

Sławomir Jurkowski, Karina Janisz

# Wpływ parametrów modelu na dokładność wyników symulacji przepływomierza

JEL: R41 DOI: 10.24136/atest.2019.239  
Data zgłoszenia: 28.01.2020 Data akceptacji: 10.02.2020

W artykule przedstawiono analizę wpływu parametrów symulacji przepływu czynnika ściśliwego przez zwężkę Venturiego na dokładność uzyskiwanych rezultatów, z wykorzystaniem programu Ansys 2019 R2. Analiza została przeprowadzona w oparciu o wzorzec za jaki uznano wyniki obliczeń przepływu wg. normy PN-EN ISO 5167-4:2005. Rozważono wpływ modelu gazu i modelu turbulencji. Symulacji podlegała całość układu pomiarowego włącznie z przewodami impulsowymi.

**Słowa kluczowe:** symulacje CFD, model, zwężka, metoda objętości skończonych.

## Wstęp

W praktyce przemysłowej i w badaniach istnieje wiele sposobów pomiaru przepływu. W zależności od istniejących możliwości, można takiego pomiaru dokonywać wykorzystując przepływomierze. Jedną z najczęściej stosowanych metod pomiaru strumienia przepływu jest metoda zwężkowa, charakteryzująca się wysoką dokładnością [7]. Stosowane są trzy zasadnicze typy zwęzek pomiarowych: kryzy, dysze, i zwężki Venturiego [13]. Zastosowanie określonego typu zwężki jest ściśle związane z warunkami przepływu określonymi liczbą Reynoldsa. Pomiar wydatku za pomocą zwężki to najczęściej spotykana metoda ze względu na jej prostą konstrukcję mechaniczną, dużą wytrzymałość oraz łatwość zaimplementowania w instalację. Stosowaniu zwężki sprzyja również łatwość w wykonywaniu pomiarów i obliczaniu wydatku [15].

Współczesnym standardem w przemysłowym wykorzystaniu komputerowej mechaniki płynów (CFD) jest rozwiązywanie równania RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes), wykorzystując do tego metodę skończonych objętości. Za pomocą specjalistycznego oprogramowania inżynierskiego możliwe jest przeprowadzenie symulacji komputerowej przepływu. Składa się ona z czterech etapów: odwzorowania geometrii obiektu rzeczywistego, dyskretyzacji domeny, określenia warunków brzegowych oraz modeli zamykających płynu, wprowadzenia parametrów sterujących rozwiązaniem, obliczeń właściwych i postprocesingu wyników dla uzyskania łatwych do interpretacji i próównań wyników.. Numeryczne obliczenia

przepływowe są obliczeniami czasochłonnymi, a dokładność otrzymanych wyników zależy m.in. od przyjętego modelu i założeń. Są one jednak mniej pracochłonne i mogą dostarczyć większej ilości danych niż pomiary eksperymentalne [8]. Symulacje komputerowe należą dziś do podstawowych narzędzi pracy inżynierów, dostarczając narzędzia do wirtualnego budowania prototypów, ich symulacji w szerokim zakresie parametrów oraz uzyskania wiarygodnych danych przy stosunkowo niskich kosztach.

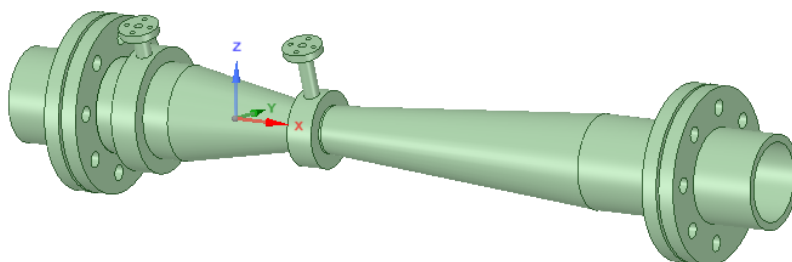
Liczne badania pokazują bardzo bliską relację między danymi eksperymentalnymi a symulacjami CFD [1, 2, 3, 10]. Znane są też prace przedstawiające wyniki badań symulacyjnych dla przepływów w zwężce Venturiego [4, 5, 6, 9, 11, 16, 17]. Celem niniejszej pracy było określenie wpływu wybranych parametrów na dokładność modelu całego przepływomierza z uwzględnieniem przewodów impulsowych na których dokonywany jest pomiar różnicy ciśnienia.

## 1. Wzorzec normatywny dla obliczeń symulacyjnych

W ramach badań rozważono klasyczną zwężkę Venturiego z otworami impulsowymi (przyłączami pomiarowymi) w części dolotowej i w przewężeniu (rys. 1). Otwory impulsowe (po cztery zarówno po stronie dopływowej, jak i w gardzieli przepływomierza) umieszczone są w ścianie rury i połączone są ze sobą przez komory pierścieniowe. Zwężka Venturiego, obok kryz pomiarowych oraz dysz ISA, stanowi element przepływowy różnicy ciśnień stosowany do pomiarów strumienia przepływu cieczy, par i gazów. Zwężki Venturiego stosuje się tylko w przypadkach, gdy wyższy koszt przyrządu jest uzasadniony mniejszym trwałym spadkiem ciśnienia, zwiększoną dokładnością pomiaru przepływu i możliwością stosowania do płynów z zawiesinami. Zaletą stosowania klasycznej zwężki Venturiego, w odróżnieniu do kryz oraz dysz pomiarowych, jest wprowadzenie minimalnych strat energii w przepływie. Wadą jest występowanie bardziej turbulentnego przepływu (o większej liczby Reynoldsa) niż w przypadku kryz pomiarowych. Pomiar przepływu polega na zmierzeniu różnicy ciśnienia statycznego przed zwężką i w jej przewężeniu [10].

Podstawą do analizy przepływów za pomocą zwężki Venturiego były wytyczne normy EN-ISO 5167 [13, 14].

Zgodnie z normą, jeśli płynem przepływającym przez zwężkę jest gaz (płyn ściśliwy) to równanie na strumień masy wyznacza się ze wzoru:



Rys. 1. Model zwężki Venturiego wykonany w programie Space Claim pakietu Ansys

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1} \quad (1)$$

gdzie:

$\beta$  – przewężenie zwężki

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (2)$$

$d$  – średnica otworu, gardzieli

$D$  – średnica dopływowa klasycznej zwężki Venturiego w warunkach roboczych

$\Delta p$  – ciśnienie różnicowe

$\rho$  – gęstość płynu

$\varepsilon$  - liczba ekspansji, która wyraża wpływ ściśliwości gazu i wynosi:

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\kappa \tau^{2/\kappa}}{\kappa - 1}\right) \left(\frac{1 - \beta^4}{1 - \beta^4 \tau^{2/\kappa}}\right) \left(\frac{1 - \tau^{(\kappa-1)/\kappa}}{1 - \tau}\right)} \quad (3)$$

Dla płynów nieściśliwych jest ona równa 1 a dla płynów ściśliwych mniejsza od 1.

Z kolei, współczynnik przepływu  $C$  można wyrazić poprzez:

$$C = \frac{q_m \sqrt{1 - \beta^4}}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}} \quad (4)$$

W analizowanym przypadku wartość  $C = 0.995$  przyjęto według normy. Do obliczeń przyjęto następujące parametry geometryczne: średnica rurociągu - 50 [mm], średnica przewężenia - 20 [mm] (stad  $\beta = 0.4$ ).

Z kolei, kluczowy parametr dla przepływów wyrażony liczbą Reynoldsa, w przypadku zwężki Venturiego, dotyczy warunków danego płynu w obszarze dopływowym (czyli przed zwężką pomiarową) i średnicy w tym obszarze ( $Re_D$ ) lub średnicy otworu zwężki pomiarowej ( $Re_d$ ), tzn.:

$$Re_D = \frac{4q_m}{\pi \mu D} \quad (5)$$

$$Re_d = \frac{4Re_D}{\beta} \quad (6)$$

gdzie:

$\mu$  – współczynnik lepkości dynamicznej [Pa s]

W oparciu o wzory (1) i (5) wyznaczono strumień masowego przepływu i wartość  $Re_D$  dla klasycznej zwężki Venturiego o parametrach zgodnych z normą (tab. 1).

Do wyliczeń przyjęto gaz tj. powietrze o znanej gęstości, lepkości i temperaturze ( $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$ ,  $t=15^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=50\%$ ).

**Tab. 1.** Wyniki obliczeń przepływu powietrza dla różnych prędkości przepływu ( $v$ )

prędkość $v$ [m/s]	Objęściowy strumień przepływu $q_m$ [kg/s]	Masowy strumień przepływu $q_m$ [kg/s]	liczba Reynoldsa $Re_D$ [-]
4	0,007853	0.0096211	$1,37 \cdot 10^5$
8	0,015708	0.0192423	$2,74 \cdot 10^5$
12	0,0235619	0.0288634	$4,11 \cdot 10^5$
16	0,0314159	0.0384845	$5,48 \cdot 10^5$
20	0,0392699	0.0481056	$6,85 \cdot 10^5$

Dla powyższych warunków (z wył.  $v = 4$  [m/s]) liczba Reynoldsa przyjmuje wartości z przedziału:

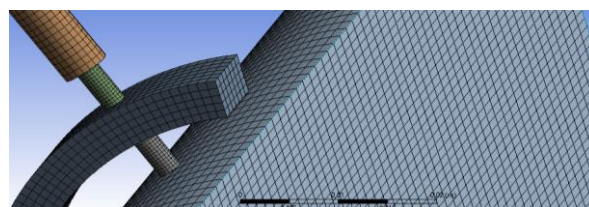
$$2 \cdot 10^5 \leq Re_D \leq 1 \cdot 10^6 \quad (7)$$

co potwierdza zgodność wyliczeń przepływu powietrza przez zwężkę Venturiego z założeniami normy w zakresie prędkości 8-20 [m/s] Wytyczne zawarte w normie powstały w wyniku szerokiego zakresu badań doświadczalnych, stad przyjęto je, jako test wzorcowy (benchmark test) stanowiący odniesienie do wyników symulacji teoretycznych z zastosowaniem CFD.

## 2. Symulacja numeryczna wybranego przepływomierza

### 2.1. Założenia do modelowania

Symulację CFD prowadzono korzystając z oprogramowania ANSYS 2019 R2. W pierwszym kroku utworzono model zwężki Venturiego zgodnie z wytycznymi normy. W kolejnym kroku dobrano parametry siatki 3D dla uproszczonego modelu zwężki (przekrój symetryczny). W celu usprawnienia procesu siatkowania i zapewnienia wysokiej jakości siatki domenę podzielono na obszary. Takie podejście pozwoliło na zastosowanie metody „sweep”, dla której uzyskuje się uporządkowaną strukturę przy stosunkowo małej liczności komórek.



**Rys. 2.** Fragment siatki MES uproszczonego modelu zwężki Venturiego

Obliczany model zwężki składał się z ok. 308 tysięcy komórek obliczeniowych (rys 2.), głównie hexahedralnych (elementy sześciennie i pryzmatyczne). Przed przystąpieniem do obliczeń zweryfikowano niezależność wyników od siatki obliczeniowej oraz sprawdzono kryteria jakościowe (min Orthogonal Quality = 0.48666, max Aspect Ratio = 12.163, max Element Quality = 0.994). W obliczeniach jako materiał przyjęto powietrze ( $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$ ,  $t=15^\circ\text{C}$ ,  $\varphi=50\%$ ). W warunkach brzegowych zadano wartość prędkości przepływu:  $v = 8 - 20$  [m/s]. Do symulacji zastosowano dwa modele burzliwości: Transition SST oraz k- $\varepsilon$ , a jako schemat aproksymacji wybrano algorytm SIMPLE.

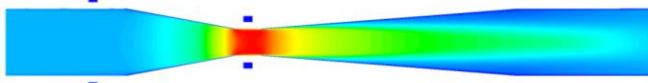
Model turbulencji k -  $\varepsilon$  jest odpowiedni jedynie do przepływów w pełni turbulentnych. Jest to najpowszechniej stosowany model turbulencji dla zastosowań przemysłowych. Zawiera podmodele do uwzględniania ściśliwości, prężności, spalania itp. Model jest odpowiedni dla złożonych przepływów z udziałem szybkich zmian parametrów płynu, umiarkowanych turbulencji, lokalnych zaburzeń. Zapewnia wysoką skuteczność zarówno w przypadku opływów jak i przepływów z uwzględnieniem warstwy przyściennej, rotacji, odwracania strugi i recyrkulacji. Z kolei, model turbulencji SST jest modelem hybrydowym. Stanowi płynne przejście z modelu standard k-omega, wykorzystywanego w warstwie przyściennej, do modelu k- $\varepsilon$  w miarę oddalania się od powierzchni ograniczającej przepływ. Zawiera zmodyfikowane sformułowanie lepkości turbulentnej w celu uwzględnienia efektu transportu głównych naprężeń ścinających [12].

### 2.2. Wyniki symulacji numerycznych

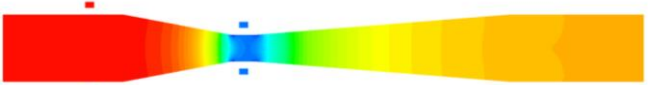
Symulacje przeprowadzono dla 4 modeli gazu: gaz o stałej gęstości, gaz idealny, gaz rzeczywisty (równanie stanu Redlicha-Kwonga) i gaz nieściśliwy, oznaczonych dalej: „const”, „ideal gas”, „real-kwong”, „incompress-ideal”. Przykładowe dane wyjściowe wygenerowane przez postprocesor przedstawiono w postaci gra-

ficznych wizualizacji. Dla każdego z badanych modeli dokonano analizy rozkładu prędkości i rozkładu ciśnienia.

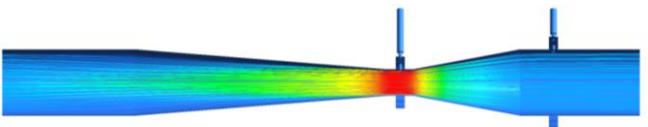
Poniżej (rys. 3, rys. 4), zestawiono mapy rozkładu prędkości i ciśnienia dla powietrza przy prędkości wlotowej 12 [m/s] dla modelu gazu „ideal gas”



**Rys. 3.** Rozkład prędkości dla przekroju zwężki Venturiego o średnicy 50 [mm] i przewężeniu  $\beta=0.4$  przy prędkości wlotowej  $v=12$  [m/s]



**Rys. 4.** Rozkład ciśnienia dla przekroju zwężki Venturiego o średnicy 50 [mm] i przewężeniu  $\beta=0.4$  przy prędkości wlotowej  $v=12$  [m/s]

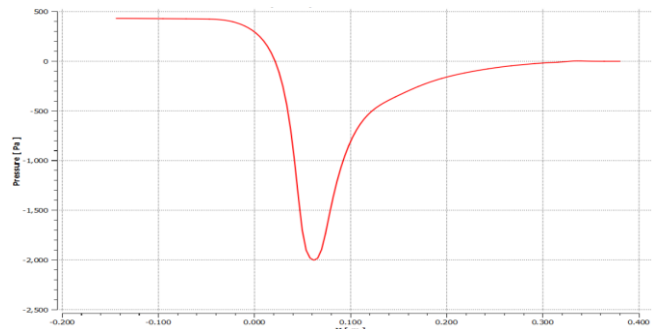


**Rys. 5.** Rozkład prędkości dla klasycznej zwężki Venturiego o średnicy 50 [mm] i przewężeniu  $\beta=0.4$

Oprogramowanie do analizy CFD umożliwia wprowadzenie wizualizacji strumienia za pomocą tzw. stream lines, które w prosty sposób pokazują charakter przepływu.

Wykres przedstawia zmianę ciśnienia, obserwowaną wzdłuż przepływomierza. Analizując rozkład prędkości (rys. 3), jak i wykres ciśnienia statycznego (rys. 5) w pierwszej kolejności zauważalne jest ustabilizowanie obrazowanych parametrów zarówno przed, jak i po zwężce. Norma [14] zaleca, aby część cylindryczna przed i za zwężką miała co najmniej taką długość, jak średnica rurociągu (takie podejście potwierdzają wyniki symulacji).

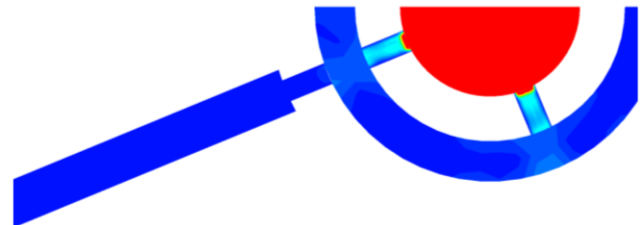
Wizualizacje pozwoliły również na analizę strat ciśnienia w badanej zwężce (rys. 6).



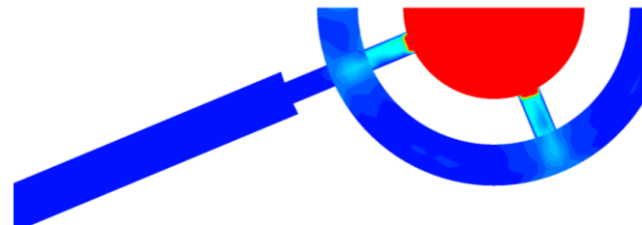
**Rys. 6.** Spadek ciśnienia w badanej zwężce

Wartość względna straty ciśnienia mieści się w zakresie zdefiniowanym dla zwężki Venturiego w normie tj. 5 – 20%.

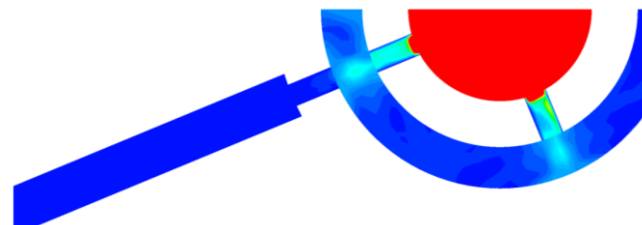
Z uwagi na to, iż symulacja obejmowała nie tylko samą zwężkę, ale też otwory impulsowe (przyłącza pomiarowe), w celu zbadania wpływu dynamiki przepływu na pomiar, dodatkowo przedstawiono (rys. 7- 10) rozkład prędkości w otworze impulsowym dla analizowanego zakresu prędkości (model k- $\epsilon$ ):



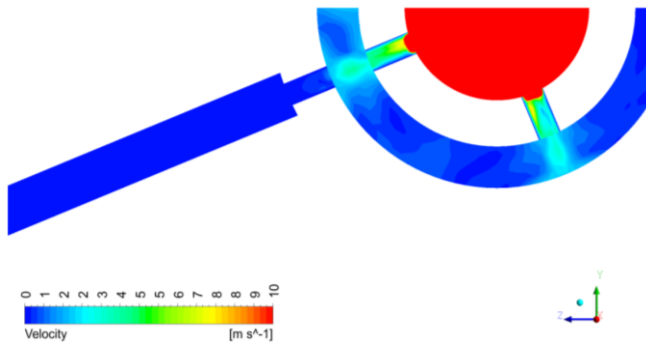
**Rys. 7.** Rozkład prędkości w przekroju poprzecznym przy otworze impulsowym dla  $v = 8$ [m/s]



**Rys. 8.** Rozkład prędkości w przekroju poprzecznym przy otworze impulsowym dla  $v = 12$ [m/s]



**Rys. 9.** Rozkład prędkości w otworze impulsowym dla  $v = 16$  [m/s]

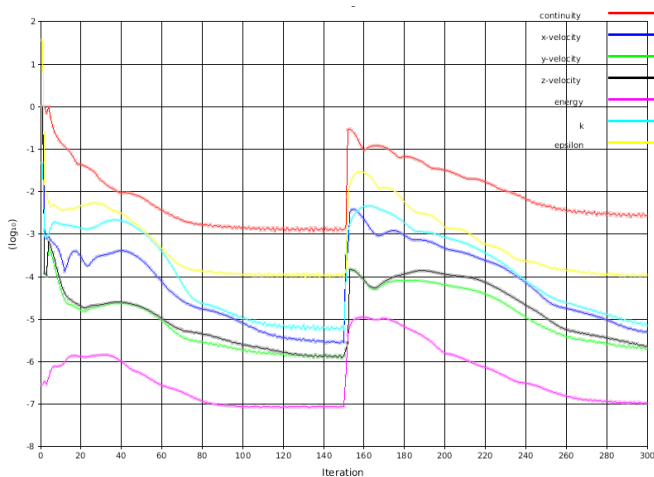


Rys. 10. Rozkład prędkości w otworze impulsowym dla  $v = 20$  [m/s]

Analiza map rozkładu prędkości wskazuje, iż w otworze impulsowym i w pierścieniu widoczna jest pewna strefa wpływu prędkości przepływu (rosnąca ze wzrostem prędkości wlotowych). Niemniej, dynamika ta kończy się w pierścieniu i jej wpływ jest pomijalnie mały u wylotu króćca pomiarowego (zanika w przyłączy pomiarowym).

3. Analiza wyników badań

Dla wszystkich symulacji poziomy reszt (residual) wyniosły poniżej 0,001 (rys. 11). Dodatkowo zauważyć można prawidłową, dla obliczeń numerycznych, zależność spadku residual w kolejnych iteracjach (błędy numeryczne symulacji maleją).



Rys. 11. Wykres reszt skończonych (residual) reprezentujący przebieg zbieżności równań: ciągłości (continuity), pędu w poszczególnych osiach układu kartezjańskiego (x-velocity, y-velocity, z-velocity) oraz modelu turbulencji

Wyniki obliczeń CFD zestawiono z wynikami wzorcowymi (na podstawie normy PN-EN ISO 5167:2005). Porównanie wyników wykazało wysoką zbieżność obu rozwiązań.

W tabeli 2 zestawiono wartości masowego strumienia przepływu oraz odchylenia od wartości wzorcowej wyliczone dla dwóch modeli turbulencji (k-ε, Transition SST) przy prędkości wlotowej powietrza: 8, 12, 16 i 20 [m/s] z uwzględnieniem każdego z czterech analizowanych modeli gazu.

Dodatkowo, wyliczono wartość liczby  $Re_D$  dla uzyskanych wyników masowego strumienia przepływu.

Odchylenie od wartości wzorcowej oszacowano ze wzoru:

$$\Delta q_m = \frac{q_{mt} - q_m}{q_{mt}} \quad (8)$$

gdzie:

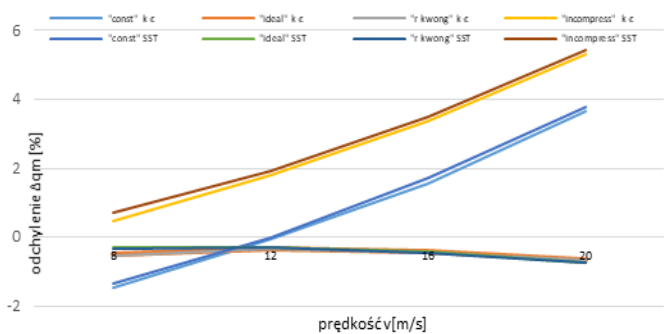
$q_{mt}$  – wartość strumienia masowego przepływu dla testu wzorcowego

$q_m$  – wartość strumienia masowego przepływu z modelu symulacyjnego (teoretycznego)

Tab. 2. Porównanie wyników symulacji przepływu powietrza dla różnych prędkości przepływu ( $v$ ), modelu gazu i turbulencji

Model gazu	Model turbulencji k-ε			Model turbulencji Transition SST		
	Masowy strumień przepływu $q_m$ [kg/s]	Odchylenie $\Delta q_m$ [%]	$Re_D$ [-]	Masowy strumień przepływu $q_m$ [kg/s]	Odchylenie $\Delta q_m$ [%]	$Re_D$ [-]
<b>v = 8 [m/s]</b>						
constant	0,0195226	-1,457	$2,77 \cdot 10^5$	0,0194978	-1,328	$2,77 \cdot 10^5$
ideal - gas	0,0193417	-0,517	$2,75 \cdot 10^5$	0,0193019	-0,310	$2,75 \cdot 10^5$
real-kwong	0,019346	-0,539	$2,75 \cdot 10^5$	0,0193059	-0,331	$2,75 \cdot 10^5$
incompressible-ideal	0,01915	0,479	$2,72 \cdot 10^5$	0,0191089	0,693	$2,72 \cdot 10^5$
<b>v = 12 [m/s]</b>						
constant	0,0288845	-0,073	$4,11 \cdot 10^5$	0,0288715	-0,028	$4,11 \cdot 10^5$
ideal - gas	0,0289599	-0,334	$4,12 \cdot 10^5$	0,0289477	-0,292	$4,12 \cdot 10^5$
real-kwong	0,0289659	-0,355	$4,12 \cdot 10^5$	0,0289536	-0,313	$4,12 \cdot 10^5$
incompressible-ideal	0,0283448	1,797	$4,03 \cdot 10^5$	0,028307	1,928	$4,03 \cdot 10^5$
<b>v = 16 [m/s]</b>						
constant	0,037891	1,542	$5,39 \cdot 10^5$	0,0378294	1,702	$5,38 \cdot 10^5$
ideal - gas	0,0386518	-0,435	$5,5 \cdot 10^5$	0,0386488	-0,427	$5,5 \cdot 10^5$
real-kwong	0,0386606	-0,457	$5,5 \cdot 10^5$	0,0386575	-0,450	$5,5 \cdot 10^5$
incompressible-ideal	0,0371828	3,383	$5,29 \cdot 10^5$	0,0371351	3,506	$5,28 \cdot 10^5$
<b>v = 20 [m/s]</b>						
constant	0,0463428	3,664	$6,59 \cdot 10^5$	0,0462935	3,767	$6,59 \cdot 10^5$
ideal - gas	0,048415	-0,643	$6,89 \cdot 10^5$	0,0484539	-0,724	$6,9 \cdot 10^5$
real-kwong	0,0484246	-0,663	$6,89 \cdot 10^5$	0,0484611	-0,739	$6,9 \cdot 10^5$
incompressible-ideal	0,0455422	5,329	$6,48 \cdot 10^5$	0,0454856	5,447	$6,47 \cdot 10^5$

Weryfikacja uzyskanych wyników z wynikami wzorcowymi wskazuje, iż najmniejsze odchylenie w odniesieniu do testu wzorcowego występuje dla modelu gazu doskonałego i rzeczywistego („ideal”, „r kwong”), gdzie w całym zakresie prędkości wlotowej wartość odchylenia nie przekracza wartości 1% (rys. 12):



Rys. 12. Wartość odchylenia masowego przepływu w odniesieniu do testu wzorcowego dla rozważanych parametrów modelu

Większą dynamikę zmian wskazuje gaz o stałej gęstości („const”) i gaz nieściśliwy („incompress”), gdzie wartość odchylenia rośnie ze wzrostem prędkości i dla prędkości 20 [m/s] wynosi już ponad 5% (gaz nieściśliwy) dla obu modeli turbulencji.

Z kolei, wybór modelu turbulencji (k-ε, Transition SST) w badanych zakresie prędkości przepływu nie wpłynął znacząco na wartość wyników odchylenia (oba modele charakteryzują podobną dokładność wyników w odniesieniu do testu wzorcowego).

Dalej, uzyskane wyniki dla wszystkich modeli gazu i z uwzględnieniem obu modeli turbulencji wskazują zgodność w zakresie wartości liczby Reynoldsa wskazanej w normie.

Ponadto, przeprowadzona analiza wskazuje na niewielkie straty ciśnienia w zwężce.

### Podsumowanie

Symulacja CFD przepływów powietrza dla zwężki Venturiego o zadanych parametrach (geometrycznych, warunkach wejściowych i warunkach brzegowych) jest możliwa i wystarczająco dokładna. Otrzymane wyniki obliczeń klasycznej zwężki Venturiego metodą symulacji komputerowej wykazują bardzo wysoką zbieżność z testem wzorcowym opartym na normie PN-EN ISO 5167-4:2005. Odchylenie wartości masowego strumienia przepływu od wartości wzorcowej dla modelu gazu rzeczywistego i idealnego ma wartość poniżej 1% w całym zakresie analizowanej prędkości przepływu. Wykazano zatem, iż model gazu rzeczywistego i gazu idealnego jest właściwy dla rozważanego przypadku przepływu powietrza przez zwężkę Venturiego w ramach dopuszczalnego przez normę zakresu prędkości.

Dodatkową zaletą stosowania metod symulacji CFD jest możliwość określenia straty ciśnienia na urządzeniu pomiarowym, co w klasycznym ujęciu możliwe jest dopiero w trakcie eksperymentalnego wzorcowania zwężki.

Przeprowadzona symulacja numeryczna potwierdza przydatność tego sposobu badań do wyznaczania wartości wielkości charakteryzujących przepływ w porównaniu z kosztownymi i czasochłonnymi badaniami doświadczalnymi. Stanowi ona również podstawę do wyboru najodpowiedniejszego wariantu ustawień modelu symulacyjnego, w przypadku, gdy analiza CFD jest podstawą do projektowania przepływomierza dla konkretnych zastosowań.

### Bibliografia:

1. Arun R, Yogesh Kumar K J, Seshadri V, Prediction of discharge coefficient of Venturimeter at low Reynolds numbers by analytical and CFD Method, International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR) ISSN: 2321-0869, Volume-3, Issue-5, May 2015
2. Baylar A., Cihan Aydin M, Unsal M. Ozkan F., Numerical Modeling of Venturi Flows for Determining Air Injection Rates, Mathematical and Computational Applications, Vol. 14, No. 2, pp. 97-108, 2009
3. Cyklis P., Młynarczyk P., The role of the CFD modelling in the shape optimization of the pressure pulsations dampers, Czasopismo Techniczne. Mechanika., 2-M/2015
4. Dastane G. G., Thakkar H., Shah R., Perala S., Raut J., Pandit A.B. Single and multiphase CFD simulations for designing cavitating venturi. Chemical Engineering Research & Design: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part A. Sep 2019, Vol. 149, p1-12. 12p., DOI: 10.1016/j.cherd.2019.06.036
5. Guerra V. G., Achilles A. E., Béttega R., Influence of Droplet Size Distribution on Liquid Dispersion in a Venturi Scrubber: Experimental Measurements and CFD Simulation. Industrial & Engineering Chemistry Research. Mar2017, Vol. 56 Issue 8, p2177-2187. 11p. DOI: 10.1021/acs.iecr.6b03761
6. Hongbo S, Mingda L, Pet N., Qingxia L. Experimental and numerical study of cavitation flows in venturi tubes: From CFD to an empirical model. Chemical Engineering Science. Nov2019, Vol. 207, p672-687. 16p. DOI: 10.1016/j.ces.2019.07.004
7. Kasprzak D., Mrowiec A. Sprawdzenie możliwości pomiaru kryzą mimosrodową strumienia medium dla małych liczb Reynoldsa, Pomiary Automatyka Robotyka, R. 20, Nr 2/2016, 25–28, DOI: 10.14313/PAR\_220/25
8. Kowalczyk T., Kornet S., Ziółkowski P., Badur J., Określenie masowego natężenia przepływu czynników wielofazowych w klasycznej zwężce pomiarowej Venturiego w ujęciu zero- i trójwymiarowym. Aktualne Zagadnienia Energetyki" 2014, tom II, s. 135-148
9. Kumar J., Singh J., Kansal H., Narula G. S., Singh P., CFD Analysis of Flow Through Venturi, International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology Vol. 4, Issue 2, Spl- 2 May - October 2014
10. Manish S., Jyeshtharaj B., Analysis of flow through an orifice meter: CFD simulation. Chem. Eng. Sci.,71, 2012, 300-309. DOI: 10.1016/j.ces.2011.11.022
11. Niedźwiedzka A., Lipiński S., Symulacje numeryczne zjawiska kawitacji w zwężce Venturiego i ich walidacja z użyciem systemu optoelektronicznego, Mechanik Nr 7/2016, DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.168
12. Paszko M., Łygas K., Współczesne metody modelowania przepływów turbulentnych w otoczeniu poruszającego się autobusu miejskiego, Autobusy 12/2016
13. PN-EN ISO 5167-1:2005 Pomiary strumienia płynów za pomocą zwęzek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełniony rurociąg o przekroju kołowym – Część 1: Zasady i wymagania ogólne
14. PN-EN ISO 5167-4:2005 Pomiary strumienia płynów za pomocą zwęzek pomiarowych wbudowanych w całkowicie wypełniony rurociąg o przekroju kołowym – Część 4: Klasyczna zwężka Venturiego
15. Tiutiurski P., Kardas D., Numeryczne wyznaczanie spadku ciśnienia i wydatku mieszaniny gazów w kanale ze zwężką pomiarową, Inżynieria i Aparatura Chemiczna Nr 1/2018, 57, 1, 16-18
16. Yayla S., Yaseen S, Olcay A. B., Numerical Investigation of Cavitation on Different Venturi Models, Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences 20 (1-2) 22-33, 2015
17. Zhang, J. X. Analysis on the effect of venturi tube structural parameters on fluid flow. AIP Advances. 2017, Vol. 7 Issue 6, p1-9. 9p., DOI: 10.1063/1.4991441

### The impact of model parameters on the accuracy of the flowmeter simulation

The article presents the analysis of the impact of the compressor flow simulation parameters through the Venturi tube on the accuracy of the obtained results. The Ansys 2019 R2 program was used for analysis. The analysis was carried out on the basis of the pattern for which the results of flow calculations according to standards PN-EN ISO 5167-4: 2005. The influence of the gas model and turbulence model was considered. The entire measurement system, including impulse lines, was subject to simulation.

**Keywords:** CFD simulations, model, Venturi, finite volume method

### Autorzy:

mgr inż. **Sławomir Jurkowski** – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu, Instytut Techniczny, sjurkowski@pwsz-ns.edu.pl

dr inż. **Karina Janisz** – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu, Instytut Techniczny, kjanisz@pwsz-ns.edu.pl