Piotr SIWICKI¹
Janusz URBAŃSKI²
Marcin KRUKOWSKI³
Adam KOZIOL⁴

STRATY HYDRAULICZNE W CIŚNIENIOWYCH PRZEWODACH O ODKSZTAŁCONYM PRZEKROJU KOŁOWYM

W pracy przedstawiono wyniki analiz kształtowania się strat hydraulicznych na długości odkształconego w przekroju poprzecznym przewodu kołowego. Badania przeprowadzono w celu sprawdzenia zasadności stosowania formuły Colebrooka - White'a do wyznaczania współczynnika oporów liniowych λ w przewodach o odkształconym przekroju. Niekołowości przewodu uwzględnia się poprzez wprowadzenie do formuły Colebrooka - White'a wielkości promienia hydraulicznego zamiast średnicy przewodu. Zasadność takiego postępowania postanowiono sprawdzić przy zastosowaniu modelu numerycznego. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem modelu CFD FLUENT. Badaniom poddano trzy średnice przewodu. Każdą ze średnic poddano odkształceniom. Wyznaczono straty liniowe dla przewodów o stopniu odkształcenia jego przekroju do 50%. Dla każdej ze średnic przy różnym stopniu odkształcenia przewodu wprowadzano tę samą objętość przepływu. Z przeprowadzonych obliczeń numerycznych wynika, że w analizowanych przypadkach przyrost strat jest bardziej znaczący po osiągnięciu około 20% stopnia odkształcenia. Procentowy przyrost strat w przewodzie o stopniu odkształcenia 50% względem przewodu nieodkształconego sięga 250%. Uzyskane wielkości strat z modelu numerycznego porównano z obliczeniami formułą Colebrooka - White'a i Darcy-Weisbacha uzyskując dużą zgodność wyników. Potwierdza to zasadność stosowania tych formuł do wyznaczania współczynnika oporów liniowych

¹ Piotr Siwicki, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, tel. 22 5935290, piotr_siwicki@sggw.pl

² Autor do korespondencji/corresponding author: Janusz Urbański, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, tel. 22 5935290, janusz_urbanski@sggw.pl

³ Marcin Krukowski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, tel. 22 5935290, marcin_krukowski@sggw.pl

⁴ Adam Koziół, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, tel. 22 5935290, adam_koziol@sggw.pl

λ i strat ciśnienia na długości w odkształconych eliptycznie przewodach kołowych. Uzyskana wiedza może być wykorzystana do szacowania stopnia odkształcenia przewodu na podstawie wprowadzonego do niego natężenia przepływu i pomierzonych strat hydraulicznych na długości, w przypadkach kiedy pomiar fizyczny deformacji nie jest możliwy.

Słowa kluczowe: straty hydrauliczne, modelowanie CFD, odkształcenia przekroju przewodu, współczynnik oporów liniowych

1. Wprowadzenie

W przewodach kołowych układanych w gruncie w wyniku jego oddziaływania oraz zmian obciążenia w ośrodku gruntowym wynikających z nowo powstałych budowli, zmian poziomu wód gruntowych, zwiększenia osiadanie gruntu (wpływy górnicze) oraz obciążeń dodatkowych (np. ruch kołowy) (rys. 1) dochodzi do deformacji, powodującej owalizację albo wyboczenie przewodu w przekroju poprzecznym lub ugięcie w przekroju podłużnym [5]. W niniejszym artykule analizie pod względem hydraulicznym poddano przewody odkształcone w przekroju poprzecznym. Ugięciom rur towarzyszy występowanie odkształceń w ściance rur w kierunku obwodowym powodujących owalizację przekroju (odkształcenie eliptyczne). Pod wpływem zewnętrznego ciśnienia gruntu powstają siły ściskające działające obwodowo na ściankę rury. Jeżeli siły te są duże, mogą spowodować uszkodzenie ścianki rury. Oddziaływanie to jest połączonym działaniem dużego ciśnienia zewnętrznego (lub podciśnienia) i sztywności rury. W przypadku rur o niskiej sztywności występuje ryzyko wyboczenia. Ułożenie przewodu w zagęszczonym gruncie znacznie zwiększa jego odporność na wyboczenie. W przekroju poprzecznym wówczas występują one w formie drobnych fal. Natomiast, gdy otaczający grunt jest luźny, odporność na odkształcenia jest mniejsza i wyboczenie występować będzie w kształcie mniej lub bardziej eliptycznym [8]. Rodzaje spotykanych wyboczeń przewodów przedstawiono na rys.2.

Rozkład obciążeń rurociągu i jego deformację w płaskim stanie odkształceń wyznaczyć można według metody skandynawskiej [7]. Zjawisko to dotyczy wszystkich przewodów bez względu na materiał, z jakiego są wykonane, jednak najbardziej podatnymi na odkształcenia są przewody z tworzyw sztucznych (PVC, PE i PP) w terminologii inżynierskiej nazywane przewodami elastycznymi.

Przewody ułożone w gruncie można podzielić ze względu na dopuszczalne odkształcenie względne ścianek na: sztywne, półsztywne, elastyczne. Podział taki zawierają również normy [10], [11] odnośnie wymagań dla materiałów stosowanych w systemach kanalizacyjnych. Zmiany w przekroju poprzecznym przewodu kołowego powodują również zmianę warunków hydraulicznych przepływu [6], [12], [13].

Rys. 1. Zmiany odkształcenia przewodu kołowego w czasie eksploatacji, opracowano na podstawie [4]

Fig. 1. Changes of deformation circular pipe during exploitation, on the basis of [4]

Rys. 2. Rodzaje wyboczeń przewodu kołowego, opracowano na podstawie [4]. a) kształt serca, b) kształt dzwonu; c) czworokątny; d) eliptyczny – niesymetryczny; e) trójkątny

Fig. 2. Buckling types of the circular pipe, on the basis of [4]. a) heart shape, b) bell shape, c) quadrangular d) elliptical - asymmetric, e) triangular

W artykule przeanalizowano kształtowanie się strat ciśnienia na długości przewodu dla różnych stopni odkształcenia przekroju. Badaniom poddano przewody kołowe o odkształceniu eliptycznym w przekroju poprzecznym.

2. Metodyka i zakres obliczeń

Obliczenia numeryczne strat energii/ciśnienia w przewodach o różnym stopniu odkształcenia przekroju kołowego wykonano za pomocą pakietu FLUENT firmy ANSYS. Analizie poddano trzy przewody o średnicach $D=0,30\text{m}$, $D=0,15\text{m}$, $D=0,10\text{m}$. Przyjęto stałą wysokość chropowatości $k=0,0016\text{m}$. Dla każdej średnicy przyjęto inną długość przewodu L w celu uzyskania jednakowej relatywnej długości przewodu $L/D=70$ dającej możliwość analizowania parametrów struktury strumienia o tym samym stopniu rozwinięcia (rys. 3). Dla trzech analizowanych średnic w przypadku zerowego stopnia odkształcenia prędkość średnia wynosiła $2,48\text{ m/s}$. Dla przewodów odkształconych prędkość na wlocie była korygowana w związku ze zmianą pola przepływu tak,

aby uzyskać wydatek taki jak w przewodzie nieodkształconym. Podstawowe parametry geometryczne badanych przewodów i warunki hydrauliczne przedstawiono w tabeli 1. Liczba Reynoldsa dla badanych średnic (nieodkształconych) zawierała się w przedziale od 19000 do 57000. Badane warunki przepływu znajdowały się w strefie ruchu burzliwego. Dla każdego z przewodów przeanalizowano opory liniowe przy stopniu odkształcenia wynoszącym 0%, 5%, 10%, 25%, 35%, 50% (rys. 4). Odkształcenie przewodu zdefiniowano jako: $s/D \cdot 100$ [%], gdzie s jest wysokością odkształcenia (ugięcie w przekroju poprzecznym odkształconej rury), a D średnicą wewnętrzną przewodu nieodkształconego (rys. 4).

Rys. 3. Długości analizowanych przewodów

Fig. 3. Length of analyzed pipes

Rys. 4. Analizowane odkształcenia eliptyczne. a) stopnie odkształcenia, b) definicja odkształcenia

Fig. 4. Types of deformation of the circular pipe

Tab. 1. Parametry badanych przewodów

Tab. 1. Parameters investigated pipes

D	L	k	V	k/D	L/D
[m]	[m]	[m]	[m/s]	[-]	[-]
0,10	7,0	0,0016	2,48	0,016	70
0,15	10,5	0,0016	2,48	0,011	70
0,30	21,0	0,0016	2,48	0,005	70

Przyjęty w badaniach obliczeniowy model CFD zweryfikowany został dla przewodów kołowych nieodkształconych w pracach [12] oraz [6]. Obliczenia realizowano na modelu 3D dla warunków ustalonych w czasie. Podstawę metody CFD (Computational Fluid Dynamics) stanowią równania różniczkowe będące matematycznym zapisem praw zachowania masy, pędu i energii. Niezależnie od rodzaju ruchu płynu (laminarny czy turbulentny) rozwiązywane są równania ciągłości przepływu (1) oraz równanie pędu (2) [2]:

$$\frac{\partial}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

gdzie:

ρ - gęstość płynu,

$\vec{v}$ - prędkość średnia płynu,

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla (\rho \vec{v}) = -\nabla p + \nabla (\vec{T}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

gdzie:

p - ciśnienie hydrostatyczne,

$\rho \vec{g}$ - siły masowe,

$\vec{F}$ - siły powierzchniowe,

$\vec{T}$ - tensor naprężeń (opisany poniżej),

$$\vec{T} = \mu \left[\left(\nabla \vec{v} + \nabla^T \vec{v} \right) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} \mathbf{I} \right]$$

μ - lepkość dynamiczna,

$\mathbf{I}$ - macierz jednostkowa.

Dodatkowo w przypadku występowania przepływu turbulentnego, rozwiązywane jest równanie transportu. W wyniku analizy dostępnych modeli turbulentnych proponowanych w programie FLUENT przyjęto model k- ϵ standard. Modele należące do grupy k- ϵ są półempirycznymi modelami dwurównaniowymi, bazującymi na różniczkowych równaniach opisujących transport kinetycznej energii turbulentnej k oraz jej dyssypację ϵ . Równania te zostały wyprowadzone przy założeniu izotropowości turbulencji. Założenie to eliminuje możliwość zastosowania w/w modeli, bez zastosowania dodatkowych zależności dla przepływów przyściennych. Warunki brzegowe zdefiniowano na wlocie poprzez zadanie prędkości o stałej wartości w całym przekroju (velocity-inlet), ścianki przewodu zdefiniowano jako materiał o stałej wysokości szorstkości (wall), a wylot jako wypływ ciśnieniowy (pressure-outlet).

W celu uzyskania jednakowej dokładności obliczeń dla badanych przewodów zastosowano tę samą gęstość siatki obliczeniowej dla wszystkich badanych przypadków. Ustaloną gęstość siatki w przekroju poprzecznym jak i podłużnym

przyjęto na podstawie analiz przeprowadzonych w pracy [12]. Przyjęte schematy dyskretyzacji w przekroju poprzecznym przedstawiono na rys. 5.

Rys. 5. Przyjęte schematy dyskretyzacji dla analizowanych stopni odkształceń przewodu

Fig. 5. Discretization schemes deformed pipes

Z uzyskanych wysokości strat ciśnienia na długości przewodu w założonych przekrojach obliczono współczynniki oporów liniowych na podstawie zależności (3) [3]:

$$\lambda = \frac{dp}{dx} \cdot \frac{4R_h}{q} \quad [-] \quad (3)$$

gdzie:

$$\frac{dp}{dx} - \text{spadek ciśnienia na długości } x - \frac{(p_1 - p_2)}{x} \quad [\text{Pa/m}],$$

$$q = \rho \cdot \frac{v^2}{2g},$$

ρ - gęstość wody.

Obliczone wartości współczynników oporów liniowych na podstawie danych uzyskanych z modelu porównano z wartościami współczynnika oporów liniowych obliczonymi wzorem Colebrooka - White'a [3] [14]:

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \lg \left(\frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3.71 \cdot 4R_h} \right) \quad (4)$$

gdzie:

R_h - promień hydrauliczny [m],

Re - liczba Reynoldsa [-],

k - wysokość chropowatości [m].

Jednostkowe straty ciśnienia na długości przewodu obliczono z formuły Darcy-Weisbacha [3, 14]:

$$\Delta h = \lambda \cdot \frac{x}{4R_h} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

gdzie:

v - średnia prędkość przepływu w przewodzie zdefiniowana jako iloraz natężenia przepływu do pola powierzchni przepływu [m/s].

Do oceny zgodności wartości uzyskanych z modelu numerycznego z wynikami obliczeń według wzorów empirycznych zastosowano trzy najczęściej stosowane w praktyce miary statystyczne [1], a mianowicie:

- względny średniokwadratowy błąd resztowy WBR:

$$WBR = \frac{1}{y_p} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{p,i} - y_{m,i})^2} \quad (6)$$

- stosunek wartości średnich (SWS):

$$SWS = \frac{\overline{y_m}}{\overline{y_p}} \quad (7)$$

gdzie:

$\overline{y_m}, \overline{y_p}$ - średnia arytmetyczna, odpowiednio wyników uzyskanych z modelu (m) i z równania (p),

- współczynnik korelacji R^2 :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{p,i} - \overline{y_p})(y_{m,i} - \overline{y_m})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{p,i} - \overline{y_p})^2 \sum_{i=1}^n (y_{m,i} - \overline{y_m})^2}} \quad (8)$$

3. Wyniki i ich analiza

W wyniku odkształcenia przekroju przewodów zmieniają się podstawowe parametry decydujące o oporach przepływu: wzrasta średnia prędkość, maleje pole powierzchni przepływu oraz promień hydrauliczny przy zachowaniu stałego obwodu zwilżonego. Zmianę wartości parametrów w zależności od stopnia odkształcenia przekroju przewodu przedstawiono na rys. 6. Na rys.7 przedstawiono rozkłady prędkości przepływu w przekroju poprzecznym przewodu o różnym stopniu odkształcenia s/D , tzn. w zakresie od 0 do 50%. Zróżnicowanie wartości prędkości w przekroju wzrasta wraz ze stopniem odkształcenia przewodu. Wysokość liniowych strat hydraulicznych z modelu numerycznego określono w modułach jednometrowych na odcinku o długości $20D$, gdzie D oznacza średnicę przewodu.

Rys. 6. Zmienność wartości parametrów hydraulicznych przewodu ze wzrostem odkształcenia

Fig. 6. Variability of hydraulic parameters with increasing deformation

Rys. 7. Rozkłady prędkości w przekroju przewodu kołowego o różnym stopniu odkształcenia

Fig. 7. The velocity distributions in deformed pipes

Wynikało to z faktu występowania zaburzeń w strukturze przepływu na wlocie i wylocie z modelu. Wpływ tych zaburzeń na wysokość jednostkowych liniowych strat hydraulicznych Δh_{1m} , tzn. na odcinku przewodu o długości 1m przedstawiono na rys. 8. Są to wyniki obliczeń numerycznych wysokości strat liniowych w przewodzie nieodkształconym ($s/D=0$). Uzyskane z modelu wysokości jednostkowych strat ciśnienia Δh_{1m} (straty na jednym metrze długości przewodu), przeliczone na jednostkę długości (cm) w zależności od stopnia odkształcenia przewodu przedstawiono na rys. 9.

Rys. 8. Zmienność strat na długości przewodu kołowego uzyskanych z modelu CFD

Fig. 8. Variability of losses at a pipe length obtained from CFD model

Widoczny jest wzrost strat ciśnienia wraz ze wzrostem odkształcenia przewodu, przy czym przyrost ten jest bardziej dynamiczny po przekroczeniu około 20% stopnia odkształcenia.

Rys. 9. Zmienność wysokości liniowych jednostkowych strat hydraulicznych Δh_{1m} [cm] w zależności od stopnia odkształcenia przewodu s/D [%]Fig. 9. Variability of hydraulic losses Δh_{1m} [cm] depending on the deformation of pipe s/D [%]

Na podstawie wysokości strat Δh_{lm} uzyskanych z modelu numerycznego obliczono wartości współczynnika oporów liniowych λ wykorzystując równanie (4). Zmienność wartości tego współczynnika w zależności od stopnia odkształcenia przewodu przedstawiono na rys.10. Wyniki obliczeń wykazały wzrost wartości współczynnika λ wraz ze wzrostem stopnia odkształcenia przewodu.

Rys. 10. Zmienność współczynnika oporów liniowych λ w zakresie analizowanych odkształceń przewodu s/D

Fig. 10. Variability of friction factor λ in the range of analyzed pipe deformation s/D

Uzyskane z modelu numerycznego wysokości jednostkowych strat hydraulicznych Δh_{lm} oraz wartości współczynnika oporów liniowych λ przeanalizowano pod kątem ich przyrostu wyrażonego w procentach oraz porównano z wartościami obliczonymi wg. formuły Colebrooka-White'a (4) oraz Darcy-Weisbacha (5). Wartości Δh_{lm} i λ , uzyskane z modelu dla przewodów o zmiennym stopniu odkształcenia s/D odniesiono do wartości tych samych parametrów obliczonych dla przewodu kołowego nieodkształconego. Procentowy przyrost analizowanych parametrów wraz ze stopniem odkształcenia przewodów przedstawiono na rys. 11 i 12.

Wysokość jednostkowych strat liniowych Δh_{lm} wzrasta o około 20% w przypadku odkształcenia przewodu s/D wynoszącego 20-22% (rys.11). Dla większych odkształceń ($s/D > 20\%$) wzrost wysokości strat liniowych jest coraz bardziej znaczący.

Wysokości jednostkowych liniowych strat hydraulicznych uzyskane z modelu numerycznego i obliczone wzorem (4) były zbliżone, na co wskazuje wzajemne położenie punktów na wykresie (rys.11).

Procentowy przyrost wartości współczynnika λ wraz ze stopniem odkształcenia przewodu s/D przedstawiono na rys.12. Wyniki obliczeń wykazały, że kil-

kudzieścioprocentowy wzrost odkształcenia przewodu powoduje wzrost wartości współczynnika λ o kilka procent.

Rys. 11. Procentowy przyrost strat jednostkowych Δh_{1m} wraz ze wzrostem stopnia odkształcenia przewodu s/D

Fig. 11. The percentage increase unit losses Δh_{1m} with increasing deformation of pipe s/D

Rys. 12. Procentowy przyrost wartości współczynnika oporów liniowych λ wraz ze wzrostem stopnia odkształcenia przewodu s/D

Fig. 12. The percentage increase friction factor λ with increasing deformation of pipe s/D

Analiza zgodności modelu numerycznego z wynikami obliczeń strat jednostkowych obliczonych wzorami (4) i (5) wykazała ich dużą zgodność (rys. 13). Uzyskując wysoki współczynnik korelacji $R^2=0.995$ (model znakomity wg. [1]), względny średniokwadratowy błąd resztowy na poziomie 0,10 (model dobry wg. [1]) oraz stosunek wartości średnich równy 1,05 (model bardzo dobry wg. [1]).

Rys. 13. Porównanie wysokości strat Δh_{1m} uzyskanych z modelu CFD ze stratami obliczonymi wzorami (4) i (5) dla analizowanych średnic i stopni odkształcenia przewodu.

Fig. 13. Comparison of the height of losses Δh_{1m} from the model CFD with the losses calculated according to equations (4) and (5) for analyzed diameters and deformation of pipe.

Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej wyników modelowania numerycznego CFD i obliczeń z zastosowaniem wzorów empirycznych przy określaniu współczynnika oporów liniowych i strat jednostkowych w przewodach o różnym stopniu odkształcenia wynika, że wzory empiryczne (5) i (4) w odpowiedni sposób uwzględniają wzrost liniowych strat ciśnienia w przewodzie odkształconym. Odkształcenia przewodu uwzględniane jest w tych formułach za pomocą promienia hydraulicznego R_h .

4. Podsumowanie

W wyniku obliczeń modelem CFD FLUENT strat ciśnienia w przewodzie kołowym wynika, że straty nie rosną proporcjonalnie wraz ze stopniem odkształcenia przewodu. W analizowanych przypadkach przyrost strat jest bardziej znaczący po osiągnięciu około 20% stopnia odkształcenia. Procentowy przyrost strat w przewodzie o stopniu odkształcenia 50% względem przewodu nieod-

kształconego sięga 250%. Zasadne wydaje się stosowanie formuły Colebrooka - White'a (4) do wyznaczania współczynnika oporów liniowych λ oraz zależności Darcy-Weisbacha (5) do wyznaczenia jednostkowych straty ciśnienia na długości w odkształconych przewodach kołowych. Uzyskana wiedza może być wykorzystana do szacowania stopnia odkształcenia przewodu na podstawie wprowadzonego do niego natężenia przepływu i pomierzonych strat hydraulicznych na długości, w przypadkach kiedy pomiar fizyczny deformacji nie jest możliwy.

Literatura

- [1] Błażejowski R., Wstęp do badań empirycznych. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu 1999.
- [2] Fluent 12.1.: User Guide Fluent Inc 2010.
- [3] Idelchik., Handbook of Hydraulics Resistance 3 rd edition, CRC Press 1994.
- [4] Janson L.-E., Molin J. Projektowanie i wykonawstwo sieci zewnętrznych z tworzyw sztucznych, VBB consulting Ltd.
- [5] Kliszczewicz B., Współpraca wielkośrednicowych stalowych rurociągów z gruntem. Civil and Environmental Engineering 4 2013, s. 21-26.
- [6] Kubrak M., Kodura A., Numeryczna analiza warunków przepływu w przewodach wodociągowych z kablem telekomunikacyjnym. Ośrodek Informacji "Technika instalacyjna w budownictwie" Instal tom 12, 2013, s. 86-90.
- [7] Kulickowski A., Rury kanalizacyjne, T. II. Projektowanie konstrukcji. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004.
- [8] Madryas C., Kolonko A., Wysocki L., Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2002.
- [9] Moser A.P., Shupe O.K., Bishop R.R., Is PVC strain limited after all these years; Buried Plastics Pipes Technology ASTM STP 1093, 1990.
- [10] PN-EN 476:2001 Wymagania ogólne dotyczące elementów stosowanych w systemach kanalizacji grawitacyjnej.
- [11] PN-EN 805 Zaopatrzenie w wodę - Wymagania dotyczące zewnętrznych systemów i ich części składowych.
- [12] Siwicki P., Szelaż B., Zastosowania modelu CFD FLUENT do określania strat hydraulicznych w kołowych przewodach wodociągowych ze światłowodem. Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska 2010, z.4(50), s. 3-13.
- [13] Siwiec T., Kalenik M., Wichowski P., Morawski D., Analiza wpływu niekołowości przekroju rur PVC i PE na straty ciśnienia przy przepływie wody i ścieków. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2012 nr 10, s. 461-463.
- [14] Siwiec T., Wichowski P., Kalenik M., Morawski D., Analiza porównawcza wzorów na obliczanie współczynnika strat liniowych w rurociągach z tworzyw sztucznych przy przepływie wody i ścieków. Ośrodek Informacji "Technika instalacyjna w budownictwie" Instal tom 7/8, 2012, s. 52-57.

HEAD LOSSES IN PRESSURE DEFORMED CIRCULAR PIPES

Summary

The paper presents the results of analyzes of variability head losses over the length of the deformed pipe. The study was conducted in order to verify the legitimacy of the formula Colebrook - White for determining the friction factor λ in the deformed pipes. Deformation of pipes taken into account by introducing to formula Colebrook - White hydraulic radius in place of the pipe diameter. The legitimacy such a procedure decided to check using a numerical model. Calculations were made using the CFD FLUENT model. Were tested three pipe diameters. Each of the diameters were subjected to deformation. Losses of pressure determined for pipes with a degree of deformation to 50%. For each of the diameters with different degrees of deformation of the pipe was fed the same volume flow. The conducted numerical calculations show that in analyzed cases increase losses is more meaningful after reaching about 20% degree of deformation. The increase in losses in the pipe with a degree of deformation of 50% relative to the undeformed pipe reaches 250%. Obtained losses from a numerical model were compared with calculations from formula Colebrook - White and Darcy-Weisbach give a good agreement. Confirms this legitimacy of using these formulas for determining the friction factor λ and pressure loss on the length of the deformed elliptical circular pipes. The knowledge can be used to estimate the degree of deformation of the wire on the basis of incorporated therein measured flow volume and the length of the head losses, in cases where the measurement of physical deformation is not possible.

Keywords: head losses, CFD modeling, deformation of pipe, friction factor

Przesłano do redakcji: 30.05.2015 r.

Przyjęto do druku: 30.10.2015 r.

DOI: 10.7862/rb.2015.123