CZASOPISMO INŻYNIERII LĄDOWEJ, ŚRODOWISKA I ARCHITEKTURY
JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENT AND ARCHITECTURE
JCEEA, t. XXXI, z. 61 (4/14), październik-grudzień 2014, s. 251-262

Tomasz Janusz TELESZEWSKI[1]

WYZNACZANIE SKALARNYCH PARAMETRÓW PRZEPŁYWU LAMINARNEGO W PRZEWODACH PROSTOOSIOWYCH O PRZEKROJU WIELOKĄTA FOREMNEGO

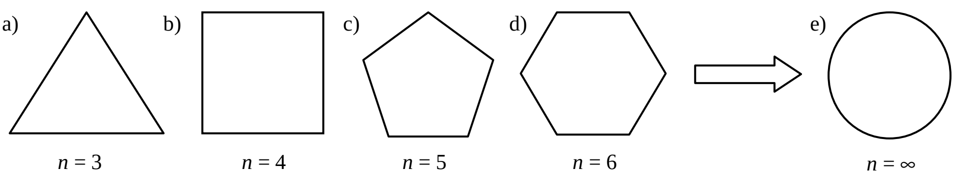
W wielu zagadnieniach inżynierii środowiska i budownictwa są stosowane przewody prostoosiowe o przekroju wielokąta foremnego, np. w wymiennikach płaszczowo-rurowych o różnych kształtach przekrojów rurek. Głównym parametrem opisującym przekroje wielokąta foremnego jest liczba boków lub wymiar kąta tworzącego wielokąt foremny. Podstawowymi wielkościami fizycznymi, które opisują izotermiczne przepływy w przewodach prostoliniowych, to średnia prędkość w przewodzie oraz naprężenia styczne na ściance przewodu. Głównymi wielkościami bezwymiarowymi opisującymi te przepływy są liczba Reynoldsa, współczynnik tarcia, liczba Poiseuille'a, współczynnik Coriolisa i współczynnik Boussinesqa. W literaturze współczynnik tarcia jest określany jako współczynnik Nikuradsego. Liczba Poiseuille'a jest to rezultat współczynnika tarcia i liczby Reynoldsa. Współczynnik Coriolisa określa stosunek rzeczywistego strumienia energii kinetycznej do strumienia obliczonego z prędkości średniej, natomiast współczynnik Boussinesqa koryguje pęd. W pracy wyznaczono zależności liczby Poiseuille'a, współczynnika Coriolisa i współczynnika Boussinesqa przy przepływie laminarnym w przewodach o przekroju wielokąta foremnego całkowicie wypełnionych płynem w zależności od liczby boków tworzących przekrój przewodu foremnego. Liczbę Poiseuille'a przybliżono funkcją wymierną, natomiast współczynnik Coriolisa i współczynnik Boussinesqa – funkcją potęgową. Symulacje wyznaczania pól prędkości przeprowadzono za pomocą autorskiego programu komputerowego napisanego w języku Fortran, w którym zastosowano metodę elementów brzegowych (MEB). MEB nie wymaga budowy pracochłonnych i przestrzennych siatek jak to ma miejsce w klasycznych metodach obszarowych. Rezultaty obliczeń MEB zostały porównane ze znanymi wynikami obliczeń w literaturze.

Słowa kluczowe: przewody prostoosiowe foremne, liczba Poiseuille'a, współczynnik Coriolisa, współczynnik Boussinesqa, MEB, obliczenia hydrauliczne

[1] Tomasz Janusz Teleszewski, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok, tel. 797 995 927, t.teleszewski@pb.edu.pl

1. Wprowadzenie

W licznych zagadnieniach przepływowych związanych z inżynierią środowiska i budownictwem są wykorzystywane przewody prostoosiowe o przekroju wielokąta foremnego [4, 10]. Przykładem zastosowania przewodów prostoosiowych są wymienniki płaszczowo-rurowe o różnych przekrojach rurek [11, 21]. Obecnie szczególnie rozwijane są mikrowymienniki zbudowane z prostoliniowych przewodów o różnych kształtach przekrojów poprzecznych [9, 13]. Wielokąty foremne mają równe wszystkie kąty wewnętrzne i wszystkie boki równej długości, dlatego też podstawowym parametrem geometrycznym przewodów foremnych jest wymiar kąta wewnętrznego lub liczba boków *n*. Na rysunku 1. przedstawiono przykładowe przekroje przewodów o przekroju wielokąta foremnego. Podstawowymi wielkościami skalarnymi opisującymi izotermiczne przepływy laminarne są: liczba Poiseuille'a, współczynnik Coriolisa i współczynnik Boussinesqa. Wielkości te dla przewodów o przekrojach różnych od kołowego można wyznaczyć eksperymentalnie lub numerycznie.



Rys. 1. Przykładowe przekroje przewodów prostoosiowych o przekroju wielokąta foremnego w zależności od liczby boków *n*: a) trójkąt równoboczny, b) kwadrat, c) pięciokąt foremny, d) sześciokąt foremny, e) okrąg

Fig. 1. Regular polygons with different number of sides *n*: a) equilateral triangle, b) square, c) pentagon, d) hexagon, e) circle

Liczba Poiseuille'a jako iloczyn współczynnika tarcia i liczby Reynoldsa jest opisana następującym wzorem [20]:

$$\mathrm{Po} = \lambda \frac{\mathrm{Re}}{4} \tag{1}$$

gdzie: Re – liczba Reynoldsa,
λ – współczynnik Nikuradsego.

Współczynnik tarcia jest wyznaczany ze wzoru [20]:

$$\lambda = \frac{8\tau_w}{\rho v_{sr}^2} \tag{2}$$

gdzie: τ_w – naprężenie styczne na ściance przewodu prostoosiowego,
v_{sr} – średnia prędkość w przewodzie.

Liczba Reynoldsa jest opisana następującym wzorem:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \mathrm{v}_{sr} D_h}{\mu} \tag{3}$$

$$D_h = \frac{4A}{L} \tag{4}$$

gdzie: D_h – średnica hydrauliczna,
A – pole przekroju przewodu,
L – obwód przekroju porzecznego przewodu,
μ – współczynnik lepkości dynamicznej,
ρ – gęstość płynu.

Liczba Poiseuille'a może być opisana zależnością [19]:

$$\mathrm{Po} = \frac{D_h^2 \dfrac{dp}{dz}}{2\mu \mathrm{v}_{sr}} \tag{5}$$

gdzie dp/dz jest gradientem ciśnienia w przewodzie.

Współczynnik Coriolisa wyznacza się ze wzoru [6]:

$$\alpha = \frac{\int_A v_z^3 dA}{A v_{sr}^3} \tag{6}$$

Współczynnik Boussineqa korygujący pęd w obliczeniach hydraulicznych wyraża wzór [4]:

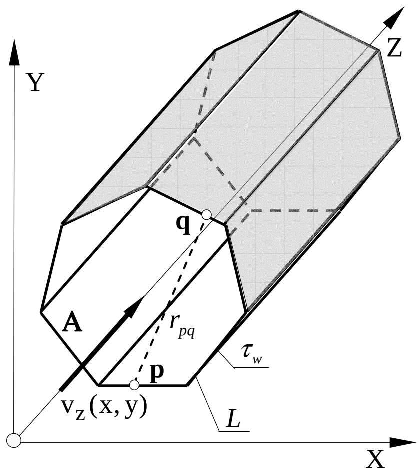
$$\beta = \frac{\int_A v_z^2 dA}{A v_{sr}^2} \tag{7}$$

Do wyznaczenia prędkości średniej w przewodzie prostoliniowym niezbędna jest znajomość pola prędkości. Ustalony przepływ laminarny w przewodach prostoosiowych można opisać modelem przepływu jednokierunkowego ($v_x = 0$, $v_y = 0$) [1] (rys. 2.):

$$\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} = G \tag{8a}$$

gdzie:

$$G = -\frac{1}{\mu}\frac{dp}{dz} \tag{8b}$$



Rys. 2. Szkic do analizy zagadnienia brzegowego w obszarze płaskim – laminarny przepływ przez przewód prostoliniowy

Fig. 2. Sketch to consideration of boundary conditions in fully developed arbitrary duct flow

Po wykonaniu dekompozycji prędkości v_z na składową prędkości przepływu niezakłóconego V_∞ i składową prędkości przepływu wzbudzonego v_w ściankami przewodu równanie (8a) zredukuje się do równania Laplace'a [2, 12, 17]:

$$\frac{\partial^2 v_w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_w}{\partial y^2} = G \tag{9}$$

Zakładając, że prędkość na ściance przewodu jest równa zeru, to warunek brzegowy na obwodzie L został opisany następującą zależnością:

$$v_w(q) = -v_\infty; \; q \in L \tag{10}$$

W przyjętym algorytmie MEB równanie Laplace'a (9) jest rozwiązywane z warunkiem brzegowym (10). Następnie po wyznaczeniu prędkości przepływu wzbudzonego v_w pole prędkości v_z jest obliczane z zależności:

$$v_z = v_\infty + v_w \tag{11a}$$

gdzie

$$v_\infty = -\frac{1}{4\mu}\frac{dp}{dz}(x_q^2 + y_q^2) \tag{11b}$$

Przykład zastosowania algorytmu MEB do wyznaczania współczynnika Coriolisa w przewodach prostoosiowych o przekroju prostokąta znajduje się w pracy [15], przykład współczynnika Boussineqa w przewodach prostokątnych – w pracy [16].

2. Algorytm metody elementów brzegowych wyznaczania pól prędkości w przewodach prostoosiowych przepływu laminarnego niezależnie od kształtu przekroju przewodu

Rozwiązaniem równania różniczkowego (9) jest następujące równanie całkowe [2, 12, 17]:

$$\frac{1}{2}v_w(\mathbf{p}) + \int_{(L)} \frac{\partial v_w(\mathbf{q})}{\partial n} K(\mathbf{p},\mathbf{q}) dL_{\mathbf{q}} = \int_{(L)} v_w(\mathbf{q}) E(\mathbf{p},\mathbf{q}) dL_{\mathbf{q}} \tag{12a}$$

gdzie

$$K(\mathbf{p},\mathbf{q}) = \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{1}{r_{\mathbf{pq}}}\right); \; r_{\mathbf{pq}} = |\mathbf{p}-\mathbf{q}|; \quad (\mathbf{p}) \in L, \; (\mathbf{q}) \in L \tag{12b}$$

$$E(\mathbf{p},\mathbf{q}) = \frac{1}{2\pi} \frac{(x_{\mathbf{p}} - x_{\mathbf{q}})n_x + (y_{\mathbf{p}} - y_{\mathbf{q}})n_y}{r_{\mathbf{pq}}^2}; \quad (\mathbf{p}) \in L, \; (\mathbf{q}) \in L \tag{12c}$$

n_x oraz n_y są to wersory normalnej do brzegu (L).

Po wyznaczeniu $\partial v_w(\mathbf{q})/\partial n$ naprężenia styczne na brzegu L określa się z zależności:

$$\tau_w(\mathbf{q}) = \mu \frac{\partial v_z(\mathbf{q})}{\partial n} = \mu \frac{\partial v_w(\mathbf{q})}{\partial n} + \mu \frac{\partial v_\infty(\mathbf{q})}{\partial n}; \quad (\mathbf{q}) \in L \tag{13a}$$

$$\tau_w = \frac{1}{L} \int_P \tau_w(\mathbf{q}) dL_{\mathbf{q}}; \quad (\mathbf{q}) \in L \tag{13b}$$

Prędkość v_z w dowolnym punkcie przekroju przewodu (A) wyznacza się ze związku całkowego:

$$v_z(\mathbf{p}) = -\int_{(L)} \frac{\partial v_w(\mathbf{q})}{\partial n} K(\mathbf{p},\mathbf{q}) dL_{\mathbf{q}} + \int_{(L)} v_w(\mathbf{q}) E(\mathbf{p},\mathbf{q}) dL_{\mathbf{q}} + v_\infty(\mathbf{p}), \; (\mathbf{p}) \in A, \; (\mathbf{q}) \in L \tag{14}$$

Objętościowy strumień przepływu hydraulicznego przez przewód o przekroju poprzecznym (A) całkowicie wypełniony cieczą jest równy:

$$Q = \iint\limits_{(\mathrm{A})} v_z(\mathbf{q})d\mathrm{A} \tag{15}$$

Całki (12b), (12c) zostały rozwiązane numerycznie metodą kwadratur Gaussa [7] dla sześciu kwadratur Gaussa.

3. Wyznaczenie skalarnych parametrów opisujących przepływy laminarne w przewodach prostoosiowych o przekroju wielokąta foremnego

Wykonano szereg symulacji MEB w przewodach prostoosiowych o przekroju wielokąta foremnego dla zadanej liczby boków od 3 do 30 oraz dla przewodu okrągłego. W pierwszej kolejności wyznaczono pola prędkości, a następnie na podstawie przyjętych siatek – wskaźniki opisujące przepływy laminarne w przewodach prostoosiowych. W celu wykonania dokładnych obliczeń na brzegu założono 5000 elementów oraz siatkę 500 x 500. Weryfikując wyniki obliczeń, porównano je z rozwiązaniami znanymi w literaturze [5, 8, 14]. Błąd wyznaczonych wielkości (Po, α, β) obliczono ze wzoru:

$$\delta f_{\mathrm{MEB}} = \left| \frac{f_{\mathrm{T}} - f_{\mathrm{MEB}}}{f_{\mathrm{T}}} \right| \cdot 100\% \tag{16}$$

gdzie: f_T – wielkości cytowane z literatury [5, 8, 14],
f_{MEB} – wielkości wyznaczone metodą elementów brzegowych.

Rezultatem symulacji komputerowych są wzory określające wielkości skalarne opisujące przepływy laminarne w przewodach prostoosiowych w zależności od liczby boków wielokąta foremnego tworzącego przekrój przewodu prostoosiowego. Po wykonaniu aproksymacji wyników liczby Poiseuille'a dla różnych wielokątów otrzymano następującą zależność liczby Po od liczby boków n wielokąta foremnego:

$$Po = f(\mathrm{n}) = 16{,}000 - \frac{0{,}910}{n} - \frac{35{,}894}{n^2} + \frac{43{,}788}{n^3} \tag{17}$$

W podobny sposób wyznaczono zależność współczynnika Coriolisa od liczby boków:

$$\alpha = f(n) = \frac{1}{0{,}1485 n^{2.718}} + 2{,}000 \tag{18}$$

Współczynnik Boussinesqa jest opisany zależnością:

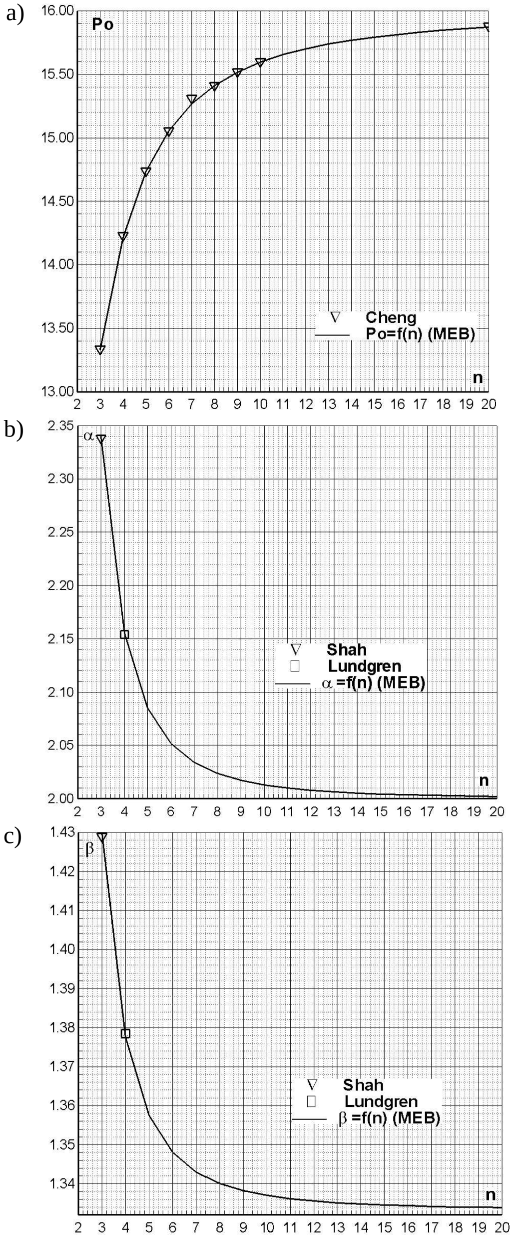
$$\beta = f(n) = \frac{1}{0{,}5220 n^{2.718}} + 1{,}333 \tag{19}$$

W tabeli 1. przedstawiono rezultaty obliczeń liczby Poiseuille'a ze wzoru (17) oraz porównano je ze znanymi rozwiązaniami [5]. Porównanie graficzne wyników wzoru (17) przedstawia rys. 3a. Maksymalny błąd liczby Poiseuille'a w stosunku do znanych rozwiązań wyniósł 0,3%. W tabeli 1. zaprezentowano również rezultaty obliczeń współczynnika Coriolisa (18) i Boussinesqa (19), które również porównano z danymi [8, 14]. Rysunek 3b przedstawia funkcje (18) wraz z rezultatami obliczeń współczynnika Coriolisa z pracy [8, 14]. Wzór (18) może być użyty do prognozowania współczynnika Coriolisa z maksymalnym błędem 0,10%. Maksymalny błąd współczynnika Boussinesqa w stosunku do znanych wartości [8, 14] wynosi 0,10%. Na rysunku 3c przedstawiono graficzne wyniki porównania funkcji (19) z danymi [8, 14].

Tabela 1. Liczba Poiseuille'a, współczynnik Coriolisa, współczynnik Boussinesqa w przewodach o przekroju wielokąta foremnego przy przepływie laminarnym – błąd rozwiązania metody elementów brzegowych

Table 1. Poiseuille number, Coriolis coefficient, Boussinesq coefficient in fully developed regular polygonal duct flow – error analysis applied in boundary element method (BEM)

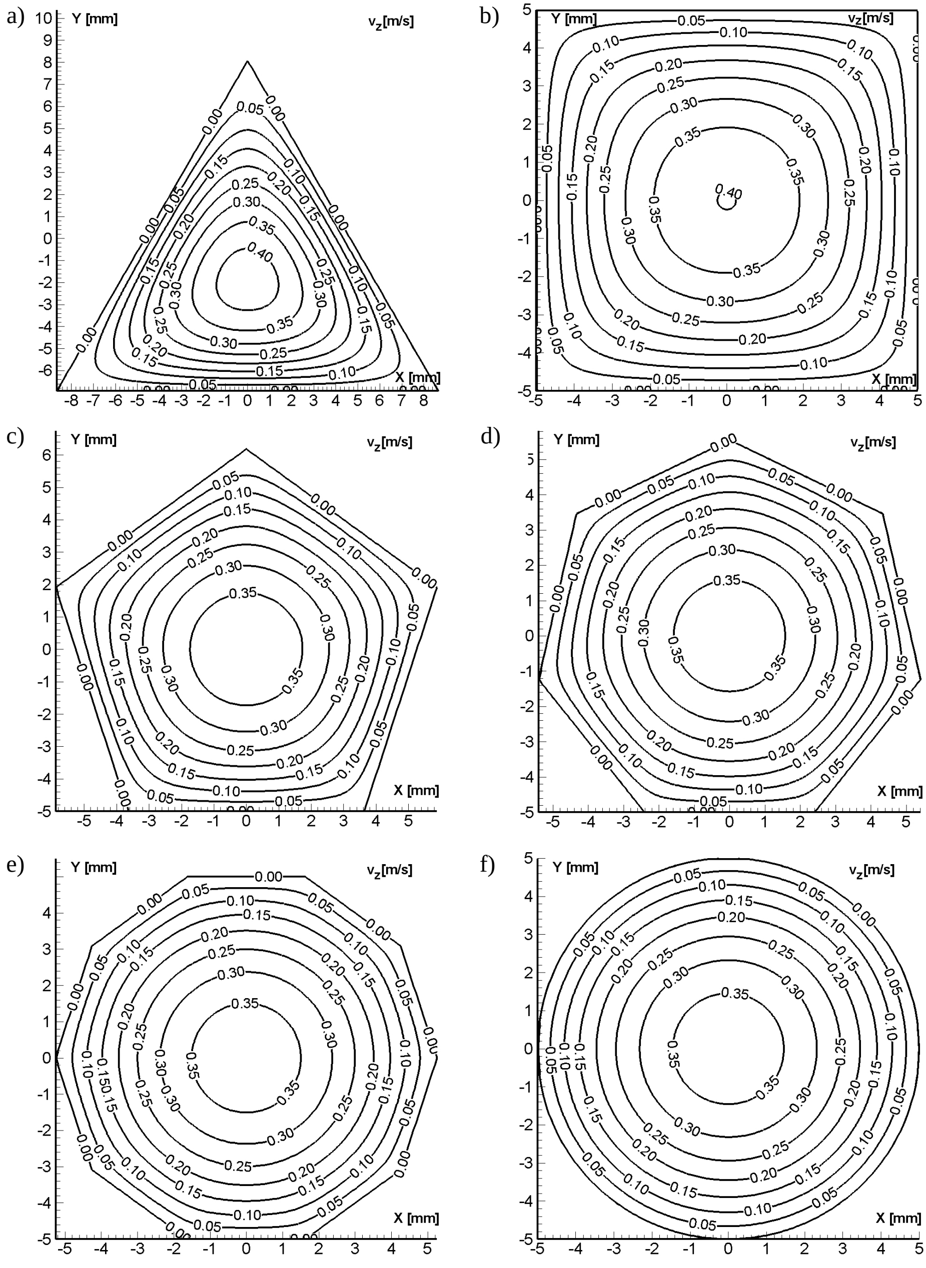
n	**Po [Cheng]**	**Po [MEB]**	**δPo [MEB]**	**α [Shah] n = 3 [Lundgren] n = 4**	**α [MEB]**	**δα [MEB]**	**β [Shah] n = 3 [Lundgren] n = 4**	**β [MEB]**	**δβ [MEB]**
-	-	-	[%]	-	-	[%]	-	-	[%]
3	13,333	13,3302	0,021	2,338	2,3400	0,085	1,429	1,4300	0,071
4	14,227	14,2133	0,096	2,1541	2,1556	0,067	1,3785	1,3776	0,069
5	14,737	14,7325	0,030	-	2,0848	-	-	1,3574	-
6	15,054	15,0540	0,000	-	2,0517	-	-	1,3480	-
7	15,310	15,2651	0,293	-	2,0340	-	-	1,3430	-
8	15,412	15,4109	0,007	-	2,0236	-	-	1,3400	-
9	15,520	15,5158	0,027	-	2,0172	-	-	1,3382	-
10	15,600	15,5938	0,039	-	2,0129	-	-	1,3370	-
11	-	15,6535	-	-	2,0099	-	-	1,3361	-
12	-	15,7002	-	-	2,0079	-	-	1,3355	-
13	-	15,7375	-	-	2,0063	-	-	1,3351	-
14	-	15,7678	-	-	2,0052	-	-	1,3348	-
15	-	15,7928	-	-	2,0043	-	-	1,3345	-
20	15,880	15,8702	0,061	-	2,0020	-	-	1,3339	-
25	-	15,9090	-	-	2,0011	-	-	1,3336	-
30	-	15,9314	-	-	2,0007	-	-	1,3335	-
1,E+50	16,000	16,0000	0,000	2,0000	2,0000	0,000	1,3333	1,3333	0,000



Rys. 3. Graficzne porównanie wyprowadzonych funkcji (17)-(19) z rezultatami badań numerycznych [5, 8, 14]: a) liczba Poiseuille'a, b) współczynnik Coriolisa, c) współczynnik Boussinesqa

Fig. 3. Compare results (17)-(19) with solution [5, 8, 14]: a) Poiseuille number, b) Coriolis coefficient, c) Boussinesq coefficient

Na rysunku 4. wykreślono izotachy dla przewodów o przekroju: trójkąta równobocznego (rys. 4a), kwadratu (rys. 4b), pięciokąta foremnego (rys. 4c), siedmiokąta foremnego (rys. 4d), dziesięciokąta foremnego (rys. 4e) i okręgu (rys. 4f). Do obliczeń przyjęto przepływ glikolu etylenowego (μ = 0,021329 Pa s, ρ = 1115,6 kg/m^3, D_h = 0,01 m, Re = 100). Wszystkie obliczenia wykonano metodą elementów brzegowych.



Rys. 4. Przykładowe pola prędkości wyznaczone MEB w przewodach o przekroju wielokąta foremnego (glikol etylenowy, Re = 100, D_h = 0,01): a) trójkąt równoboczny, b) kwadrat, c) pięciokąt foremny, d) siedmiokąt foremny, e) dziesięciokąt foremny, f) okrąg

Fig. 4. Velocity field in Flow in regular polygonal ducts duct (ethylene glycol, Re = 100, D_h = 0.01): BEM solution: a) equilateral triangle, b) square, c) pentagon, d) heptagon, e) decagon, f) circle

4. Wnioski

W pracy wyznaczono podstawowe wielkości jednoliczbowe opisujące przepływy laminarne w przewodach prostoosiowych o przekroju wielokąta foremnego z zastosowaniem metody elementów brzegowych. W celu wykonania aproksymacji wyników liczby Poiseuille'a, współczynnika Coriolisa oraz współczynnika Boussinesqa w zależności od liczby boków tworzących przekrój przewodu foremnego przeprowadzono szereg symulacji w zakresie od 3 do 30 boków wielokąta foremnego oraz dla okręgu. Zależność liczby Poiseuille'a od liczby boków *n* można przybliżyć funkcją wymierną, natomiast w przypadku współczynnika Coriolisa i współczynnika Boussinesqa z wystarczającą dokładnością można ją wykonać, aproksymując otrzymane wyniki funkcją potęgową. Wraz ze wzrostem liczby boków wielokąta foremnego tworzącego przekrój przewodu wartość liczby Poiseuille'a rośnie i osiąga swoje maksimum równe 16. Wzrost liczby boków wielokąta foremnego powoduje zmniejszenie wartości współczynnika Coriolisa i Boussinesqa do $\alpha_{min} = 2{,}0$ i $\beta_{min} = 1{,}33$. Wyznaczone zależności liczby Poiseuille'a, współczynnika Coriolisa i współczynnika Boussinesqa od liczby ścianek wielokąta foremnego mogą być zastosowane również w mikrokanałach, gdzie przepływy są zgodne z makroprzepływami [3].

Zasadniczą zaletą zastosowanej metody elementów brzegowych jest eliminacja czasochłonnych przestrzennych siatek stosowanych w klasycznych metodach obszarowych, takich jak metoda elementów skończonych [22] czy metoda objętości skończonych [18].

Klasyczne metody siatkowe stosowane w symulacjach przepływowych są najczęściej implementowane w drogich komercyjnych programach komputerowych. Prezentowany algorytm MEB może być stosowany w autorskich aplikacjach obliczeniowych zarówno do celów inżynierskich, jak i naukowych.

Literatura

[1] Batchelor G.K.: An introduction to fluid dynamics. Cambridge Univ. Press, 2000.

[2] Brebbia C.A., Telles J.F.C., Wrobel L.C.: Boundary element techniques. Theory and Applications in Engineering, Springer-Verlag, New York 1984.

[3] Celata G.P., Cumo M., McPhail S., Zummo G.: Characterization of fluid dynamic behaviour and channel wall effects in microtube. International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 27, issue 1, 2006, pp. 135-143.

[4] Chadwick A., Morfett J., Borthwick M.: Hydraulics in civil and environmental engineering, 5th ed. Spon Press, 2012.

[5] Cheng K.C.: Laminar flow and heat transfer characteristics in regular polygonal ducts. Proc. of 3rd Int. Heat Transfer Conf. AIChE, New York, 1966, pp. 64-76.

[6] Czetwertyński E., Utrysko B.: Hydraulika i hydromechanika. Warszawa 1969.

[7] Flannery B.P., Metcalf M., Teukolsky S.A., Press W.H., Vetterling W.T.: Numerical Recipes in Fortran 90, 2nd ed. Cambridge University Press, 1996.

[8] Lundgren T.S., Sparrow E.M., Starr J.B.: Pressure drop due to the entrance region in ducts of arbitrary cross section. Journal of Fluids Engineering, vol. 86 (3), 1964.

[9] Mohammadian S.K., Seyf H.R., Zhang Y.: Performance augmentation and optimization of aluminum oxide-water nanofluid flow in a two-fluid microchannel heat exchanger. Journal of Heat Transfer, vol. 136, issue 2, 2013.

[10] Nalluri C., Marriott M.: Civil engineering hydraulics, 5th ed. John Wiley and Sons, 2009.

[11] Onishi H., Yonekura H., Tada Y., Takimoto A.: Heat transfer performance of finless flat tube heat exchanger with vortex generator. 14th International Heat Transfer Conference, vol. 4. ASME, Washington 2010, pp. 799-807.

[12] Pozrikidis C.: Boundary integral and singularity methods for linearized viscous flows. Cambridge University Press, New York 1991.

[13] Sadasivam R., Manglik R.M., Jog M.A.: Fully developed forced convection through trapezoidal and hexagonal ducts. International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 42, issue 23, 1999, pp. 4321-4331.

[14] Shah R.K.: Laminar flow friction and forced convection heat transfer in ducts of arbitrary geometry. International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 18(7-8), 1975, pp. 849-862.

[15] Teleszewski T.J.: Algorytm wyznaczania współczynnika Coriolisa przepływów laminarnych w kanałach prostokątnych metodą elementów brzegowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Budownictwo i Inżynieria Środowiska 283, nr 3, 2011, s. 124-132.

[16] Teleszewski T.J., Sorko S.A.: Wyznaczanie współczynnika Boussinesqa w przepływie laminarnym w prostoosiowych przewodach o dowolnym kształcie przekroju poprzecznego metodą elementów brzegowych. Symulacja w Badaniach i Rozwoju, vol. 3, nr 2, 2012, s.115-128.

[17] Teleszewski T.J., Sorko S.A.: Zastosowanie metody elementów brzegowych do wyznaczania jednokierunkowego przepływu w przewodach prostoosiowych o dowolnym kształcie przekroju poprzecznego. Acta Mechanica et Automatica, vol. 5, nr 3, 2011, s.124-132.

[18] Versteeg H., Malalasekra W.: An introduction to computational fluid dynamics: The Finite Volume Method. Prentice Hall, 2007.

[19] Wang C.Y.: Benchmark solutions for slip flow and H1 heat transfer in rectangular and equilateral triangular ducts. Journal of Heat Transfer, no 135 (2), 2012.

[20] White F.M.: Viscous fluid flow, 3rd ed. McGraw-Hill Mechanical Engineering, 2005.

[21] Yu J., Xia W., Feng X.: Numerical simulation and experimental validation of flow and heat transfer in flat-tube heat exchangers. Thermal Engineering Heat Transfer Summer Conference, vol. 1. ASME, Vancouver 2007, pp. 539-546.

[22] Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Nithiarasu P.: Finite Element Method for fluid dynamics, 6th ed. Butterworth Heinemann, 2005.

THE SOLUTION OF DIMENSIONLESS GROUPS TO THE LAMINAR FLOW THROUGH STRAIGHT REGULAR POLYGONAL DUCTS

S u m m a r y

For the fully developed laminar flow in a regular polygonal ducts are used in a lot of problems in environmental engineering and civil engineering. The regular polygon is a polygon that is equiangular (all angles are equal in measure) and equilateral (all sides have the same length). Fluid average axial velocity and wall shear stress are two important physical quantities. The principal dimensionless group are described by a Reynolds number, friction factor, Poiseuille number, kinetic energy correction factor (Coriolis factor) and momentum flux correction factor (Boussinesq factor). The friction factor definitions is in common use in the literature Nikuradse: friction factor. The Poiseuille number is the product of a friction factor and the Reynolds number.In this paper presented the solutions of Poiseuille number, Coriolis coefficient, Boussinesq coefficient driven unidirectional laminar flow in regular polygonal ducts using the application of the boundary element method (BEM). Rational functions are used to approximate Poiseuille number and power function to approximate Coriolis coefficient and Boussinesq coefficient. Boundary element not required 3D mesh, alternative mesh methods require discretizing the whole of the solution domain. The BEM results of calculations dimensionless groups of unidirectional flow through regular polygonal ducts are compared with numeric solutions in the literature. The computer program was written in Fortran programming languages.

Keywords: longitudinal duct, regular polygonal ducts, Poiseuille number, Coriolis coefficient, Boussinesq coefficient, BEM, hydraulic calculations

Opracowanie zrealizowano w ramach pracy statutowej nr S/WBiIŚ/4/2014 Katedry Ciepłownictwa Politechniki Białostockiej

Przesłano do redakcji: 07.05.2014 r.
Przyjęto do druku: 02.12.2014 r.

DOI:10.7862/rb.2014.141