

Wartości współczynników strat miejscowych w złączkach w systemie zaciskowym

Values of the head loss coefficients of connectors in the press system

ROBERT MAŃKO

DOI 10.36119/15.2022.4.2

W pracy zaprezentowano wartości współczynników strat miejscowych dla złączek prostych stosowanych w systemie z zaprasowywanym pierścieniem. W analizie zaproponowano złączki jednego z producentów ogólnie dostępnych na rynku polskim. W pracy ograniczono się do trzech typowych i najczęstszych rozmiarów. Analiza porównawcza obejmuje współczynniki otrzymane na drodze bezpośrednich pomiarów laboratoryjnych, z zastosowaniem modelowania CFD, analitycznie przy użyciu standardowych wzorów 1D oraz wartości deklarowanych przez producenta. Pomiarów bezpośrednich oraz modelowanie 3D wykazały, że wartość współczynnika strat można przedstawić w postaci funkcji nierosnącej zależnie od średniej prędkości za złączką. Stwierdzono istotne różnice pomiędzy wartościami współczynników strat miejscowych określonych w różny sposób. Uwzględnianie w obliczeniach wartości odbiegających znacząco od rzeczywistych może spowodować zwiększenie lub zmniejszenie strumienia czynnika. Zmniejszenie strumienia może skutkować nieosiągnięciem parametrów projektowych. Przeprojektowanie instalacji oznacza przekroczenie wartości projektowych, które powstają przy założeniu m.in. zbyt dużych średnic przewodów, co wiąże się ostatecznie z wyższymi kosztami materiałów. Przedstawione wyniki mogą posłużyć projektantom instalacji jako źródło parametrów projektowych.

Słowa kluczowe: złączka, system zaciskowy, współczynnik strat miejscowych, modelowanie CFD, lokalne straty ciśnienia w przewodach

The values of the coefficients of local head loss coefficient for straight connectors used in the system with a pressed ring are presented in this paper. Connectors of one of the manufacturers generally available on the Polish market were proposed in the analysis. The paper is limited to three typical and most common sizes. The comparative analysis includes coefficients obtained by direct laboratory measurements, using CFD modeling, analytically using standard 1D formulas and values declared by the manufacturer. Measurements and 3D modeling have shown that the value of the loss factor can be presented as a non-increasing function depending on the average velocity behind the connectors. Significant differences were found between the values of the local loss factors determined in different ways. Taking into account in the calculations the values significantly deviating from the real one may increase or decrease of the flow. Reducing the flow may result in not achieving design parameters. Overdesigning an installation may result in not reaching design parameters, which is created by assuming too large diameters of the conductors, which is ultimately associated with higher material costs. The results presented here can be used as a source of design parameters for designers of pressure installations.

Keywords: connector, press system, local loss coefficient, CFD, head loss coefficient in pipes

Spis symboli

- ζ – współczynnik strat miejscowych/strat lokalnych [-];
- λ – współczynnik oporów liniowych [-];
- d – średnica wewnętrzna złączki [m];
- D – średnica wewnętrzna rurociągu [m];
- g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2];
- h_l – wysokość strat liniowych [m];
- k – współczynnik chropowatości [m];
- l – długość oporu liniowego [m];
- v_d – prędkość wody w złączce o średnicy d [m/s];
- v_D – prędkość wody w rurociągu o średnicy D [m/s].

Wstęp

Obecnie na rynku dostępnych jest wiele systemów instalacyjnych, z przewodami z różnorodnych materiałów oraz o rozmaitych rozwiązaniach połączeń. Coraz popularniejsze są instalacje wykonane z materiałów z tworzyw sztucznych, instalacje miedziane oraz już rzadziej wykonywane instalacje stalowe. Ze względu na rodzaj materiału połączenia rur mogą być spawane, zgrzewane lub zaciskane. Połączenia w analizowanym systemie wykonuje się za pomocą zaprasowywania stalowego pierścienia, który dociskając

gumową uszczelkę tworzy szczelne i trwałe połączenie. Systemy zaciskowe charakteryzują się głównie szybkością wykonywania połączeń i znikomą awaryjnością. System ten charakteryzuje się tym, że w miejscach połączeń odcinków dochodzi do zmniejszeń przekrojów przepływu, co wpływa na wartość średnią prędkości przepływu. Integralną częścią projektu instalacji ciśnieniowej są obliczenia hydrauliczne, w ramach których oblicza się opory ruchu, zwane stratami hydraulicznymi, w których jednym z głównych czynników przy ich określaniu jest właśnie prędkość średnia. Straty miejscowe spowodowane

Dr inż. Robert Mańko, <https://orcid.org/0000-0001-5592-7709> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska. West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Faculty of Civil and Environmental Engineering. Adres do korespondencji/Corresponding Author: Robert.Manko@zut.edu.pl

są przepływem przez elementy, które zmieniają kierunek przepływu cieczy lub lokalnie zaburzają jego parametry (np. przewężenie, poszerzenie). Przepływy przez złączki są bardziej skomplikowane niż przez elementy proste o stałych średnicach (np. prostoliniowy odcinek rury, w pełni otwarty zawór kulowy) [2], [3]. Podstawowym warunkiem prawidłowej pracy instalacji jest dla warunków obliczeniowych równość strat ciśnienia instalacji, różnicy ciśnień powodującego przepływ oraz zmiany rzędnych instalacji. Istotny wpływ na dobór średnic mają opory miejscowe (lokalne). Obecnie można spotkać się z dużą liczbą proponowanych wartości współczynników strat lokalnych, które różnią się od siebie. Najdokładniej wartości współczynników strat można określić na drodze pomiarów lub przy zastosowaniu symulacji CFD.

W przewodach prostych, w których dochodzi do miejscowych zmian średnic przekrojów powstają podłużne struktury wirów występujące bezpośrednio za zmianą przekroju. Powstałe wiry są tym większe im większe panują prędkości średnie. W pracy pominięto szczegółową analizę strat wynikających z poszczególnych zjawisk, skupiając się na praktycznych zastosowaniach.

Niniejsza praca częściowo stanowi kontynuację zagadnień strat miejscowych (lokalnych) podjętych m.in. w [1] i [3] w zakresie określenia współczynników strat w złączkach oraz analizy z zastosowaniem modelowania 3D.

Współczynniki strat przedstawione w niniejszej pracy obliczono stosując klasyczne jednowymiarowe równania rozpisując wszystkie straty w postaci wykresu zmian linii energii i ciśnienia. Następnie przedstawiono wartości współczynników strat podawanych przez jednego z producentów działających na rynku polskim. Kolejne współczynniki wyznaczono na drodze modelowania 3D. Wyniki otrzymane przez bezpośrednie pomiary poprzedzone zostały opisem stanowiska pomiarowego.

Analizy wykonano dla trzech rozmiarów złączek dla rur o rozmiarach (średnica zewnętrzna x grubość ścianki rury). Parametry geometryczne złączek określono za pomocą suwmiarki oraz na podstawie plików producenta w formacie dwg i które przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry geometryczne złączek
Table 1. Geometry of connectors

Rozmiar rury	Średnica wewnętrzna złączki [mm]	Długość złączki [mm]
16x2.0	6.5	55
20x2.0	10.5	55
25x2.5	14.5	74.8

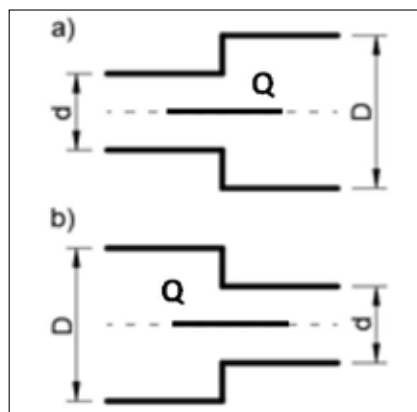
Określenie współczynnika strat lokalnych metodą analityczną

Współczynnik strat ciśnienia można potraktować jako suma współczynników strat miejscowych w poszczególnych miejscach łącznika. W przypadku złączek prostych straty wywołane są przewężeniem i rozszerzeniem przekroju. Wg [5], [6], [7] współczynniki strat w wyniku nagłego rozszerzenia (Rys. 1a) i przewężenia (Rys. 1b) określa się wzorami:

$$\zeta_1 = \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \quad (3a)$$

$$\zeta_2 = 0,5 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \quad (3b)$$

Wzory (3a) oraz (3b) odnoszą się odpowiednio do strat na rozszerzeniu i przewężeniu.



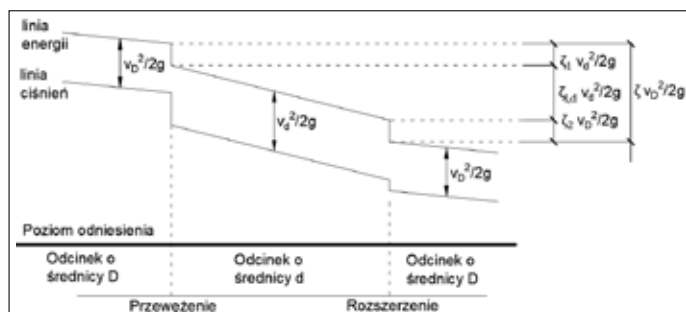
Rys. 1 Schematy oporów miejscowych
Fig. 1 Schematic of local head loss

Straty lokalne określa się wg znanego wzoru [4]:

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

Wzory (3a) i (3b) zgodnie ze wzorem (4) odnosi się do prędkości za stratą, dlatego ostateczny współczynnik strat nie będzie sumą strat przy zwiększeniu i zmniejszeniu średnicy.

Rys. 2 Wykres Ancony dla złączki
Fig. 2 Ancon chart for connector



W analizie uwzględniono również straty liniowe, które pomimo stosunkowo małej długości przewężenia można by uznać za znikome. W zakresie analizowanych rozmiarów złączek dla średniej prędkości przepływu w rurociągu przed złączką $v = 2,0$ m/s przy temperaturze wody $t = 13,4^\circ\text{C}$ obliczono wartości liczb Reynoldsa, które wynoszą od ok. 37 000 do ok. 46 000. Przy założeniu chropowatości wewnętrznej powierzchni złączki odpowiadającej chropowatości rury $k = 0,007$ mm można odczytać z wykresu Moody'ego przybliżone wartości współczynnika oporów liniowych. Dla liczb Reynoldsa większych od 37 000 przy danej chropowatości bezwzględnej gradient zmian funkcji jest bliski zeru, dlatego zaproponowano uproszczenie metody określania współczynnika oporu liniowego poprzez zaproponowanie metody jego określania jak dla stref przepływu pełnej turbulencji w postaci wzoru Prandtla-Nikuradsego [5]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left(\frac{k}{3,71d} \right) \quad (5)$$

Należy mieć na uwadze, że wzór (5) nie uwzględnia liczby Reynoldsa, dlatego faktyczne wartości współczynnika oporów liniowych będą większe. Straty na długości oblicza się z formuły Darcy-Weisbacha:

$$h_l = \frac{l}{d} \lambda \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Po przekształceniach otrzymujemy wzór na komponent współczynnika strat miejscowych:

$$\zeta_l = \frac{l}{d} \frac{D^4}{d^4} \left[2 \log \left(\frac{k}{3,71d} \right) \right]^2 \quad (7)$$

Współczynnik strat określony został przy pomocy tzw. wykresu Ancony [6], który w sposób graficzny przedstawia zachodzące zmiany energetyczne w przewodach pod ciśnieniem. Wykres Ancony składa się zazwyczaj z dwóch linii: linii energii oraz linii ciśnienia. Jeżeli mowa o stratach w instalacji to dotyczy to strat energii. Zależnie od wielkości średnic, na zmianie średnicy z mniejszej na większą może dojść ostatecznie do wzrostu ciśnienia. Na rys. 2

przedstawiono schemat rozwinięcia wykresu Ancony dla złączki prostej.

Po zastosowaniu wzorów (3), (4) i (7) w wykresie Ancony otrzymuje się ogólne formuły na wartości współczynników strat dla złączki, zgodnie z oznaczeniem na rysunku 2. Współczynnik strat odnosi się do prędkości za oporem miejscowym.

$$\zeta = \left(1 - \frac{D^2}{d^2}\right)^2 \left(0,5 + \frac{D^4}{d^4}\right) + \frac{l}{d} \frac{D^4}{d^4} \left[2 \log\left(\frac{k}{3,71d}\right)\right]^2 \quad (8)$$

Wzór (8) traktować należy jako uniwersalny dla tego typów złączek, z wyłączeniem złączek, w których długość przewężenia byłaby niewystarczająca w odniesieniu do długości struktur wirowych powstających w tego typu stratach. Powyższy wzór opiera się na uproszczonej metodzie wyznaczania współczynnika oporu liniowego, gdzie dla przepływów o niskich liczbach Reynoldsa współczynniki są znacznie większe. Wartości współczynników strat miejscowych określonych analitycznie na podstawie wzoru (8) przedstawiono w tabeli 2. Poszczególne wartości do wzoru (8) podano w tabeli 1. Współczynnik k przyjęto tożsamy jak dla rurociągu $k = 0,007$ mm.

Tabela 2. Wartości współczynników strat miejscowych – metoda analityczna
Table 2. Head loss coefficients – analytic method

Rozmiar	ζ [-]
16x2.0	9.10
20x2.0	2.66
25x2.5	1.05

Wraz ze wzrostem rozmiaru złączek wartości współczynników strat maleją. Spadek wartości jest dość duży, obserwuje się prawie 9-krotny spadek wartości. Przy znacznie mniejszej średnicy wewnętrznej złączki niż przewodu, straty ciśnienia są relatywnie wysokie, należałoby te wartości uwzględnić w obliczeniach.

Współczynniki strat lokalnych deklarowane przez producenta

Najczęściej oczekiwanym przez projektantów źródłem informacji o współczynnikach strat są informacje pochodzące wprost od producenta. W tabeli 3 przedstawiono wartości współczynników dla złączek w systemie zaciskowym.

Zmiany w wartościach współczynników strat w przypadku deklaracji producenta są tożsame ze zmianami w przypadku wzorów analitycznych, jednak róż-

Tabela 3. Wartości współczynników strat miejscowych – deklaracja producenta
Table 3. Head loss coefficients – manufacturer information

Rozmiar	ζ [-]
16x2.0	1.0
20x2.0	0.8
25x2.5	0.5

nice w samych wartościach są dość istotne, jak np. w przypadku rozmiaru 16x2.0 mm współczynnik obliczony analitycznie jest ponad 9-krotnie większy od wartości podawanej przez producenta.

Określenie współczynnika strat lokalnych metodą numeryczną

W pracy posłużono się oprogramowaniem Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics), w którym zagadnienia mechaniki płynów oblicza się równaniami Reynoldsa [7]. Wybrany modelem domykającym równania Reynoldsa jest model $k-\epsilon$ [8].

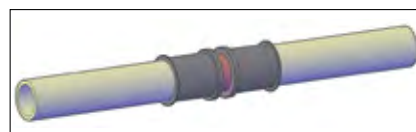
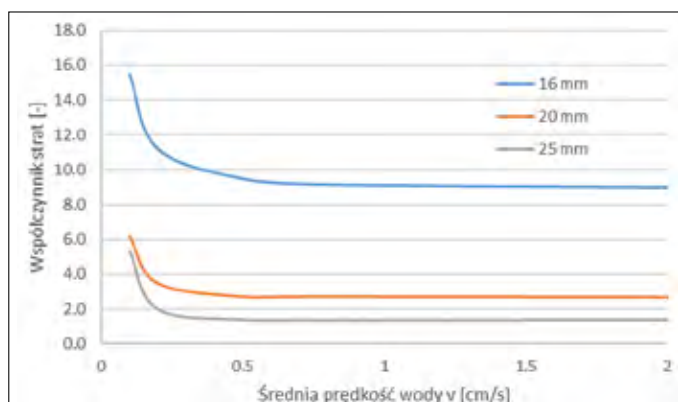
Ze względu na rodzaj oporów miejscowych w złączce model 3D nie może składać się wyłącznie ze złączki, lecz muszą w nim być uwzględnione 2 odcinki prostej rury o długościach co najmniej 10 cm połączonych złączką. Pomiaru wstępne wykazały, że odległość 10 cm jest wystarczająca do wyrównania profilu prędkości na końcu układu, co widać na rys. 5. Dla takiego układu wykonano modelowanie CFD i odczytano różnicę ciśnień na wejściu i wyjściu układu. Otrzymaną wartość następnie redukuje się o wartość różnicy ciśnień wyznaczonych z modelowania prostego odcinka rury o długości 20 cm. Warunkami brzegowymi modelu są:

- Wejściowy warunek brzegowy: prędkość od 0,1 m/s do 2,0 m/s,
- Wyjściowy warunek brzegowy: ciśnienie statyczne 10 mH₂O.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat 3D złączki 25 mm.

Model w programie jest dyskretyzowany przez trójwymiarową siatkę czworokątów o trójkątnych powierzchniach.

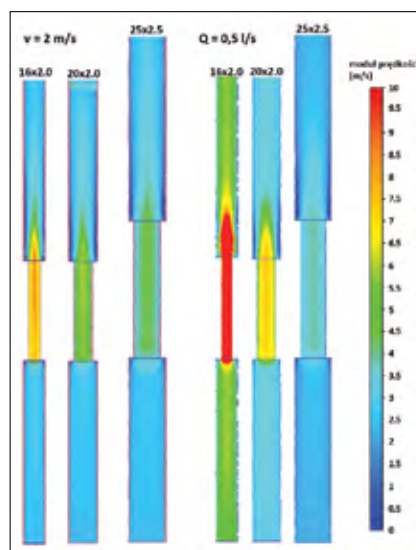
Rys. 5
Współczynniki strat miejscowych dla złączek – wyniki modelowania
Fig. 5 Head loss coefficients for connectors – modeling results



Rys. 3
Model 3D złączki 25 mm
Fig. 3 25 mm connector 3D model

W pracy [9] udowodniono, że w przypadku prostych układów wpływ gęstości siatki na różnice w otrzymywanych wynikach jest znikomy, dlatego zastosowano automatyczne siatkowanie, adaptujące się do aktualnych warunków hydrodynamicznych i bieżących wyników rozwiązania.

Na rysunku 4 przedstawiono rozkłady prędkości dla płaszczyzny 2D przechodzącej przez oś dla tożsamyh warunków



Rys. 4
Rozkład prędkości w złączkach (po lewej $v = 2$ m/s, po prawej $Q = 0,5$ l/s)
Fig. 4 Connectors velocity distribution (on left $v = 2$ m/s, on right $Q = 0,5$ l/s)

brzegowych w postaci ustalonego przepływu wejściowego $Q = 0,0005$ m³/s oraz stałej prędkości wlotowej $v = 2$ m/s przy stałym ciśnieniu wyjściowym $p = 10$ mH₂O. Obliczone ciśnienie wejściowe jest wartością uśrednioną z całego przekroju poprzecznego.

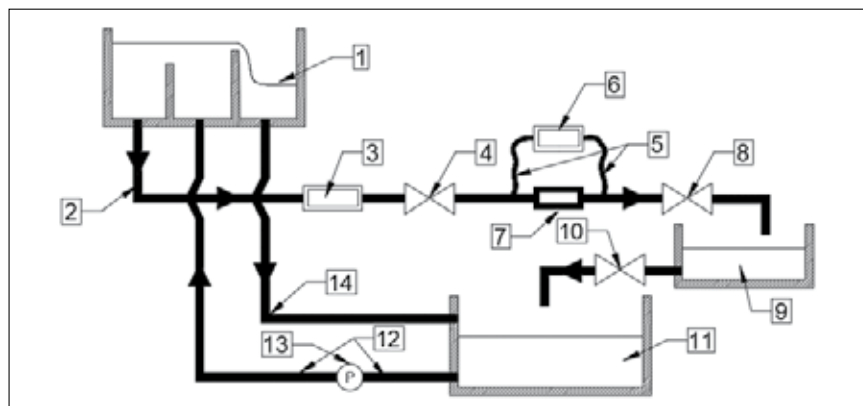
Bezpośrednio za rozszerzeniem przekroju dochodzi do spokojnego wyrównywania prędkości w przekroju, przez co obserwuje się charakterystyczne kliny, o długościach zbliżonych do siebie, a więc niezależnych od modelowanego rozmiaru.

Projektanci instalacji wodociągowych przeważnie posługują się prędkościami przepływu [1], w związku z tym na rysunku 5 przedstawiono zmiany wartości współczynnika strat miejscowych w funkcjach średniej prędkości wody w rurociągach.

Niezależnie od rodzaju armatury wykresy mają przebieg tożsamy, najpierw obserwujemy gwałtowny spadek wartości współczynników strat, a następnie wykresy się stabilizują wokół jednej wartości. Konsekwentnie obserwuje się spadek wartości współczynników wraz ze wzrostem średnicy rurociągu.

Stanowisko pomiarowe

Badania zostały wykonane w Laboratorium Wodnym Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Schemat stanowiska pomiarowego został przedstawiony na rysunku 6. Stanowisko pomiarowe jest zmodyfikowanym stanowiskiem zastosowanym w [3], z różnicą, zamiast badania strat na zaworach zwrotnych bada się straty na armaturze (element nr 7 na rysunku 6). Szczegółowa procedura została opisana w artykule [3]. Do badania różnicy ciśnień zastosowano certyfikowany manometr EMS-20LR o dokładności sensora ciśnienia równego $\pm 0,1\%$. Do badania przepływu zastosowano ultradźwiękowy przepływomierz „prosonic Flow 93” o deklarowanym maksymalnym błędzie pomiarowym wynoszącym 2 %.



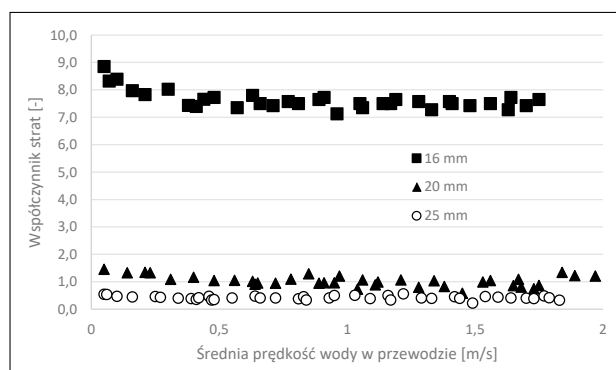
Rys. 6

Schemat stanowiska do badania oporów miejscowych: 1 – zbiornik górny, 2 – rurociąg główny, 3 – miernik przepływu, 4 – zawór, 5 – węzeł impulsowy, 6 – manometr, 7 – złączka, 8 – zawór, 9 – zbiornik kontrolny, 10 – zawór zbiornika kontrolnego, 11 – zbiornik dolny, 12 – rurociąg, 13 – pompa.
Fig. 6 Work station schematic of head loss determination: 1 – upper reservoir, 2 – pipeline, 3 – flow meter, 4 – valve, 5 – impulse wires, 6 – manometer, 7 – connector, 8 – valve, 9 – control reservoir, 10 – control reservoir valve, 11 – lower reservoir, 12 – pipeline, 13 – pump.

Określenie współczynnika strat lokalnych metodą bezpośrednich pomiarów

Pomiary wartości współczynnika strat przeprowadzono na stanowisku jak na rysunku 6. Pomiary strat ciśnienia wykonuje się podobnie jak w procesie modelowania, tj. do analizowanej złączki po obu stronach montuje się proste 20 cm odcinki rur, które na swoich końcach podłączone są do węży impulsowych (nr 5 na rysunku 6). Dla pojedynczego pomiaru odczytuje się różnicę ciśnień, która następnie jest redukowana o wartość odczytaną jak dla odcinka prostego o długości 40 cm. Zabieg ten eliminuje wpływ strat energii na

Rys. 7
Współczynniki strat miejscowych dla złączek – wyniki pomiarów
Fig. 7 Head loss coefficients for connectors – measurements results



wysokości węży impulsowych, spowodowanych ich podłączeniem.

Straty ciśnienia określano dla 3 sztuk danej armatury. Pojedynczy pomiar polegał na pomiarze różnicy ciśnień w ruchu ustalonym, zaczynając od bardzo małych przepływów, a następnie zaworem kulowym (nr 4 na rysunku 6) powoli zwiększa się przepustowość, aż do pełnego otwarcia zaworu. Dla pojedynczego układu pomiarowego wykonano co najmniej 3 serie pomiarowe, zwracając przy tym

uwagę na uzyskanie wyników w całym zakresie pomiarów średniej prędkości 0 – 200 cm/s. W przypadku najmniejszych średnic nie udało się osiągnąć zamierzonych maksymalnych prędkości. W trakcie pomiarów temperatura wody wynosiła 13,4°C i nie zmieniała się w trakcie pomiarów.

Na rysunku 7 przedstawiono wykresy zmian wartości współczynnika strat w funkcji prędkości.

Otrzymane współczynniki strat energii potwierdzają poprzednie reguły spadku wartości wraz ze wzrostem średniej prędkości i wzrostem średnicy. Jedynie w przypadku rozmiaru 16 mm, można zaobserwować istotny spadek wartości w począt-

kowych fazach wykresu. W przypadku złączki wykres rozpoczyna się wartością 9, by ostatecznie ustabilizować się na poziomie ok. 7.5.

Analiza porównawcza

Ze względów praktycznych zastosowań współczynników strat otrzymanych na drodze modelowania numerycznego i bezpośrednich pomiarów, współczynniki strat sprowadzono do stałych wartości, co jest zasadne, ponieważ po przekroczeniu pewnych prędkości gradient zmian jest bliższy zeru. W tabeli 3 zestawiono ze sobą wszystkie wartości współczynników.

Tabela 4. Porównanie wartości współczynników strat ciśnienia złączek
Table 4. Head loss coefficients – comparing

Rozmiar	Wartość producenta	Wartość analityczna	Wartość z modelowania	Wartość z pomiarów
16x2.0	1.0	9.1	9.0	7.5
20x2.0	0.8	2.7	3.0	0.9
25x2.5	0.5	1.1	0.9	0.3

Największą zbieżność wyników obserwuje się pomiędzy wartościami współczynników uzyskanymi z modelowania

i wartościami analitycznymi. Oznacza to, że upraszczanie modeli do postaci jedno-wymiarowych ma swoje uzasadnienie praktyczne.

W tabeli pogrubione zostały wartości, które w swojej kategorii są najmniejsze i wśród przedstawionych wyników najmniejsze wartości współczynników strat podawane są przez producenta, za wyjątkiem pomierzonego współczynnika dla złączki 25x2.5 mm.

Stosując znane pojęcie długości równoważnej, jako fikcyjne zastąpienie oporu miejscowego odcinkiem prostym rury, w której straty liniowe odpowiadają stratom miejscowym w tabeli 5 przedstawiono długości równoważne odpowiadające współczynnikom strat zawartym w tabeli 4, które oblicza się wg wzoru (9).

$$l_e = \frac{\zeta d}{\lambda} \quad (9)$$

Tabela 5. Długości równoważne dla współczynników z tabeli 4
Table 5. Equivalent lengths for the coefficients in table 4

Rozmiar	Wartość producenta	Wartość analityczna	Wartość z modelowania	Wartość z pomiarów
	Długość ekwiwalentna [m]			
16x2.0	0.6	5.4	5.4	4.5
20x2.0	0.7	2.4	2.7	0.8
25x2.5	0.6	1.3	1.1	0.4

Wartości długości równoważnych odpowiadają wartościom współczynników strat miejscowych. Można zauważyć, że długości równoważne obliczone na podstawie współczynników strat deklarowanych przez producenta są zbliżone niezależnie od wielkości średnic. Bardzo duże wartości długości równoważnych otrzymano dla złączki o średnicy 16x2.0, strata ciśnienia na niej odpowiada stratom ciśnienia na odcinku rury o długości około 5 m.

Obserwuje się to dla wyników: modelowania, obliczeń analitycznych i pomiarów.

Wnioski

W pracy skupiono się na określeniu strat ciśnienia w złączkach prostych stosowanych w systemach zaprasowywanych, celem pogłębienia i porównania zagadnień poruszanych w innych publikacjach i literaturze fachowej. Analiza współczynników strat polegała na porównaniu wartości deklarowanej przez producenta, wartości wynikającej ze wzorów z normy [4], wartości wynikającej z modelowania 3D i bezpośrednich pomiarów. Badania wykazały, że na wartość współczynników strat największy wpływ mają parametry geometryczne złączek – wraz ze wzrostem wymiarów geometrycznych maleją wartości współczynników. W przypadku najmniejszej średnicy, współczynniki podawane

przez producenta są kilkukrotnie mniejsze od wartości uzyskanych innymi metodami. Wraz ze wzrostem wymiarów, dysproporcje maleją i można się spodziewać, że w przypadku większych średnic wartości współczynników będą bardzo zbliżone. W większości przypadków najmniejsze wartości współczynników strat obserwuje się w danych producenta, co wskazuje na potrzebę przeprowadzenia kompleksowych badań uwzględniające m.in. wpływ

ciśnienia wejściowego na wartość współczynników strat, co jest pomijane w wytycznych do projektowania. Ze względu na bardzo duże wartości współczynnika strat miejscowych przewody o najmniejszych średnicach należy stosować w działkach instalacji o niewielkich przepływach. W ramach dalszych badań nad zagadnieniami strat ciśnienia należy sprawdzić wpływ zmian ciśnienia wejściowego przy zachowaniu stałego przepływu w instalacji na zmiany wartości współczynnika strat.

LITERATURA

- [1] Grajper P. „Eksperymentalne wyznaczenie współczynników miejscowych strat ciśnienia w kolanach instalacyjnych 90o wybranego systemu wielowarstwowego”, Instal 12/2021, str.22-25, DOI 10.36119/15.2021.12.3.
- [2] Ono A., Kimura N., Kamide H., Tobita A., Influence of elbow curvature on flow structure at elbow outlet under high Reynolds number condition, Nucl. Eng. Des.” Vol 41., 2011
- [3] Mańko R. “Charakterystyka hydrauliczna zaworów zwrotnych osiowych występujących na rynku polskim” Instal 04/2021, str. 8-13, DOI 10.36119/15.2021.4.1.
- [4] PN-92/B-01706, Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu. Wydawnictwa Normalizacyjne Alfa. 1992
- [5] Czetwertyński E., Utrysko B.: Hydraulika i hydromechanika. Warszawa, PWN, 1969
- [6] Troskoleński A.T., “Hydromechanika techniczna. Tom II Hydraulika” Państwowe Wydawnictwa Techniczne”, Warszawa, 1954.
- [7] Farid Al.-Bender, Air Bearings: Theory, Design and Applications, 2021 John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Shaheed R, Mohammadian A., Gildeh H. K., A comparison of standard k-ε and realizable k-ε turbulence models in curved and confluent channels, Environmental Fluid Mechanics 2019,
- [9] Kormaz Y. S., Kibar A., Ygit K.S, Experimental and Numerical Investigation of Flow in Hydraulic Elbows, Journal of Applied Fluid Mechanics 2021