Stanowisko do badania przepływu w kanale z chropowatością

WALDEMAR WODZIAK, JACEK SOBCZYK, JERZY KRAWCZYK, PRZEMYSŁAW SKOTNICZNY

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

Zaprojektowano oraz zbudowano stanowisko pomiarowe do badania pól prędkości powietrza przepływającego w pobliżu dwuwymiarowej ściany chropowatej. Stanowisko składało się z wentylatora, sekcji wyrównywania przepływu (dyfuzor, 2 siatki, 2 konfuzory) oraz kanału pomiarowego. Górna i boczne ściany kanału pomiarowego były hydraulicznie gładkie, a na dolnej rozmieszczono periodyczne elementy, które kształtem (przekrój poprzeczny był trapezem równoramiennym) przypominały żebra obudowy łukowej chodników kopalnianych. W pierwszym etapie badań wykonano pomiary pól prędkości metodą anemometrii obrazowej PIV w pobliżu wlotu do kanału z chropowatą ścianą.

Slowa kluczowe: chropowatość, przepływ turbulentny w kanale, żebra trapezoidalne, PIV

1. Wstęp

Znajomość pola prędkości w pobliżu ściany chropowatej ma znaczenie praktyczne. Przykładem obiektów w których występuje kontakt płynu ze ścianą, na której jest periodycznie rozmieszczona chropowatość są wymienniki ciepła, piłki golfowe czy elementy kadłubów statków.

Studia literaturowe wskazują, że badania nad przepływami turbulentnymi w pobliżu ścian chropowatych w kanałach zamkniętych były przeprowadzane w różnych konfiguracjach geometrycznych. Np. przy założeniu przepływu dwuwymiarowego, analizowano przypadki, gdy elementy chropowate były rozmieszczone na obydwu ścianach lub tylko na jednej ze ścian. Rozważano również trójwymiarową chropowatość w dwuwymiarowym przepływie (Burattini, 2008). W zależności od konfiguracji geometrycznej oraz prędkości, z jaką porusza się płyn otrzymuje się różne struktury pola prędkości w pobliżu ściany chropowatej.

W artykule przedstawiono stanowisko do badania przepływów dwuwymiarowych, gdy jedna ze ścian była gładka, a druga chropowata. W takim przypadku maksimum prędkości w przekroju poprzecznym kanału, ze względu na obecność chropowatości, przesunięte jest w kierunku gładkiej ściany.

2. Stanowisko badawcze

Stanowisko składało z wentylatora promieniowego, sekcji wyrównującej przepływ – dyfuzora, dwa rzędy siatek, pierwszego konfuzora, drugiego konfuzora – oraz kanału pomiarowego przystosowanego do badań optycznych (Rys. 1). Prędkość obrotową wentylatora regulowano poprzez sterowanie parametrami pracy falownika. Wentylator dobrano tak, by uzyskać odpowiednią prędkość w kanale pomiarowym. Sekcja wyrównująca przepływ miała za zadanie wygenerowanie na wlocie do kanału pomiarowego płaskiego pola prędkości oraz utrzymywanie możliwie niskiego poziomu turbulencji.

Kanał pomiarowy zbudowany był z pleksi i miał kształt prostopadłościanu o długości 1.20 m, szerokości 0.20 m oraz wysokości 0.02 m. Stosunek wysokości do szerokości wynosił zatem 1:10 i był wystarczający, aby można było założyć wewnątrz kanału przepływ dwuwymiarowy.

Początkowe 0.14 m kanału było hydraulicznie gładkie, następnie na długości 1.00 m na dolnej ściance obecna była wypukła chropowatość. Konstrukcja kanału pozwala na regulację jego wysokości oraz wymianę ściany z chropowatością.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe

Chropowatość stanowiły poprzeczne elementy o przekroju po kształcie trapezu, którego wymiary przedstawiono na rysunku 3



Rys. 3. Rozmieszczenie i wymiary elementów stanowiących chropowatość kanału

Elementy na rysunku 3 kształtem przypominają żebra obudowy łukowej występującej w wyrobiskach górniczych. Za żebrami powstaje ślad aerodynamiczny, który w zależności od odległości pomiędzy żebrami oraz prędkości napływu ma różną strukturę (Krawczyk, 2016).

3. Wyniki badań wstępnych

W pierwszym etapie badań wykonano pomiary pola prędkości na wlocie do kanału z chropowatością przy użyciu anemometrii obrazowej PIV. Płaszczyzna lasera przecinała kanał wzdłuż jego osi w pobliżu pierwszego trapezu (Rys. 4). Obszar pomiarowy miał wymiary 24,4 × 20 mm. Za początek układu współrzędnych przyjęto punkt zlokalizowany na wlocie do kanału pomiarowego, leżący na jego dolnej podstawie.



Rys. 4. Sekcja pomiarowa z zaznaczonymi przekrojami w których przedstawiono rozkłady prędkości

Pomiary wykonano dla dwóch prędkości napływu V₀ wynoszących 16 m/s oraz 26,5 m/s co odpowiada liczbie *Re* (odniesionej do wysokości h = d) odpowiednio *Re* = 21300 i *Re* = 35300. Pomiary wykonano przy stałej temperaturze T = 21°C, wilgotności względnej $\varphi = 40\%$ oraz ciśnieniu barometrycznym p = 997 hPa. Jako posiew w metodzie PIV użyto DEHS, który wprowadzano na wlocie do wentylatora. W każdej serii pomiarowej wykonywano 320 podwójnych zdjęć z częstotliwością 15 Hz. Do obliczeń pól prędkości użyto algorytmu korelacji adaptacyjnej. Uśrednione w czasie chwilowe pola prędkości przedstawiono na rysunkach 5 oraz 6 w postaci konturów, na których widać zmianę grubości warstwy przyściennej przy dolnej ściance komory spowodowaną obecnością pierwszego elementu chropowatego.



Rys. 5. Kontur prędkości wzdłużnej V_x dla prędkości napływu 16 m/s



Rys. 6. Kontur prędkości wzdłużnej V_x dla prędkości napływu 26.5 m/s

Na rysunkach 7 oraz 8 przedstawiono profile prędkości wzdłużnej V_x w przekrojach zaznaczonych czerwonymi liniami na rysunku 4 dla obydwu zadanych prędkości napływu.



Rys. 7. Profile prędkości wzdłużnej V_x dla prędkości napływu 16 m/s



Rys. 8. Profile prędkości wzdłużnej V_x dla prędkości napływu 26.5 m/s

Z powyższych rysunków wynika, że dla obydwu prędkości napływu profil prędkości w odległości ok. 23 mm przed pierwszym trapezem jest płaski. Natomiast w odległości 2 mm od tego elementu widać przesunięcie maksimum prędkości w stronę gładkiej ściany kanału.

4. Podsumowanie oraz dalsze prace

Wykonano stanowisko pomiarowe do badania przepływów powietrza w kanale zamkniętym. W pierwszym etapie badań zmierzono profile prędkości na wlocie do kanału. Dalsze prace dotyczyć będą znalezienia miejsca wzdłuż kanału, w którym turbulentny profil prędkości jest w pełni rozwinięty oraz oszacowania prędkości tarcia w kanale z jedną chropowatą ścianą metodą, którą przedstawiono w (Leonardi, 2005). Metoda została zwalidowana przez autorów poprzez obliczenia numeryczne DNS. Oszacowanie prędkości tarcia, a co za tym idzie naprężenia τ_w wymaga znajomości miejsca w którym zeruje się naprężenie ścinające Reynoldsa oraz gradientu ciśnienia wzdłuż kanału.

Praca została wykonana w roku 2019 w ramach prac statutowych realizowanych w Instytucie Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

Literatura

Burattini P., Leonardi S., Orlandi P., Antonia R.A., 2008: Comparison between experiments and direct numerical simulations in a channel flow with roughness on one wall. J. Fluid Mech. 600, 403-426.

- Krawczyk J., Janus J., 2016: Modelowanie pól prędkości przepływu powietrza w chodnikach kopalnianych w obudowie lukowej – wybrane zagadnienia. Instytut Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, Monografia.
- Leonardi S., Orlandi P., Antonia R.A., 2005: A method for determining the frictional velocity in a turbulent channel flow with roughness on the bottom wall. Experiments in Fluids **38**, 796-800.

Experimental setup to measure airflow in a channel with roughness

Abstrakt

Experimental setup was designed and built to analyze airflow velocity fields near a rough wall. It consist of a fan, settling chamber (diffuser, 2 meshes and two contractions) and measurement channel. Upper and side walls of the measurement channel were hydraulically smooth. Transverse elements with the cross section of the trapezoidal shape resembling the mine arc roof support elements were arranged periodically at the bottom wall. Velocity fields were measured by means of the Particle Image Velocimetry (PIV) method near to the channel inlet in the first stage of the research.

Keywords: roughness, turbulent channel flow, trapezoidal ribs, PIV