

NORBERT SZMOLKE

Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, Opole

Wideogrametria a obliczenia numeryczne przepływu w przestrzeni międzyrurowej

Wprowadzenie

Zawarte w tej pracy informacje dotyczą aerodynamiki przepływu mieszaniny gaz – ciało stałe przez przestrzeń międzyrurową fluidalnego wymiennika ciepła, w którym struga dwufazowa przepływa wertykalnie, prostopadle do pęku rur. Pomiar wykonano na stanowisku badawczym, wyposażonym w modelowy, przezroczysty wymiennik o wymiarach 300×30×1200 mm. W jego wnętrzu zamontowano pęki rur, tworzących szeregowy i przestawne układy. Cząstki ciała stałego miały gęstość $\rho = 330\text{--}1450 \text{ kg/m}^3$ oraz wielkość $d = 0,9\text{--}10,9 \text{ mm}$.

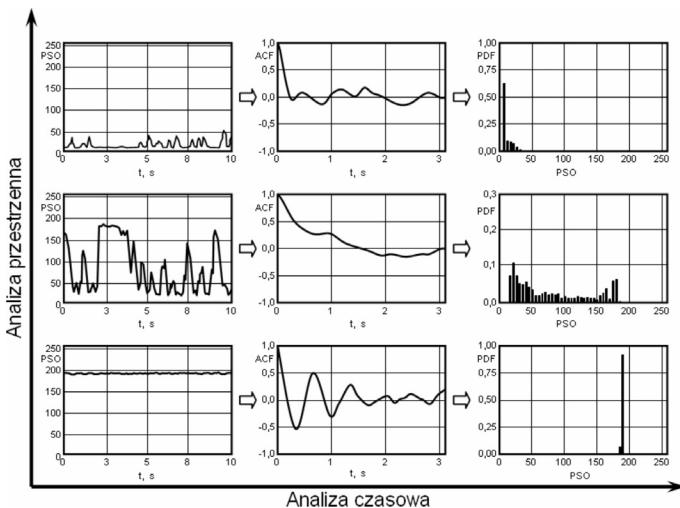
W badaniach zastosowano wideogrametrię do wizualizacji i oceny zjawisk, zachodzących we wnętrzu aparatu. Równoległe prowadzono obliczenia numeryczne, z zastosowaniem pakietu *Fluent* [1], analizujące proces w takich samych kanałach (geometria) i dla takich samych warunków przepływowych. Pozwoliło to na porównanie wyników uzyskanych oboma metodami.

Wideogrametria

Jest to metoda (Rys. 1), zaliczana do technik optycznych, składająca się z trzech etapów pomiarowo-analitycznych, tj.

- wizualizacji procesu z zastosowaniem np. fotografii optycznej,
- wykrycia oscylacji parametru z użyciem dynamicznej analizy obrazu,
- badania charakteru oscylacji z wykorzystaniem aparatu stochastycznego.

Tak więc wideogrametria pozwala na analizę zjawisk przepływowych na podstawie pomiaru oscylacji czasowego



Rys. 1. Przykład czasowej i przestrzennej analizy procesu przepływowego, wg [2]; PSO – poziom szarości obrazu, ACF – f. autokorelacji, PDF – f. gęstości prawdopodobieństwa, t – czas

oraz przestrzennego rozkładu faz, zmian poziomu szarości obrazu PSO oraz analizy stochastycznej charakteru tych zmian. Dodatkową zaletą wideogrametrii jest zastosowanie jednej techniki pomiarowo-analitycznej do oceny struktury przepływu, dla dowolnego typu aparatu i dowolnego wypełnienia złoża.

Bardzo istotnym zagadnieniem jest dobór strefy pomiarowej, poddawanej ocenie, a dokładniej wielkość jej powierzchni. Jeśli analiza oparta jest na obliczeniu globalnej wartości PSO to stosuje się duże strefy powierzchniowe, zaś do oceny struktury przepływu należy stosować małe obszary, lub podzielić dużą strefę powierzchniową, na mniejsze, punktowe. Badania wykazały, że w przypadku dużych strumieni gazu i małego udziału fazy stałej, bardziej przydatne są strefy powierzchniowe. Natomiast strefy punktowe, lepiej stosować do małych strumieni gazu i dużych koncentracji ciała stałego. Strefy wielokrotne są najbardziej uniwersalne i chociaż dynamiczna analiza obrazu trwa wielokrotnie dłużej, umożliwiają pełną jakościową ocenę procesu.

Obliczenia z wykorzystaniem pakietu *Fluent*

Obliczenia numeryczne przeprowadzono dla takich samych geometrii jak te, badane z wykorzystaniem wideogrametrii. Na wlocie do przestrzeni międzyrurowej założono nierównomierny rozkład prędkości powietrza [3] zaś siatki obliczeniowe powstały na bazie węzłów. W obliczeniach zastosowano model *Eulera*

$$\frac{\partial(\alpha_k \rho_k u_k)}{\partial t} + \nabla(\alpha_k \rho_k u_k u_k) = -\alpha_k \nabla p + \nabla(\alpha_k T_k) + \alpha_k \rho_k g + \alpha_k \rho_k (\bar{F}_k + \bar{F}_s) \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\alpha_k \rho_k)}{\partial t} + \nabla(\alpha_k \rho_k u_k) = 0 \quad (2)$$

gdzie p oznacza ciśnienie, tensor T_k zawiera składowe naprężenia oddziałujących na elementy fazy k , α_k oznacza udział danej fazy w mieszaninie, \bar{F}_s jest wyrażeniem uwzględniającym siły wywołane przez wzajemne kontakty cząstek ciała stałego, \bar{F}_k wyrażeniem ujmującym intensywność wymiany pędu między fazą k a innymi fazami, u_k oznacza prędkości każdej z faz, [4].

Dyskusja wyników

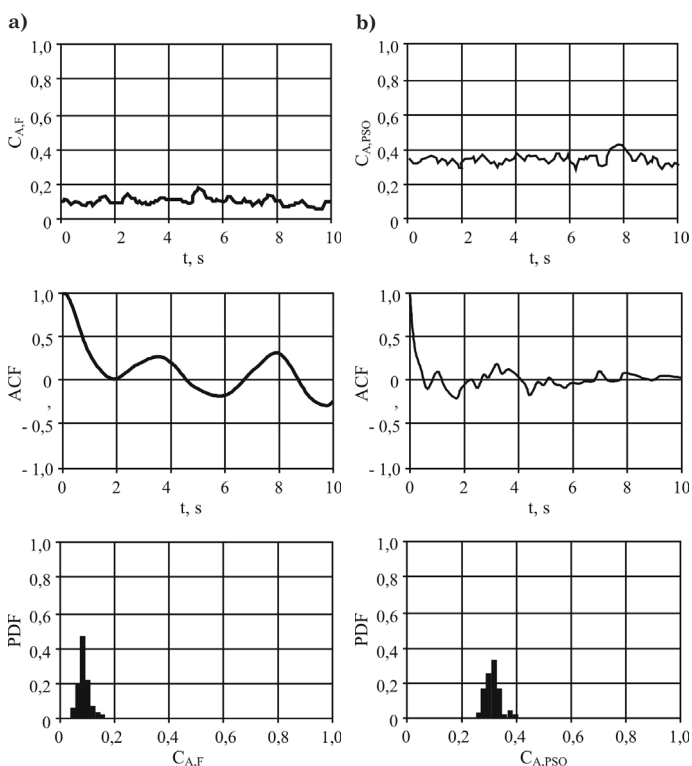
Efektorem bezpośrednim przeprowadzonych badań empirycznych oraz numerycznych są rozkłady wielu parametrów przepływowych. Należy do nich między innymi koncentracja powierzchniowa C_A fazy stałej w określonym miejscu kanału i czasie; parametr ten wydaje się być odpowiedni do oceny analizowanego procesu przepływowego ponieważ analiza ta

dotyczy w obydwu metodach obszaru płaskiego (2D). W przypadku obliczeń procedurami pakietu *Fluent* wartości koncentracji powierzchniowej $C_{A,F}$ uzyskuje się bezpośrednio; dla wideogrametrii, gdzie parametrem wyjściowym do analiz jest poziom szarości obrazu PSO , dokonuje się przeliczenia wartości wg zależności

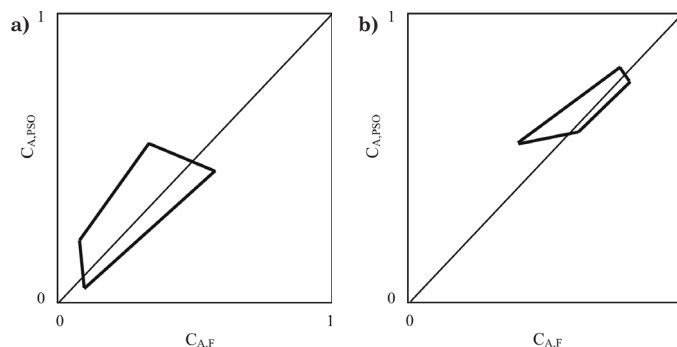
$$C_{A,PSO} = \frac{PSO_i}{PSO_{max}} \quad (3)$$

gdzie $C_{A,PSO}$ wyraża koncentrację powierzchniową, wyznaczoną z poziomu szarości obrazu, PSO_i oznacza chwilowy poziom szarości obrazu w wybranym obszarze analizy i , a PSO_{max} – maksymalny poziom szarości, wyznaczony z całej serii punktów dla tego samego obszaru.

Na rys. 2 pokazano przykład porównania wyników koncentracji, uzyskanych wideogrametrią z efektem obliczeń numerycznych. W przedstawionym przypadku zauważa się duże podobieństwo rozkładów, co charakteryzowało wyniki większości porównywanych przypadków (ponad 57% wszystkich porównywanych przypadków).



Rys. 2. Przykład rozkładów koncentracji powierzchniowej oraz odpowiadających im rozkładów funkcji stochastycznych; a) pakiet *Fluent*; b) wideogrametria



Rys. 3. Obszary występowania wartości koncentracji powierzchniowej, wyznaczonej dla struktury korkowej (a) oraz pęcherzykowej (b) w układzie trójkątnym przestawnym

Duże znaczenie w tym przypadku ma wybór obszaru analizy. Im jego powierzchnia jest mniejsza tym występują większe różnice.

Na kolejnym rysunku (Rys. 3) przedstawiono wyniki porównania wartości koncentracji powierzchniowej, wyznaczone dla struktury korkowej oraz pęcherzykowej. Wartości C_A wyznaczone dla tego samego obszaru analizy i dla takich samych warunków geometryczno-przepływowych. Porównując wartości tego parametru, uzyskane wideogrametrią z wynikami obliczeń numerycznych zauważa się, że wartości $C_{A,PSO}$ (wideogrametria) są wyższe od tych, uzyskanych drogą obliczeń (C_F – *Fluent*).

Na tym etapie porównań można stwierdzić, że tendencja ta jest zachowana dla większości przeanalizowanych serii pomiarowych. Jednakże nie można jeszcze uznać tego za regułę.

Podsumowanie

Wyniki badań oraz obliczeń, których niewielki fragment przedstawiono w tej pracy, pozwoliły na zgromadzenie znacznego zestawu danych do analiz. Przedstawiono w niej istotę zastosowanych metod pomiarowych. Wskazano na pewne związki, występujące pomiędzy parametrami koncentracji powierzchniowej pozyskanymi z eksperymentu i obliczeń numerycznych, które sugerują konieczność poszukiwania ściślejszych zależności pomiędzy nimi.

LITERATURA

1. *FLUENT INC.*: Fluid Dynamics Analysis Package.
2. *S. Anweiler*: Ocena struktur dwufazowych w aparatach fluidalnych, Rozprawa doktorska. Politechnika Opolska, 2004.
3. *N. Szmolke*: Inż. Ap. Chem. **45**, nr 6s, 230 (2006).
4. *M. Syamlal, W. Rogers, T.J. O'Brien*: MFI Documentation Theory Guide Technical Note, DOE/METC, 94/1004, 1, 1993.