

Czesław O. POPIEL
Leon BOGUSŁAWSKI

Istytut Techniki Ciepłej i Silników Spalinowych
Politechnika Poznańska

EWOLUCJA OKRĄGLEJ WIELOSTRUGI EMITOWANEJ PRZEZ PERFOROWANĄ PŁASKĄ ŚCIANKĘ

Streszczenie: W referacie przedstawiono ewolucję promieniowych profili prędkości średniej i intensywności turbulencji zmierzonych w rejonie początkowym swobodnej okrągłej wielostrugi na początkowym jej odcinku. Wielostruga była wysyłana przez okrągłą płaską płytę perforowaną ostrokrawędziowymi otworami w układzie heksagonalnym.

1. Wstęp

Przegląd literatury [1] wykazuje, że ewolucje profili prędkości średniej oraz intensywności turbulencji w osiowosymetrycznej strudze swobodnej silnie zależą od profilu prędkości i poziomu turbulencji w przekroju wylotowym dyszy (emitera) strugi. Do przekroju wylotowego emitera okrągłej strugi swobodnej przylega tzw. rejon rdzenia strugi w kształcie stożka, w którym prędkość średnia w przybliżeniu jest stała. Rdzeń strugi jest otoczony rozprzestrzeniającym się rejonem mieszania, który wyróżnia się dużą turbulencją. Charakter i intensywność procesów mieszania (i generacji turbulencji) - rozwijających się w tym rejonie, zależą bezpośrednio od warunków początkowych występujących w przekroju wylotowym, a zwłaszcza w pobliżu krawędzi spływowej ścianki dyszy [2]. Strugi o prostokątnych profilach prędkości średniej i niskiej turbulencji generowane są przez dysze "dzwonowe" o dużej kontrakcji przekrojów. Bardzo cienka laminarna warstwa przysięenna spływająca ze ścianki dyszy po opuszczeniu jej zaczyna falować, a następnie zwiąże się w szereg toroidalnych wirów tworząc uporządkowaną strukturę przepływu (rejon rozwijającej się strugi). Natomiast w strugach wysyłanych przez długą rurę (o turbulentnych profilach prędkości początkowej) nie zauważono uporządkowanej struktury przepływu. Podobny efekt dawało przesłanianie wylotu dyszy "dzwonowej" gęstą siatką lub umieszczanie dużej chropowatości na krawędzi spływowej dyszy.

O ile strugi swobodne emitowane przez dysze "dzwonowe" czy przez długą rurę posiadają bogatą literaturę, to np. okrągłe strugi wysyłane przez otwory ostrokrawędziowe i ścianki perforowane są stosunkowo mało zbadane.

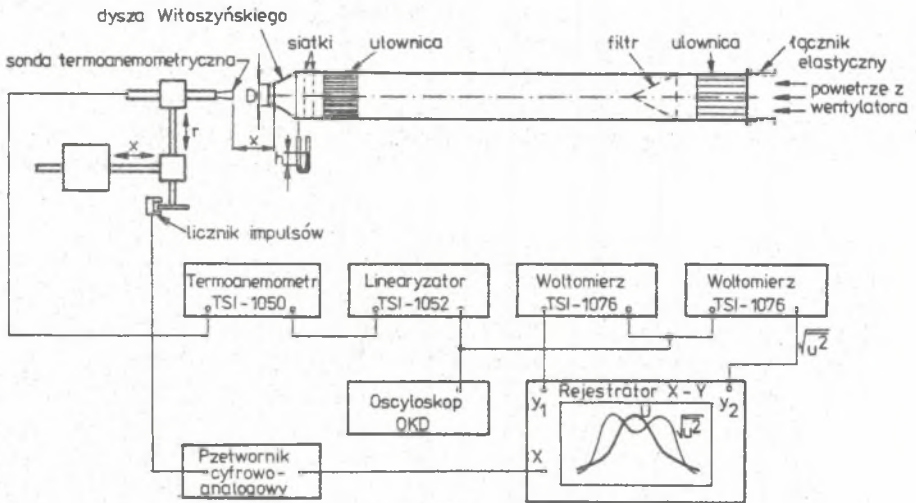
A właśnie tego rodzaju emiterzy strug mogą często występować w praktycznych zastosowaniach (intensyfikacja procesów konwekcji za pomocą uderzających strug, klimatyzacja, palniki).

W referacie prezentowane są wyniki badań doświadczalnych ewolucji profili prędkości średniej i intensywności turbulencji w okrągłej wielostrudzie swobodnej wysyłanej przez okrągłą cienką płytkę perforowaną wieloma otworami ostrokrawędziowymi w układzie heksagonalnym o współczynniku przekroju czynnego $\zeta = 0,44$.

2. Stanowisko badawcze i aparatura pomiarowa

Schemat blokowy stanowiska badawczego i użytej aparatury pomiarowej przedstawiono na rys. 1.

Otwarty tunel aerodynamiczny. Zasadniczą część tunelu stanowi rura z PCW o średnicy wewnętrznej 210 mm i długości 4,5 m. Źródłem powietrza jest promieniowy wentylator typu MWW 12 napędzany silnikiem prądu stałego o bezstopniowej regulacji prędkości obrotowej. Tunel zakończony jest dyszą Witoszyńskiego o średnicy dolotowej $\phi 212$ mm i wylotowej $D = 60$ mm (kontrakcja przekroju 12,5). Za wentylatorem znajduje się zgrubna sekcja uspokajająca (likwidująca większe zawirowania produkowane przez wentylator) oraz filtr tkaninowy w kształcie stożka. Dalsze ujednorodnienie struktury i uspokojenie przepływu zapewnia ulownica wykonana z rurek koktajlowych o średnicy $d_z/d_w = 3,8/3,4$ mm i długości 82,5 mm. Bezpośrednio przed wlotem do dyszy Witoszyńskiego znajdują się jeszcze dwie gęste siatki z cienkiego drutu ze stali nierdzewnej ($\phi 0,1$ mm, 31,7 oczek/cm). Strumień powietrza kontrolowano poprzez pomiar ciśnienia



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego i układu pomiarowego.

stacycznego przed dyszą Witoszyńskiego.

Emiter wielostrugi. Wielostruga powietrza była wysyłana przez emiter w postaci perforowanej płaskiej płytki zakładanej na wylot okrągłej dyszy o średnicy wylotowej 60 mm. Mosięzna płytka o grubości 0,5 mm była perforowana ostrokrawędziowymi otworami o średnicy 5 mm rozstawionymi równomiernie w szachownicę (heksagonalnie). Współczynnik przekroju czynnego perforacji wynosił $\delta = 0,44$.

Aparatura pomiarowa. Do pomiaru profili prędkości i intensywności turbulencji użyto termosnemometru stałotemperaturowego typu TSI - 1050 współpracującego z miniaturowym czujnikiem typu "gorący film" o średnicy 0,05 mm i długości części czulej (pomiarowej) 1 mm. Sygnał pomiarowy po zlinearyzowaniu w linearyzatorze TSI - 1052 był transformowany do postaci U oraz $\sqrt{u^2} = \epsilon$ i odczytywany na dwóch woltomierzach uśredniających typu TSI - 1076. Prędkość średnią U i wartość pierwiastka z uśrednionego kwadratu pulsacji prędkości ϵ rejestrowano równocześnie na dwupisakowym rejestratorze X-Y typu Riken-Denshi D-72B. Przesunięcia liniowe sondy poprzez przetwornik "cyfra - napięcie" przekazywano jako analogowy sygnał napięciowy na współrzędną X rejestratora.

3. Wyniki pomiarów

Na rys. 2 przedstawiono kolejne fazy ewolucji profili prędkości średniej i intensywności turbulencji w okrągłej wielostrudze swobodnej o średnicy $D = 60$ mm począwszy od przekroju początkowego (wylot z emitera) do odległości $x/D = 8$.

W przekroju wylotowym widoczny jest zespół oddzielnych profili prędkości utworzonych przez strugi emitowane przez poszczególne otwory ostrokrawędziowe. Profile prędkości strug przylegających do brzegu ścianki perforowanej wykazują niewielkie zniekształcenia. W przestrzeni pomiędzy strugami emitowanymi blisko brzegu ścianki obserwuje się podwyższoną turbulencję. Profile prędkości średniej w poszczególnych otworach posiadają wyraźną depresję w swych osiach symetrii - co świadczy o tym, że proces ekspansji strugi wypływającej z otworu ostrokrawędziowego nie kończy się w przekroju wylotowym.

W odległości $x/d = 1$ następuje zanik depresji w poszczególnych profilach prędkości średniej i dalszy wzrost turbulencji (zwłaszcza na brzegu wielostrugi).

W odległości $x/d = 2$ zaczyna się zanikanie swobodnej przestrzeni między poszczególnymi strugami. Obserwuje się wyrównywanie położenia wierzchołków pików intensywności turbulencji.

W odległości $x/d = 4$ widoczne jest połączenie się strug w pobliżu brzegu wielostrugi i silne obniżenie maksimów prędkości średniej (o ok. 35%). Tam gdzie strugi połączyły się, intensywność turbulencji spada (wskutek zaniku źródła turbulencji). Jedynie na brzegu wielostrugi, gdzie nadal istnieje gradient prędkości i zaczyna formować się rejon mieszania.

intensywność turbulencji nie spada. Natomiast w pobliżu osi wielostrugi intensywność turbulencji jest teraz większa, co jest rezultatem działania źródeł generacji turbulencji (gradientów prędkości) w postaci występowania tam jeszcze oddzielnych strug.

W odległości $x/d=12$, czyli $x/D=1$, profile prędkości i intensywności turbulencji nie wykazują już żadnych śladów poszczególnych strug. Uformowały się natomiast interesujące profile prędkości średniej i intensywności turbulencji. Profil prędkości jest wyraźnie wklęsły (ok. 10% depresja) z łagodnie zaokrąglonymi brzegami. Turbulencja w środkowej części wielostrugi (obejmującej depresję i pierścieniowe maksimum profilu prędkości) jest zadziwiająco płaska i utrzymuje się na poziomie 5,1%. Wartość maksymalną intensywność turbulencji osiąga w strefie mieszania przekraczając ponad dwukrotnie wielkość występującą w części środkowej wielostrugi.

Począwszy od odległości ok. $x/D \geq 4$ następuje zanik depresji w profilu prędkości oraz zanik płaskiego minimum w profilu intensywności turbulencji i dalsza ewolucja wielostrugi jest podobna do ewolucji strugi pojedynczej.

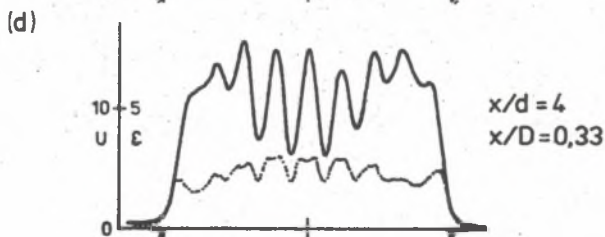
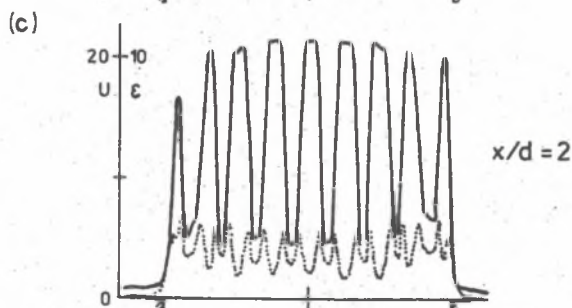
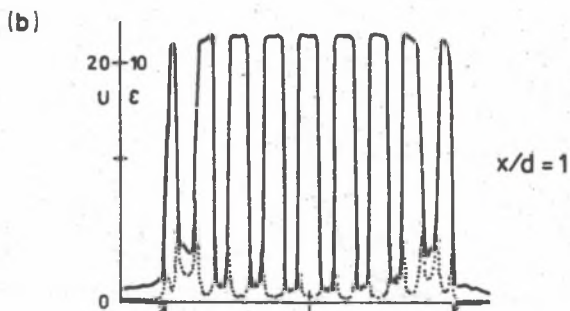
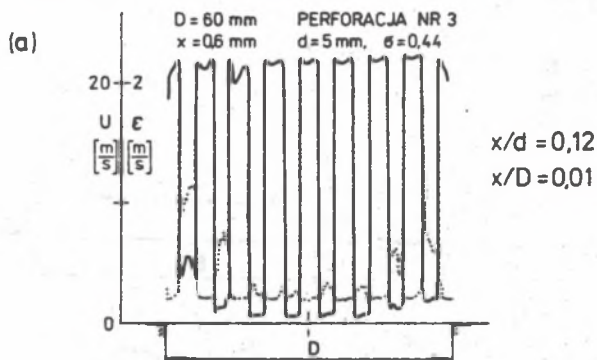
Obok kształtów bezwymiarowych promieniowych profili prędkości średniej i stopnia turbulencji do opisu zachowania się strug swobodnych służą rozkłady tych wielkości w osi strugi. Na rys. 3 przedstawiono przebiegi bezwymiarowej prędkości i stopnia turbulencji w osi wielostrugi oraz pojedynczych strug wysyłanych przez dyszę Witoszyńskiego i otwór ostrokrawędziowy. Za prędkość odniesienia przyjęto prędkość w minimalnym przekroju (uwzględniającym kontrakcję przepływu) pojedynczej strugi.

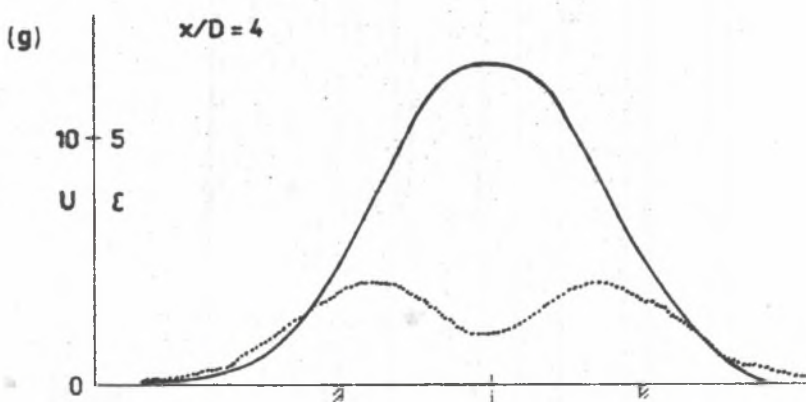
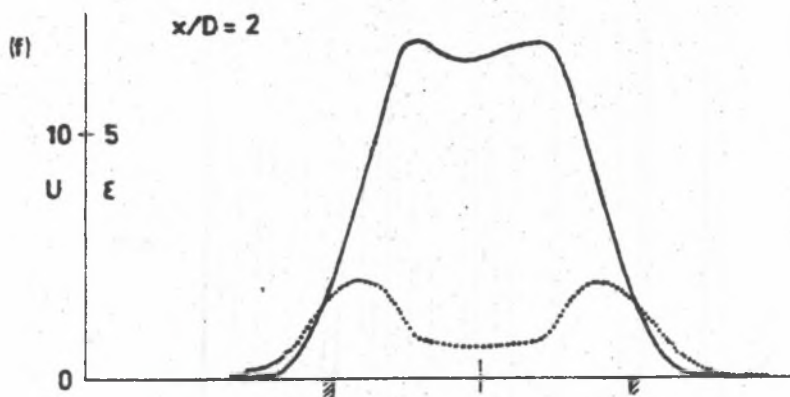
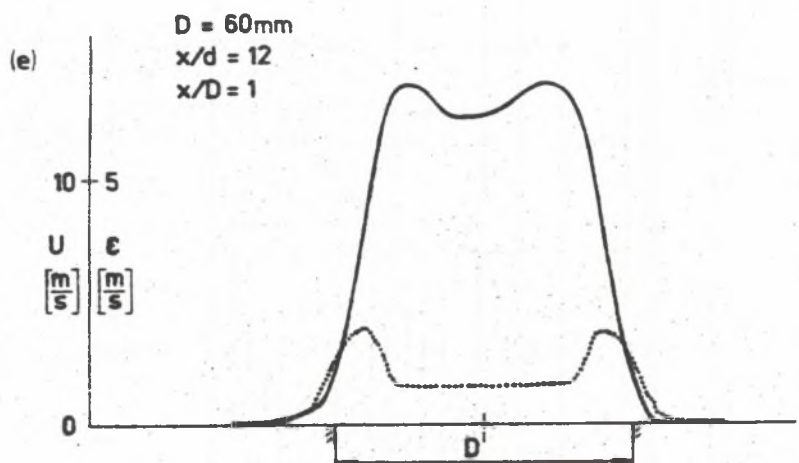
W przypadku wielostrugi zjawisko opadania prędkości w osi nabiera sensu dopiero w odległościach, przy których następuje zanik oddzielnych strug (tj. od $x/D \geq 1$). Silny spadek bezwymiarowej prędkości na odcinku $x/D = 0+1$ jest wynikiem łączenia się wielu oddzielnych strug w jedną, któremu towarzyszy szybki wzrost strumienia masy wielostrugi zasilanej przez płyn z otoczenia. W rezultacie tego procesu powstaje struga o specyficznej strukturze z pewnością zależnej od współczynnika przekroju czynnego i rodzaju perforacji emitera. W dalszej części odcinka początkowego strugi następuje reorganizacja struktury strugi prowadząca do uformowania się typowych profili prędkości i intensywności turbulencji występujących w osiowosymetrycznej strudze w dużych odległościach od wylotu z dyszy. Wzrost stopnia turbulencji w osi wielostrugi następuje w odległości powyżej $x/D = 3$, tj. wtedy, gdy strefy mieszania obejmują cały przekrój wielostrugi. Jednocześnie następuje charakterystyczne opadanie prędkości w osi.

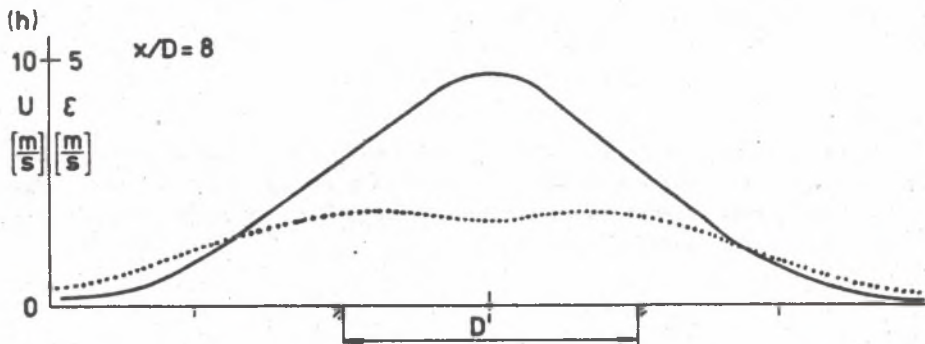
Można przyjąć, że począwszy od odległości $x = 4D$ dalsza ewolucja wielostrugi jakościowo nie wykazuje istotnych różnic w porównaniu z ewolucjami strug pojedynczych.

LITERATURA

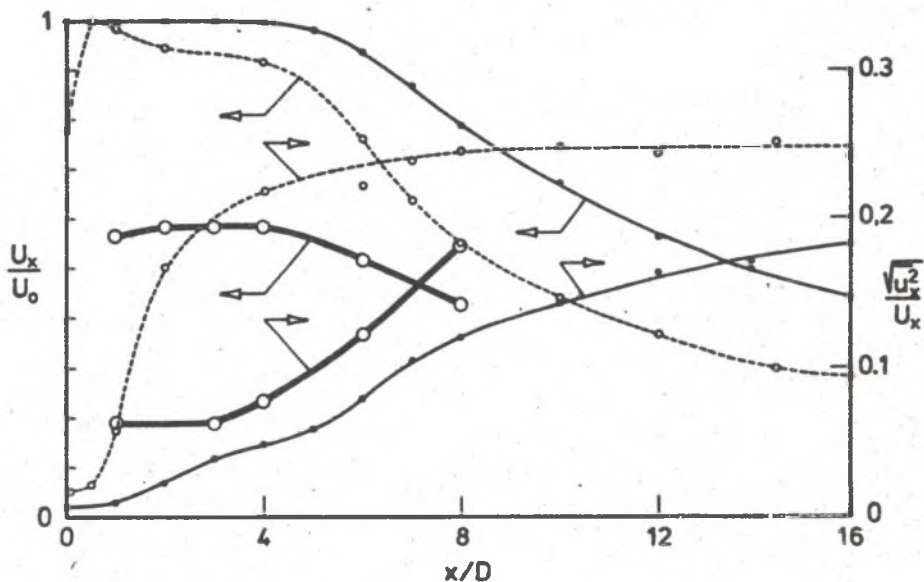
- [1] Cz.O. POPIEL; Osłowsymetryczny strumień swobodny i uderzający. Rozprawy Nr 120, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1981.
- [2] Cz.O. POPIEL; Zagadnienia uporządkowanych struktur przepływu w osłowsymetrycznych strumieniach swobodnych i uderzających, Z.N.P.P. - MRiP, Nr 22, 233 ÷ 242, Poznań 1982.







Rys. 2. Ewolucja profili prędkości średniej i intensywności turbulencji wielostrugi emitowanej przez okrągłą ściankę perforowaną ostrokrawędziowymi otworami (— U , ϵ).



Rys. 3. Przebiegi prędkości średniej i stopnia turbulencji w osi strugi wysyłanej przez:

- okrągłą ściankę perforowaną ($D = 60$ mm, $d = 5$ mm, $U_0 = 22,2$ m/s, $\delta = 0,44$, układ heksagonalny)
- △— dyszę Witoszyńskiego ($D = 14$ mm, $U_0 = 43,0$ m/s, $\sqrt{u'^2}_0 = 0,31$ m/s)
- otwór ostrokrawędziowy ($D = 10,15$ mm, $U_{max} = 10,7$ m/s, $\sqrt{u'^2}_0 = 0,14$ m/s)

РАЗВИТИЕ КРУГЛОЙ МНОГОСТРУИ ЭМИТИРОВАННОЙ
ЧЕРЕЗ ПЕРФОРИРОВАННУЮ ПЛАСТИНКУ

Р е з ю м е

В реферате представлено развитие радиальной усредненной скорости и интенсивности турбулентности измеренных в начальном районе свободной многоструи. Многоструя эмитированная через острогрозчатые отверстия перфорированные в пластинке в гексагональной системе.

EVOLUTION OF A ROUND MULTIJET PRODUCED
BY A PERFORATED FLAT PLATE

S u m m a r y

In this communication evolutions of main velocity and turbulent intensity radial profiles measured in the initial region of the free round multijet has been presented. The multijet was produced by a round, flat and perforated plates with a hexagonal system of round and sharp edged orifices.