doprowadzający wodę, 2 – pompa, 3 – elektroniczny przepływomierz, 4 – zawór grzybkowy, 5 – śrubunek, 6 – odcinek z rury PE, 7 – kształtka (kolanko), 8 – wężyki impulsowe, 9 – odcinające zawory kulkowe, 10 – elektroniczny miernik różnicy ciśnienia, 11 – odpowietrznik, 12 – zawór grzybkowy do regulacji przepływu wody, 13 – spust do kanalizacji

Fig. 1. Scheme of measuring stand to research of local hydraulic resistance in knees: 1 – supplying pipeline of water, 2 – pump, 3 – electronic flow meter, 4 – poppet valve, 5 – screws, 6 – segment from the PE pipe, 7 – fitting (knee), 8 – cables impulse, 9 – stop valves, 10 – electronic measure of the difference of the pressure, 11 – vent, 12 – poppet valve to the adjustment of the flow of water, 13 – drain to the sewage system



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego do badania miejscowych oporów hydraulicznych w trójnikach: 1 – rurociąg doprowadzający wodę, 2 – pompa, 3 – elektroniczny przepływomierz, 4 – zawór grzybkowy, 5 – śrubunek, 6 – odcinek z rury PE, 7 – kształtka (trójnik), 8 – wężyki impulsowe, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 – zawory kulkowe odcinające, 10 – elektroniczny miernik różnicy ciśnienia, 11 – odpowietrznik, 12 – zawór grzybkowy do regulacji przepływu, 13 – spust do kanalizacji

Fig. 2. Scheme of measuring stand to research of local hydraulic resistance in three-way-pipe: 1 – supplying pipeline of water, 2 – pump, 3 – electronic flow meter, 4 – poppet valve, 5 – screws, 6 – segment from the PE pipe, 7 – fitting (three-way-pipe), 8 – cables impulse, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 – stop valves, 10 – electronic measure of the difference of the pressure, 11 – vent, 12 – poppet valve to the adjustment of the flow of water, 13 – drain to the sewage system

METODYKA BADAŃ

Badania zostały podzielone na dwa etapy. W pierwszym etapie obliczono współczynniki oporów miejscowych w kolankach i trójnikach według normy PN-76/M-34034 [1987]. Do obliczenia współczynników oporów miejscowych w kolankach przyjęto z normy [1987] współczynniki chropowatości bezwzględnej dla nowych kształtek ocynkowanych $k = 0,25$ mm i dla nowych kształtek nieocynkowanych $k = 1,0$ mm. W drugim etapie wyznaczono współczynniki oporów miejscowych dla kształtek ocynkowanych i nieocynkowanych na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych.

Podczas pomiarów na elektronicznym przepływomierzu obserwowano nieznaczne pulsacje natężenia przepływu wody wywołane pracą pompy. Pulsacje natężenia przepływu wody wpływały również na wielkość strat ciśnienia rejestrowanego przez elektroniczny miernik różnicy ciśnienia o zakresie pomiarowym 0–500 mbar. W celu wyeliminowania błędów pomiarowych przeprowadzono po trzy serie pomiarowe dla każdej kształtki. Po ustabilizowaniu się przepływu dla zadanych wartości natężenia przepływu wody wykonywano po dwa odczyty w dwuminutowych odstępach czasu.

W czasie pomiaru strat hydraulicznych w kształtkach występowały straty w krótkich odcinkach rur z PE i śrubunkach łączących badane kształtki z końcówkami impulsowymi (rys. 1 i 2). Dodatkowo wykonano pomiary strat hydraulicznych w tych śrubunkach z zamontowanym między nimi odcinkiem rury z PE, który stanowił sumę odcinków rur wykorzystanych do badań danej kształtki. Otrzymane wielkości strat hydraulicznych w rurze z PE i śrubunkach odejmowano od wielkości strat hydraulicznych pomierzonych w kształtkach, uzyskując w ten sposób rzeczywiste straty hydrauliczne w badanej kształtce.

Pomiar strat hydraulicznych w poszczególnych kolankach wykonywano w następujący sposób (rys. 1). Po zamontowaniu kolanka (7) i otworzeniu zaworu (4) i (12), włączano pompę (2) i otwierano zawory (9) na rozdzielaczu elektronicznego miernika różnicy ciśnienia (10), który za pomocą wężyków impulsowych (8) połączony był z początkiem i końcem badanego kolanka. Następnie odpowietrzano wężyki impulsowe (8) i elektroniczny miernik różnicy ciśnienia (10) oraz cały układ pomiarowy za pomocą odpowietrzników (11). Po usunięciu pęcherzyków powietrza z układu pomiarowego, ustawiano pierwszy zadany przepływ wody za pomocą zaworu grzybkowego (12), obserwując przepływ wody na elektronicznym przepływomierzu (3). Po ustabilizowaniu się warunków przepływu wody wykonywano odczyty z elektronicznego miernika różnicy ciśnienia (10). Następnie ustawiano kolejny przepływ wody za pomocą zaworu grzybkowego (12) i po ustabilizowaniu się warunków przepływu wody wykonywano kolejne odczyty z elektronicznego miernika różnicy ciśnienia (10). Po skończeniu serii pomiarowej każdorazowo wyłączało się pompę (2).

Natomiast pomiar strat hydraulicznych w poszczególnych trójnikach wykonywano w następujący sposób (rys. 2). Po zamontowaniu trójnika (7) i przed rozpoczęciem każdej serii pomiarowej wszystkie zawory na stanowisku pomiarowym były zamykane. Pomiary strat hydraulicznych wykonywano odrębnie dla przepływu przelotowego (B), rozbieżnego (A) i zbieżnego (C). Na początku każdej serii pomiarowej otwierano zawory 4 i 12 oraz: dla przepływu przelotowego (B) – 20 i 17, dla przepływu rozbieżnego (A) – 20, 18 i 16, a dla przepływu zbieżnego (C) – 19, 18 i 17. Następnie włączano pompę 2 i na roz-

dzielaczu elektronicznego miernika różnicy ciśnienia (10) otwierano zawory: dla przepływu przelotowego (B) – 9 i 22, dla przepływu rozbieżnego (A) – 9 i 23, a dla przepływu zbieżnego (C) – 21 i 22. Elektroniczny miernik różnicy ciśnienia za pomocą wężyków impulsowych (8) połączony był z początkiem i końcem trójnika dla danego przepływu wody. Dalsze operacje wykonywane na stanowisku pomiarowym (rys. 2) podczas pomiarów w trójnikach były identyczne jak podczas pomiaru strat hydraulicznych w kolankach.

Pomiary strat hydraulicznych wykonywano dla zadanych przepływów wody z zakresu od 10 do 18 dm³·min⁻¹ z interwałem co 2 dm³·min⁻¹. Zakres pomiarowy został określony zgodnie z zalecanymi prędkościami przepływu wody w instalacji wodociągowej według normy PN-92/B-01706 [1992]. Badania przeprowadzono w trzech losowo wybranych kolankach i trójnikach wykonanych z żeliwa nieocynkowanego i ocynkowanego o średnicy 0,02 m. Pomiary wykonano dla kształtek o kącie nachylenia 90°, wyprodukowanych przez dwóch producentów żeliwnych kształtek wodociągowych (Fabrykę Łączników Radom, dalej nazywaną firma I, i Odlewnię Żeliwa SA Zawiercie, dalej nazywaną firma II).

Współczynniki oporów miejscowych (ζ) dla żeliwnych kształtek ocynkowanych i nieocynkowanych z przeprowadzonych badań eksperymentalnych wyznaczono na podstawie równania [Grabarczyk 1997]:

$$\Delta H = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{L}{d} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4} \quad (1)$$

które, przy założeniu, że długość przewodu (L) równa jest zero i w układzie pomiarowym występuje tylko jedna kształtka, przekształcono do postaci:

$$\zeta = \frac{\Delta H \pi^2 g d^4}{8Q^2} \quad (2)$$

gdzie: ΔH – straty hydrauliczne [m],

$\sum \zeta$ – suma współczynników oporów miejscowych [–],

ζ – współczynnik oporu miejscowego dla kształtki [–],

λ – współczynnik oporów liniowych [–],

L – długość przewodu [m],

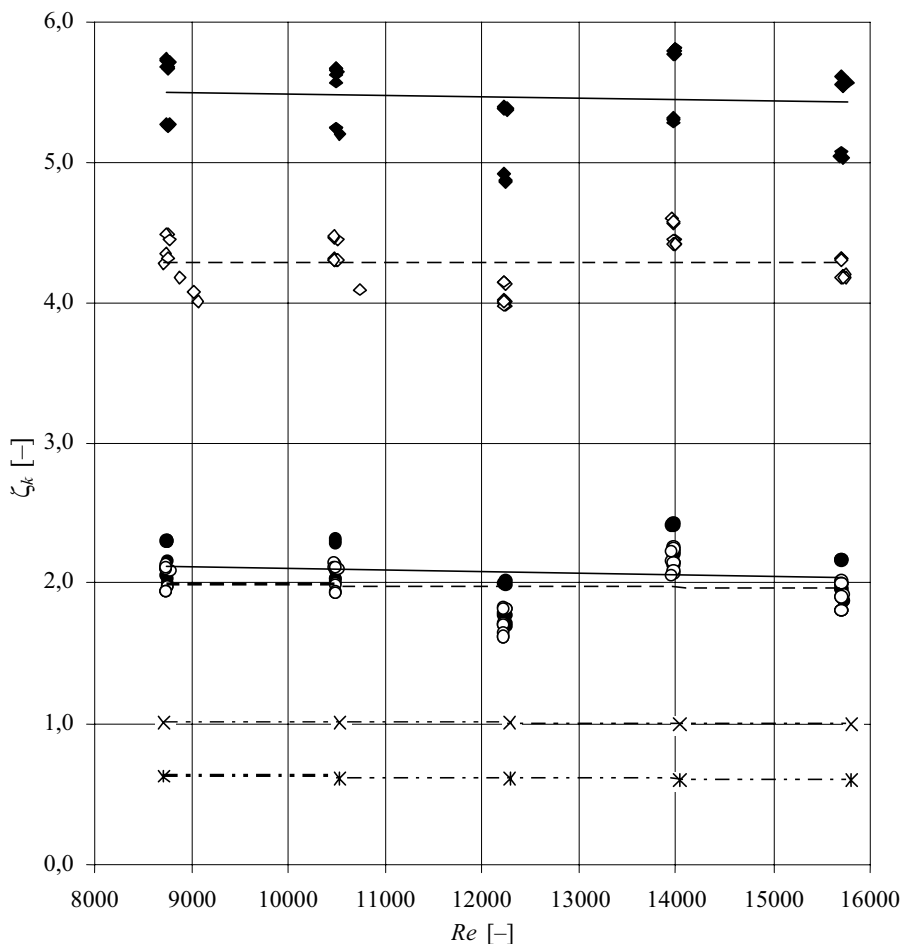
d – średnica przewodu [m],

Q – przepływ wody [m³·s⁻¹],

g – przyspieszenie ziemskie [m·s⁻²].

WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

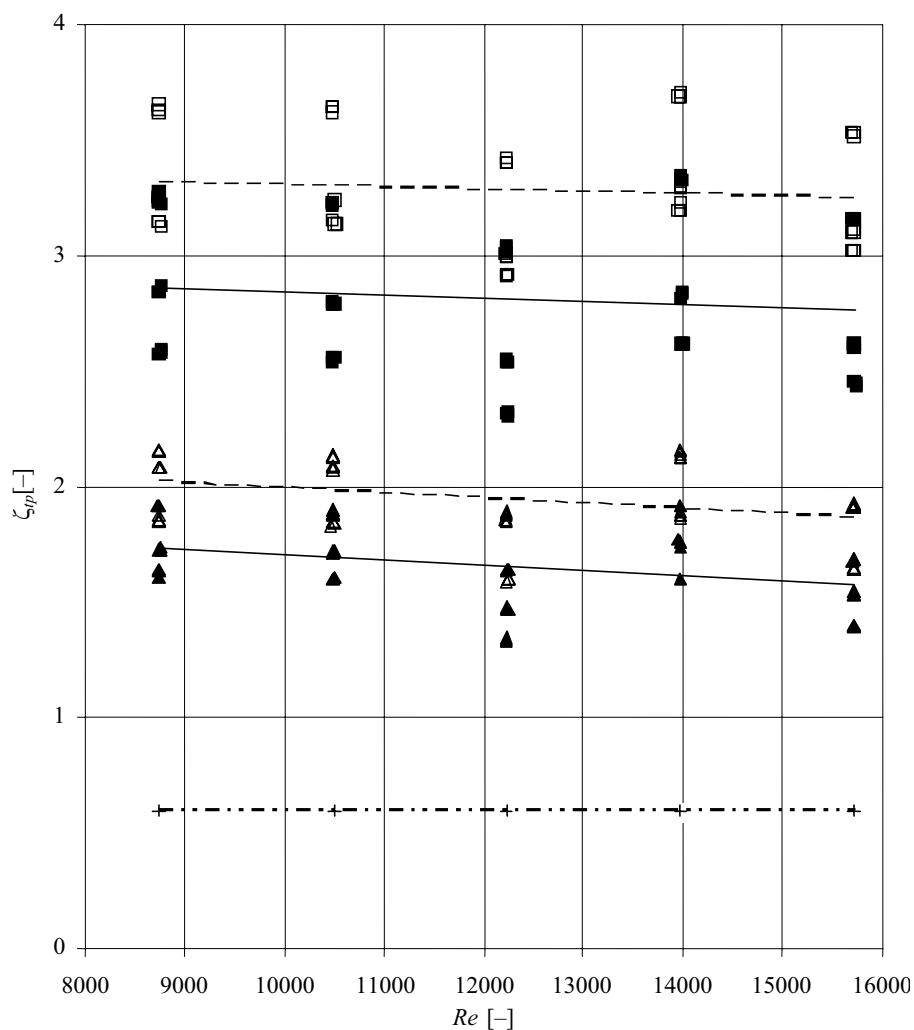
Wyniki badań współczynników oporów miejscowych w kolankach przedstawiono na rysunku 3, natomiast w trójnikach: dla przepływu przelotowego na rysunku 4, dla przepływu rozbieżnego na rysunku 5, a dla przepływu zbieżnego na rysunku 6. Podczas pomiarów straty hydrauliczne w kształtkach wodociągowych wzrastały wraz ze wzrostem



- ✱ wsp. wg PN-76-M-34034 dla $k = 0,25$ mm – coefficient according to the PN-76-M-34034 for $k = 0,25$ mm
- ✕ wsp. wg PN-76-M-34034 dla $k = 1,00$ mm – coefficient according to the PN-76-M-34034 for $k = 1,00$ mm
- ◆ wsp. z badań, kolanka nieocynkowane, firma I – coefficient from research, not galvanized knees, company I
- ◇ wsp. z badań, kolanka ocynkowane, firma I – coefficient from research, galvanized knees, company I
- wsp. z badań, kolanka nieocynkowane, firma II – coefficient from research, not galvanized knees, company II
- wsp. z badań, kolanka ocynkowane, firma II – coefficient from research, galvanized knees, company II

Rys. 3. Zależności współczynników oporów miejscowych (ζ_k) od liczby Reynoldsa (Re) w kolankach żeliwnych

Fig. 3. Dependences of coefficients of local resistance (ζ_k) on the number of Reynolds (Re) in cast-iron knees



+ wsp. wg PN-76-M-34034 – coefficient according to the PN-76-M-34034

■ wsp. z badań, trójniki nieocynkowane, firma I – coefficient from research, not galvanized three-way-pipes, company I

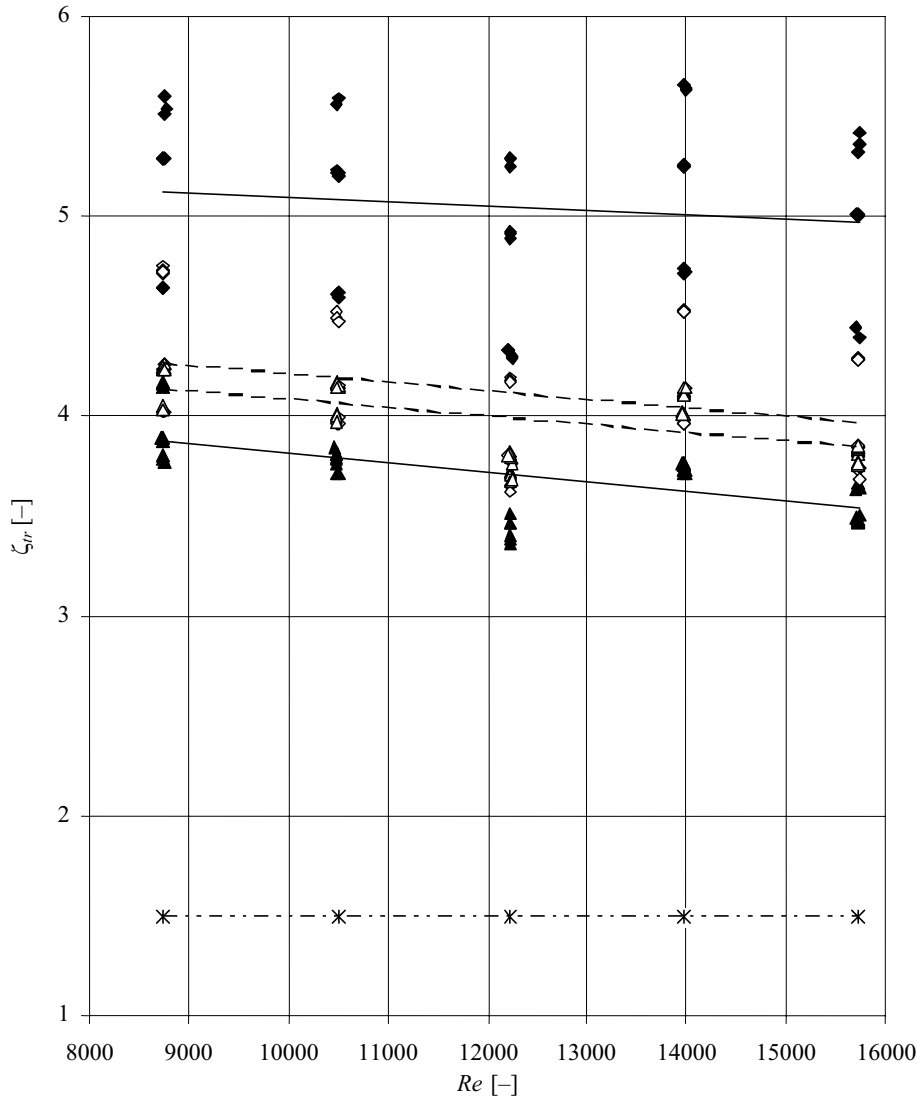
▲ wsp. z badań, trójniki nieocynkowane, firma II – coefficient from research, not galvanized three-way-pipes, company II

□ wsp. z badań, trójniki ocynkowane, firma I – coefficient from research, galvanized three-way-pipes, company I

△ wsp. z badań, trójniki ocynkowane, firma II – coefficient from research, galvanized three-way-pipes, company II

Rys. 4. Zależności współczynników oporów miejscowych (ζ_{tp}) od liczby Reynoldsa (Re) w trójnikach dla przepływu przelotowego

Fig. 4. Dependences of coefficients of local resistance (ζ_{tp}) on number of Reynolds (Re) in three-way-pipes for the through flow



* wsp. wg PN-76-M-34034 – coefficient according to the PN-76-M-34034

◆ wsp. z badań, trójniki nieocynkowane, firma I – coefficient from research, not galvanized three-way-pipes, company I

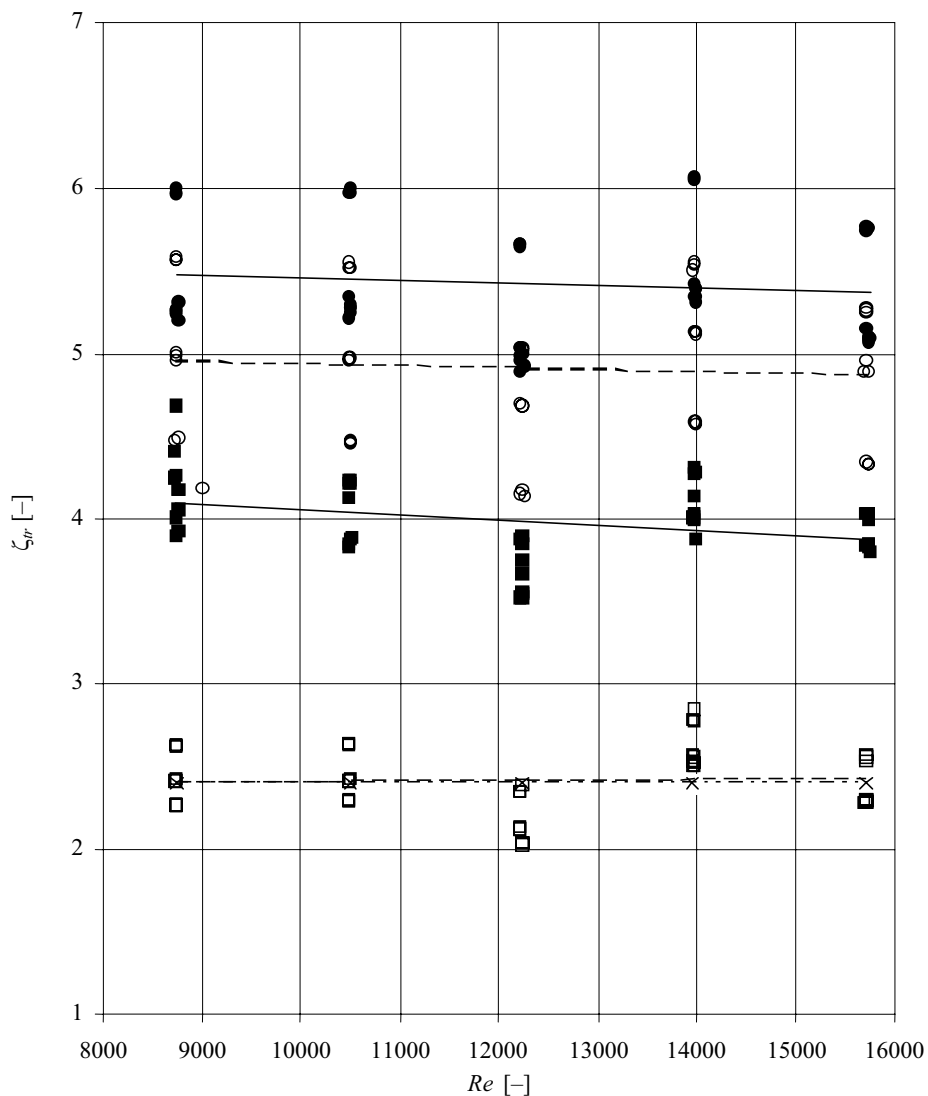
▲ wsp. z badań, trójniki nieocynkowane, firma II – coefficient from research, not galvanized three-way-pipes, company II

◇ wsp. z badań, trójniki ocynkowane, firma I – coefficient from research, galvanized three-way-pipes, company I

△ wsp. z badań, trójniki ocynkowane, firma II – coefficient from research, galvanized three-way-pipes, company II

Rys. 5. Zależności współczynników oporów miejscowych (ζ_{tr}) od liczby Reynoldsa (Re) w trójnikach dla przepływu rozbieżnego

Fig. 5. Dependences of coefficients of local resistance (ζ_{tr}) on number of Reynolds (Re) in three-way-pipes for the divergent flow



- × wsp. wg PN-76-M-34034 – coefficient according to the PN-76-M-34034
- wsp. z badań, trójniki nieocynkowane, firma I – coefficient from research, not galvanized three-way-pipes, company I
- wsp. z badań, trójniki nieocynkowane, firma II – coefficient from research, not galvanized three-way-pipes, company II
- wsp. z badań, trójniki ocynkowane, firma I – coefficient from research, galvanized three-way-pipes, company I
- wsp. z badań, trójniki ocynkowane, firma II – coefficient from research, galvanized three-way-pipes, company II

Rys. 6. Zależności współczynników oporów miejscowych (ζ_{lr}) od liczby Reynoldsa (Re) w trójnikach dla przepływu zbieżnego

Fig. 6. Dependences of coefficients of local resistance (ζ_{lr}) on number of Reynolds (Re) in three-way-pipes for the convergent flow

przepływu wody i jest to tendencja prawidłowa, zgodna z danymi literaturowymi. Po wyznaczeniu z eksperymentalnych badań współczynników oporów miejscowych przeprowadzono rachunek błędów i wyznaczono całkowite błędy współczynników oporów miejscowych ($\Delta\zeta$), które wahały się od $1 \cdot 10^{-4}$ do $9,7 \cdot 10^{-5}$.

Współczynnik oporu miejscowego wyznaczony z pomiarów dla kolanek żeliwnych nieocynkowanych wyprodukowanych przez firmę I wyniósł $\zeta_{knl} = 5,5$, a wyprodukowanych przez firmę II $\zeta_{knlII} = 2,1$, i jest o 162% mniejszy od współczynnika oporu miejscowego w kolankach wyprodukowanych przez firmę I (rys. 3). Natomiast współczynnik oporu miejscowego wyznaczony z pomiarów dla kolanek ocynkowanych, wyprodukowanych przez firmę I, wyniósł $\zeta_{kol} = 4,3$, a wyprodukowanych przez firmę II $\zeta_{kolII} = 2,0$, i jest o 115% mniejszy od współczynnika oporu miejscowego w kolankach wyprodukowanych przez firmę I. Porównując ζ_{knl} z ζ_{kol} , różnica między nimi wynosi 23%, natomiast porównując ζ_{knlII} z ζ_{kolII} , różnica między nimi wynosi tylko 5%. Natomiast współczynnik oporu miejscowego dla żeliwnych nowych kolanek, obliczony według normy [1987] dla współczynnika chropowatości bezwzględnej $k = 0,25$ mm (kolanka ocynkowane) wyniósł $\zeta_{k0,25} = 0,6$, a dla $k = 1,0$ mm (kolanka nieocynkowane) $\zeta_{k1,0} = 1,0$, różnica między nimi wynosi 67%. Wartości współczynników oporów miejscowych w kolankach żeliwnych, wyznaczone z pomiarów i według normy [1987], znacznie się różnią między sobą. W kolankach ocynkowanych dla firmy I różnica między nimi wynosi 617%, a dla firmy II wynosi 223%. Natomiast w kolankach nieocynkowanych dla firmy I różnica między nimi wynosi 450%, a dla firmy II 110%.

Współczynnik oporu miejscowego dla przepływu przelotowego, wyznaczony z pomiarów w trójkątach żeliwnych nieocynkowanych wyprodukowanych przez firmę I, wyniósł $\zeta_{tpnl} = 2,8$, a wyprodukowanych przez firmę II $\zeta_{tpnlII} = 1,7$, i jest o 65% mniejszy od współczynnika oporu miejscowego w trójkątach wyprodukowanych przez firmę I (rys. 4). Natomiast współczynnik oporu miejscowego dla przepływu przelotowego, wyznaczony z pomiarów w trójkątach żeliwnych ocynkowanych, wyprodukowanych przez firmę I, wyniósł $\zeta_{tpol} = 3,3$, a wyprodukowanych przez firmę II $\zeta_{tpolII} = 1,9$, i jest o 74% mniejszy od współczynnika oporu miejscowego w trójkątach wyprodukowanych przez firmę I. Porównując ζ_{tpnl} z ζ_{tpol} , różnica między nimi wynosi 18%, natomiast porównując ζ_{tpnlII} z ζ_{tpolII} , różnica między nimi wynosi 12%. Natomiast współczynnik oporu miejscowego dla przepływu przelotowego w żeliwnych trójkątach, obliczony według normy [1987], wyniósł $\zeta_{tp} = 0,6$. Wartości współczynników oporów miejscowych w trójkątach żeliwnych dla przepływu przelotowego, wyznaczone z pomiarów i według normy [1987], znacznie się różnią między sobą. W trójkątach nieocynkowanych dla firmy I różnica między nimi wynosi 337%, a dla firmy II 183%. Natomiast w trójkątach ocynkowanych dla firmy I różnica między nimi wynosi 450%, a dla firmy II 217%.

Współczynnik oporu miejscowego dla przepływu rozbieżnego, wyznaczony z pomiarów w trójkątach żeliwnych nieocynkowanych wyprodukowanych przez firmę I, wyniósł $\zeta_{trnl} = 5,0$, a wyprodukowanych przez firmę II $\zeta_{trnlII} = 3,7$, i jest o 47% mniejszy od współczynnika oporu miejscowego w trójkątach wyprodukowanych przez firmę I (rys. 5). Natomiast współczynnik oporu miejscowego dla przepływu rozbieżnego, wyznaczony z pomiarów w trójkątach żeliwnych ocynkowanych wyprodukowanych przez firmę I, wyniósł $\zeta_{troI} = 4,1$, a wyprodukowanych przez firmę II $\zeta_{troII} = 4,0$, różnica między nimi wynosi niecałe 3%. Porównując ζ_{trnl} z ζ_{troI} , różnica między nimi wynosi 22%, natomiast

porównując ζ_{trnII} z ζ_{trnI} , różnica między nimi wynosi 8%. Natomiast współczynnik oporu miejscowego dla przepływu rozbieżnego w żeliwnych trójnikach, obliczony według normy [1987], wyniósł $\zeta_{tr} = 1,5$. Wartości współczynników oporów miejscowych w trójnikach żeliwnych dla przepływu rozbieżnego, wyznaczone z pomiarów i według normy [1987], znacznie się różnią między sobą. W trójnikach nieocynkowanych dla firmy I różnica między nimi wynosi 233%, a dla firmy II 147%. Natomiast w trójnikach ocynkowanych różnica ta wynosi: dla firmy I 173%, a firmy II 167%.

Współczynnik oporu miejscowego dla przepływu zbieżnego, wyznaczony z pomiarów w trójnikach żeliwnych nieocynkowanych wyprodukowanych przez firmę I, wyniósł $\zeta_{zrnI} = 5,4$, a wyprodukowanych przez firmę II $\zeta_{zrnII} = 4,0$, i jest o 35% mniejszy od współczynnika oporu miejscowego w trójnikach wyprodukowanych przez firmę I (rys. 6). Natomiast współczynnik oporu miejscowego dla przepływu zbieżnego, wyznaczony z pomiarów w trójnikach żeliwnych ocynkowanych wyprodukowanych przez firmę I, wyniósł $\zeta_{zroI} = 4,9$, a wyprodukowanych przez firmę II $\zeta_{zroII} = 2,4$, i jest o 104% mniejszy od współczynnika oporu miejscowego w trójnikach wyprodukowanych przez firmę I. Porównując ζ_{zrnI} z ζ_{zroI} , różnica między nimi wynosi 10%, natomiast porównując ζ_{zrnII} z ζ_{zroII} , różnica między nimi wynosi 67%. Natomiast współczynnik oporu miejscowego dla przepływu zbieżnego w żeliwnych trójnikach, obliczony według normy [1987], wyniósł $\zeta_{zr} = 2,4$. Wartości współczynników oporów miejscowych w trójnikach żeliwnych dla przepływu zbieżnego, wyznaczone z pomiarów i według normy [1987], znacznie się różnią między sobą. W trójnikach nieocynkowanych dla firmy I różnica między nimi wynosi 125%, a dla firmy II 67%. Natomiast w trójnikach ocynkowanych dla firmy I różnica między nimi wynosi 104%, a dla firmy II 0%.

Niniejsze badania pokazują, że rzeczywiste wartości współczynników oporów miejscowych, jakie występują w kształtkach żeliwnych nieocynkowanych i ocynkowanych, są znacznie większe od wartości współczynników oporów miejscowych obliczanych według normy [1987] podczas projektowania układów wodociagowych. Uzyskane z pomiarów na podstawie przyjętej metodyki badań wartości współczynników oporów miejscowych są większe niż zamieszczane w literaturze.

WNIOSKI

1. Wartości współczynników oporów miejscowych w kolankach żeliwnych wyprodukowanych przez firmę I są dwukrotnie większe niż w kolankach wyprodukowanych przez firmę II. Natomiast wartości współczynników oporów miejscowych w trójnikach żeliwnych wyprodukowanych przez firmę I są średnio półtora raza większe niż w kolankach wyprodukowanych przez firmę II.

2. Metody obliczania współczynników oporów miejscowych, zaproponowane w normie PN-76/M-34034 [1987], dają nieporównywalnie różne wartości w porównaniu z wartościami współczynników oporów miejscowych wyznaczonych z badań eksperymentalnych. Wartości współczynników oporów miejscowych w kolankach żeliwnych, wyznaczonych z badań dla firmy I, są średnio pięć razy większe, a dla firmy II są średnio dwa razy większe od wartości obliczonych według normy. Wartości współczynników oporów miejscowych w trójnikach żeliwnych, wyznaczonych z badań dla firmy I dla

przepływu przelotowego, są średnio pięć razy większe, dla przepływu rozbieżnego średnio trzy razy większe, a dla przepływu zbieżnego średnio dwa razy większe od wartości obliczonych według normy. Natomiast wartości współczynników oporów miejscowych w trójkątach żeliwnych, wyznaczonych z badań dla firmy II dla przepływu przelotowego, są średnio trzy razy większe, dla przepływu rozbieżnego średnio dwa razy większe, a dla przepływu zbieżnego średnio półtora raza większe od wartości obliczonych według normy.

3. Zgodnie z normą [1987] współczynnik oporu miejscowego dla trójkąta (ζ_t) nie zależy od rodzaju materiału, czyli chropowatości bezwzględnej (k). Jednak przeprowadzone eksperymentalne badania pokazują, że współczynnik oporu miejscowego dla trójkąta (ζ_t) zależy od współczynnika (k).

4. Producenci przewodów i kształtek wodociągowych powinni być zobowiązani do podawania w katalogach wartości współczynników oporów miejscowych i współczynników chropowatości bezwzględnej dla swoich wyrobów.

5. Przeprowadzone eksperymentalne badania, których wyniki znacznie odbiegają od przeprowadzonych obliczeń według normy [1987], wskazują, że producenci nie przywiązują zbytniej uwagi do tego, aby ich produkty spełniały założenia obowiązującej normy.

6. Niezbędne są dalsze systematyczne badania związane z wyznaczaniem współczynników oporów miejscowych (ζ), które pozwoliłyby na uściślenie zalecanych metod do ich obliczania i dokładniejsze obliczanie strat hydraulicznych podczas projektowania układów wodociągowych.

PIŚMIENNICTWO

- Brydak-Jeżowiecka D., Nowakowski E., Malinowski P., 1994. Straty ciśnienia w rurach z tworzyw sztucznych stosowanych w instalacjach wodociągowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 7, 208–211.
- Bylka H., Grabarczyk Cz., 1976. Analiza ilościowa wpływu zmian chropowatości i średnicy przewodów na dokładność obliczeń hydraulicznych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 5, 143–147.
- Cisowska I., Kotowski A., 2004. Straty ciśnienia w układach kształtek z polipropylenu. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 10, 340–345.
- Grabarczyk Cz., 1997. Przepływy cieczy w przewodach. *Metody obliczeniowe*. Envirotech, Poznań.
- Kalenik M., Brzeziński K., 2004. Eksperymentalne badania wzrostu oporności hydraulicznej w eksploatowanych kształtkach wodociągowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej* 211, 165–172.
- Kotowski A., Wójtowicz P., 2005. Podstawy metodologiczne badań parametrów hydraulicznych ciśnieniowych rurociągów i kanałów z tworzyw sztucznych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 1, 18–24.
- Mielcarzewicz E.W., 2000. Obliczanie systemów zaopatrzenia w wodę. *Arkady*, Warszawa.
- Nowakowski E., 1995. Opory miejscowe w instalacjach wodociągowych. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* 2, 79–83.
- PN-76/M-34034, 1987. Rurociągi. Zasady obliczeń strat ciśnienia. *Wydawnictwa Normalizacyjne Alfa*.
- PN-92/B-01706, 1992. Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu. *Wydawnictwa Normalizacyjne Alfa*.

- Serre M., Odgaard J., Elder A.R., 1994. Energy loss at combining pipe junction. *Journal of Hydraulic Engineering* 7, 808–830.
- Siwiec T., Morawski D., Karaban G., 2002. Eksperymentalne badania oporów hydraulicznych w zgrzewanych kształtkach z tworzyw sztucznych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2, 49–68.
- Wereszko D., 1969. Obliczanie strat hydraulicznych w chropowatych kolanach rurowych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 9, 295–302.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF LOCAL HYDRAULIC RESISTANCE IN CAST IRON FITTINGS

Abstract. Results of research of the coefficients of local resistance in not galvanized and galvanized knees and cast iron three-way-pipes were introduced in the article. Research, were carried out on the measuring stand built in the laboratory. Measurements were made for fittings about the angle of 90° inclination, produced by two producers, cast iron fittings. Research of the coefficients of local resistance were carried out in beloveds randomly, three knees and three three-way-pipes. Determined coefficients of local resistance of research, they compared with coefficients of local resistance determined according to the applying PN-76-M-34034 norm.

Key words: coefficients of local resistance, cast iron fittings, knees, three-way-pipes

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 31.10.2006