

Uwagi krytyczne o publikacji Jerzego Prywera w *Zeszytach Naukowych Politechniki Łódzkiej*, Nr 916, *Rozprawy Naukowe*, z. 317, maj 2003 r., pt. „Wpływ parametrów konstrukcyjnych rozpylaczy strumieniowo-wirowych na ich właściwości”

W publikacji pracy habilitacyjnej przedstawiono metodykę obliczeń rozpylaczy strumieniowo-wirowych, opartą na modelu przepływu cieczy w komorze wirowej rozpylacza zaproponowaną przez doktora Prywera. Przeprowadził on równie obszerne badania eksperymentalne tego typu rozpylaczy i wykorzystał wyniki tych badań w opublikowanej pracy. Schemat rozpylacza przedstawiono na rys. 6.1 tej pracy.

Badany rozpylacz jest przedmiotem patentu [54]. Autor artykułu jest współautorem tego patentu.

Przedstawiona recenzja dotyczy struktury przepływu w badanej komorze wirowej. Moje przekonanie opiera się na tym, że Habilitant odpowiada w pełni za aktualne treści zawarte w jego publikacjach, w tym też z 2003 roku.

Uzasadniając swoje podejście do modelowanego przepływu w komorze wirowej autor pracy habilitacyjnej na str. 47 i 48, wyraża pogląd, że pełny opis teoretyczny tego przepływu jest obecnie niemożliwy i wobec tego przyjęcie bardzo prostego modelu przepływu cieczy nielepkiej i pominięcie turbulentnych naprężeń stycznych jest na obecnym etapie wiedzy koniecznością.

Takie opinie mogły by wyrażane wiele lat temu. Autor publikacji, który je pisze w roku 2003 nie ma podstawowych wiadomości na temat możliwości współczesnej komputerowej mechaniki płynów. Istnieją znane i dostępne programy, które pozwalają na numeryczne rozwiązanie przepływów w komorach wirowych. Na Politechnice Łódzkiej są dostępne programy CFX Tasc-Flow oraz FLUENT. Na stronach internetowych tych programów znaleźć można wyniki obliczeń przepływów w różnych komorach wirowych – bardziej skomplikowanych niż badana w omawianej pracy. Dla tej wystarczy dołączyć do zaprogramowanych, np. w CFX równań Naviera-Stokesa standardowy model turbulencji $k - \varepsilon$. Zostanie to wykazane w tej recenzji.

Autor publikacji nie skorzystał zatem ze współczesnych możliwości rozwiązania numerycznego trójwymiarowego, turbulentnego przepływu w swojej komorze wirowej i poznania struktury przepływu, który tam istnieje.

Pewne nadzieje na to, że struktura tego przepływu została zbadana eksperymentalnie budzi zapowiedź na str. 46, że poświęcono temu problemowi wiele uwagi, a

wyniki opublikowane są w [55].

Publikacja [55] zawiera wyniki badań eksperymentalnych rozkładów prędkości w części wylotowej modelu komory wirowej autora artykułu. Zastosowano pomiary sondą walcową o średnicy 2,5 mm. Cylinder wylotowy komory powiększono do 25 mm, aby zmniejszyć wpływ sondy na wynik pomiaru. Rzeczywiste części wylotowe komór rozpylaczy mają najczęściej średnicę 2,7 mm. Pomiary nie są zbyt dokładne, bo sonda je jednak zakłóca. Omówiono to zresztą w [55]. Jakościowe wyniki tych badań są wartościowe. Wykazano jak szybko zanika nie zawirowana osiowa struga oraz, że cały kanał jest wypełniony cieczą – nie ma rdzenia powietrznego. A co jest najważniejsze na rys. 6b tej pracy opublikowano rozkład obwodowych składowych prędkości. Rozkład ten jest typu tzw. rdzenia wiru Rankine’a. To znaczy prędkość obwodowa jest zerowa w osi komory, a jej rozkład ma prawie liniowy przebieg proporcjonalnie rosnący wraz z promieniem komory. Takie same rozkłady znajdujemy we wszystkich centralnych częściach komór wirowych, bez rdzeni gazowych, tzn. całkowicie wypełnionych cieczą, w wielu publikacjach, między innymi pod wspomnianymi adresami internetowymi programów CFX i FLUENT.

Niezmierne zdziwienie czytelnika publikacji budzi zapowiedź autora na str. 48, że swój model obliczeniowy komory wirowej opiera na założeniu obwodowego rozkładu prędkości typu wiru swobodnego (hiperboliczny rozkład). Nie bierze pod uwagę wyników pracy [55], a co jeszcze dziwniejsze krytykuje rozkład, jak to określa – „wiru sztywnego”, czyli tego z publikacji [55] – „jako prowadzącego do traktowania cieczy jak ciała sztywnego, co przepływowo i strukturalnie jest niezgodne z rzeczywistością”. Ten ostatni fragment to cytata ze str. 48 publikacji doktora Prywera.

Przytoczony powyżej cytat świadczy o tym, że jego autor nie rozumie istoty zjawisk mających miejsce w jego komorze wirowej. Ten rozkład nie wynika z traktowania cieczy jak ciała sztywnego. To jest wynik rozwiązania równań Naviera-Stokesa z odpowiednim modelem turbulencji, ponieważ naprężenia turbulentne odgrywają w rdzeniach wirowych dużą rolę. Rozwiązania te jak wiadomo są potwierdzane eksperymentalnie. Najlepszym dowodem jest publikacja autora [55].

Analiza wzoru na rozkład ciśnienia (6.13) z omawianej publikacji pozwala wyjaśnić to błędne założenie.

Taki model był używany do analiz w innym rodzaju komór wirowych. Chodzi o komory tzw. wtryskiwaczy wirowych z rdzeniami powietrznymi. Na str. 57 autor publikacji wyjaśnia, że wyprowadzając wzór (6.13) założył, że na obwodzie o promieniu r (to jest według oznaczeń podanych w artykule promień rdzenia powietrznego) panuje zerowe nadciśnienie. Dalej pisze, że wobec tego w strudze osiowej dla $r < r_r$ występować będzie podciśnienie. Oto wzór (6.13):

$$p_4(r) = \frac{1}{2} \rho r_c^2 u_c^2 \left(\frac{1}{r_r^2} - \frac{1}{r^2} \right). \quad (6.13)$$

Ten wzór dla komór wirowych z rdzeniem powietrznym może być stosowany tylko dla $r > r_r$, bo dla $r \leq r_r$ panuje w całym rdzeniu wiru stałe, założone ciśnienie. Atmosferyczne – jak założył dr Prywer lub inne, ale stałe. Dla $r < r_r$ ciśnienie spadałoby gwałtownie i dla $r \rightarrow 0$ byłoby $-\infty$. Z badań [55] wynika, że w komorach autora artykułu nie ma rdzenia powietrznego, tzn. $r_r = 0$. Wzór (6.13) daje wtedy absurdalne wyniki. Ta analiza powinna autorowi wystarczyć, aby wywnioskować,

że przyjęty rozkład prędkości w jego komórce jest błędny i trzeba przyjąć taki jaki otrzymał w [55]. Dalsze obliczenia następujące po wzorze na rozkład (6.13) są zmaganiami z osobliwościami, które musiały się pojawić – nie ma to wszystko dalej sensu.

Przy wprowadzaniu do modelu przepływu strat ciśnienia zmierzonych w badaniach eksperymentalnych komór wirowo-strumieniowych popełniony jest także błąd. We wzorze (6.52) założono, że cała zmierzona strata ciśnienia powoduje zmianę momentu pędu zawirowanej cieczy. Nie można tego zakładać. Część spadku ciśnienia będzie związana z pokonaniem znacznych oporów osiowego transportu cieczy przez komorę wirową.

Dodać trzeba, że moment M_c we wzorze (6.18) jest błędnie policzony. W rdzeniu wiru jest on 2 razy mniejszy niż w dla przyjętego stałego $u \cdot r$, które tu nie istnieje.

Wymienione błędy przy formułowaniu modelu przepływu cieczy w komórce wirowej mają poważne konsekwencje. Wprowadzone w pracy współczynniki K_g , K_w , K_k są związane z tym modelem przepływu. Są one przez autora publikacji rozmaicie modyfikowane, następnie są używane jako bezwymiarowe wskaźniki do analizowania wyników pomiarów. Niestety, wyniki pomiarów wykazują bardzo słabą korelację w stosunku do tych wskaźników. Przykłady słabych korelacji można stwierdzić na licznych wykresach, np. rys. 7.30 do 7.36, potem 7.39 do 7.41, a następnie 7.47 do 7.51.

Na zakończenie tej recenzji załączono tylko dwa wyniki rozkładów prędkości na wylocie komory wirowej tej publikacji uzyskane przy pomocy programu CFX-Task-Flow. To jest w omawianej pracy zestaw **K7/W7** dla strumienia objętości 0.1 l/s. Przestrzeń przepływową komory podzielono na 1100000 dyskretnych punktów. Model turbulencji: $k - \varepsilon$. Użyto ogólnie dostępnego komputera średniej mocy obliczeniowej. Posiadacze CFX Task-Flow mogą sprawdzić te wyniki.

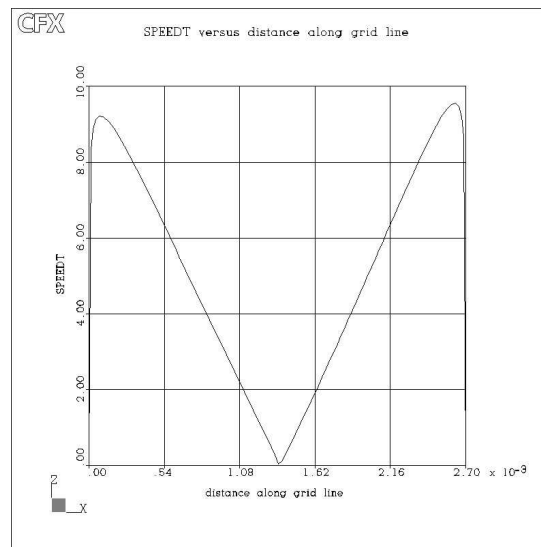


Figure 1 Rozkłady prędkości obwodowej V_θ na wylocie z komory wirowej

Jaki jest rozkład prędkości obwodowej, dobrze widać na wykresie V_θ . Nie ma on nic wspólnego z rozkładem hiperbolicznym (typu wir swobodny), za to jest podobny do tego, który został uzyskany w [55]. Rozkład składowej osiowej V_z wykazuje wypełnienie całego kanału – nie ma rdzenia powietrznego.

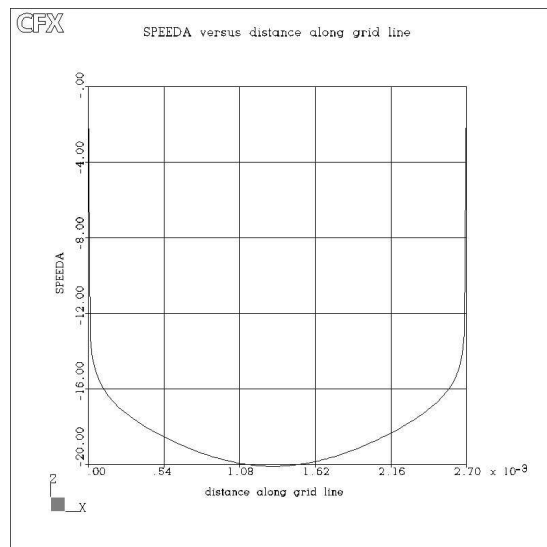


Figure 2 Rozkłady prędkości osiowej V_z na wylocie z komory wirowej

Tak więc przyjęcie błędnego rozkładu prędkości obwodowej prowadzi do błędnych korelacji otrzymanych w pracy. Praca jest dlatego błędna. Należy wobec tego sformułować poprawne rozkłady prędkości i wyprowadzić z nich poprawne korelacje, o ile takie istnieją.

prof. Zbyszko Kazimierski

Łódź, 23.03.04, ul. Piękna 35/39, m. 40.