

Marek Jakubowski, Jarosław Diakun
Katedra Inżynierii Spożywczej i Tworzyw Sztucznych
Politechnika Koszalińska

WPŁYW KSZTAŁTU POŁĄCZENIA POBOCZNYCY I DNA NA TWORZENIE SIĘ ZAWIROWANIA NAMYWAJĄCEGO W KADZI WIROWO-OSADOWEJ

Streszczenie

Praca prezentuje wyniki modelowania ruchu wirowego cieczy dla wybranych kształtów połączenia dna i poboczniczy zbiornika kadzi wirowo-osadowej. Przedmiotem analizy są procesy: wyhamowywania ruchu cieczy oraz tworzenia się zawirowania wtórnego powodującego namywanie osadu i jego identyfikacja ze zjawiskami obserwowanymi doświadczalnie w kadzi wirowo – osadowej.

Słowa kluczowe: modelowanie, symulacja, CFD, kadź wirowo-osadowa

Wprowadzenie

Kształty zbiornika kadzi wirowo – osadowej podlegały zmianom od początku lat sześćdziesiątych XX wieku, od kiedy weszły one do powszechnego użycia w browarnictwie w procesie klarowania brzezki [Denk 1997]. Zmiany kształtu zbiornika podporządkowane były potrzebie usuwania osadu, minimalizacji strat płynu (brzezki piwnej) oraz zintensyfikowaniu zjawiska namywania stożka gorącego osadu klarowanej brzezki przy jednoczesnej potrzebie maksymalnego skrócenia czasu realizacji procesu. Modyfikacje kształtu połączenia poboczniczy i dna zbiornika miały charakter intuicyjny i były wynikiem obserwacji skutków wirowania zawiesiny.

Badania na modelach rzeczywistych wymagają budowy całej ich klasy uwzględniających całą gamę zmian konstrukcyjnych. Takie badania są bardzo kosztowne, a jednocześnie ograniczone przez brak bezpośredniej metody pomiaru intensywności samego zjawiska. Rozwój metod numerycznych CFD pozwala prowadzić analizę w bardzo szerokim zakresie zmian parametrów konstrukcyjnych. Modelowanie

CFD jest jednak tylko pewnym przybliżeniem rzeczywistości, to na podstawie wyników takich analiz można wnioskować na temat charakteru symulowanego procesu.

Przykładową symulacją jednego cyklu procesu wirowania cieczy w kadzi wirowo – osadowej zaprezentowano we wcześniejszych pracach. Wykazano w nich możliwość zastosowania takiej metody dla potrzeb analizy zjawiska. Otrzymane rezultaty zweryfikowano w oparciu o wyniki badań wirowania cieczy w zbiorniku laboratoryjnej kadzi wirowo - osadowej [Diakun, Jakubowski 2004].

W niniejszej pracy przedstawiono analizę wyników obliczeń symulacyjnych wpływu konstrukcji połączenia dna z poboczną na proces tworzenia się zawieszonych namywających stożek osadu.

Obiekt badań

Modelowanym procesem jest wirowanie cieczy w zbiorniku kadzi wirowo – osadowej o objętości 0.2 m^3 . Wymiary wyjściowe zbiornika przyjęte do rozważań jako kształt podstawowy odpowiadają wymiarom cylindrycznego zbiornika laboratoryjnej kadzi wirowo – osadowej o promieniu $R_z = 0.32 \text{ m}$ i wysokości nalewu $H = 0.64 \text{ m}$. Stosunek średnicy zbiornika D_z ($2 \cdot R_z$) do wysokości słupa cieczy wypełniającej zbiornik (wysokość nalewu) H wynosił 1:1. Modelowaną cieczą w zbiorniku była woda o temperaturze 293.15 K , gęstości równej $997 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ i kinematycznej lepkości $8.8 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

Przedmiotem analizy jest wpływ konstrukcji ukształtowania dna na warunki sprzyjające powstawaniu zawieszonych namywającego. Obliczenia symulacyjne przeprowadzono dla różnych promieni zaokrąglenia połączenia pobocznic i dna (płaski – kształt podstawowy; $0.125 R_z$; $0.25 R_z$; $0.5 R_z$) oraz trzech sfazowań (pod kątem 45°) odpowiadających tym zaokrągleniom.

Zagadnienie modelowane jest w cylindrycznym układzie współrzędnych (r - promień, θ – kąt po obwodzie, z - wysokość) jako płaskie, osiowosymetryczne z wirowaniem (przepływ *swirl* z deklarowaną jako warunki początkowe prędkością o składowej normalnej do płaszczyzny symetrii). Wymuszeniem w modelach była prędkość obwodowa cieczy (w kierunku θ) o maksymalnej prędkości $1.55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, o rozkładzie liniowym od środka obiektu do ściany naczynia.

Pakiet Ansys Flotran jako narzędzie CFD pozwala na uzyskanie rozwiązania numerycznego układu równań opisującego ruch płynu. Podstawowe równania rozwiązywane przez program to: równanie zasady zachowania masy, równanie zasady

zachowania momentów oraz równania wynikające z zasady zachowania energii. Ze względu na charakter ruchu zagadnienie modelowano jako turbulentne stosując model turbulencji GIR (Nonlinear Model of Girimaji) jako rekomendowany dla modelowania problemów związanych z ruchem wirowym cieczy [Ansys INC 2005].

Badania symulacyjne

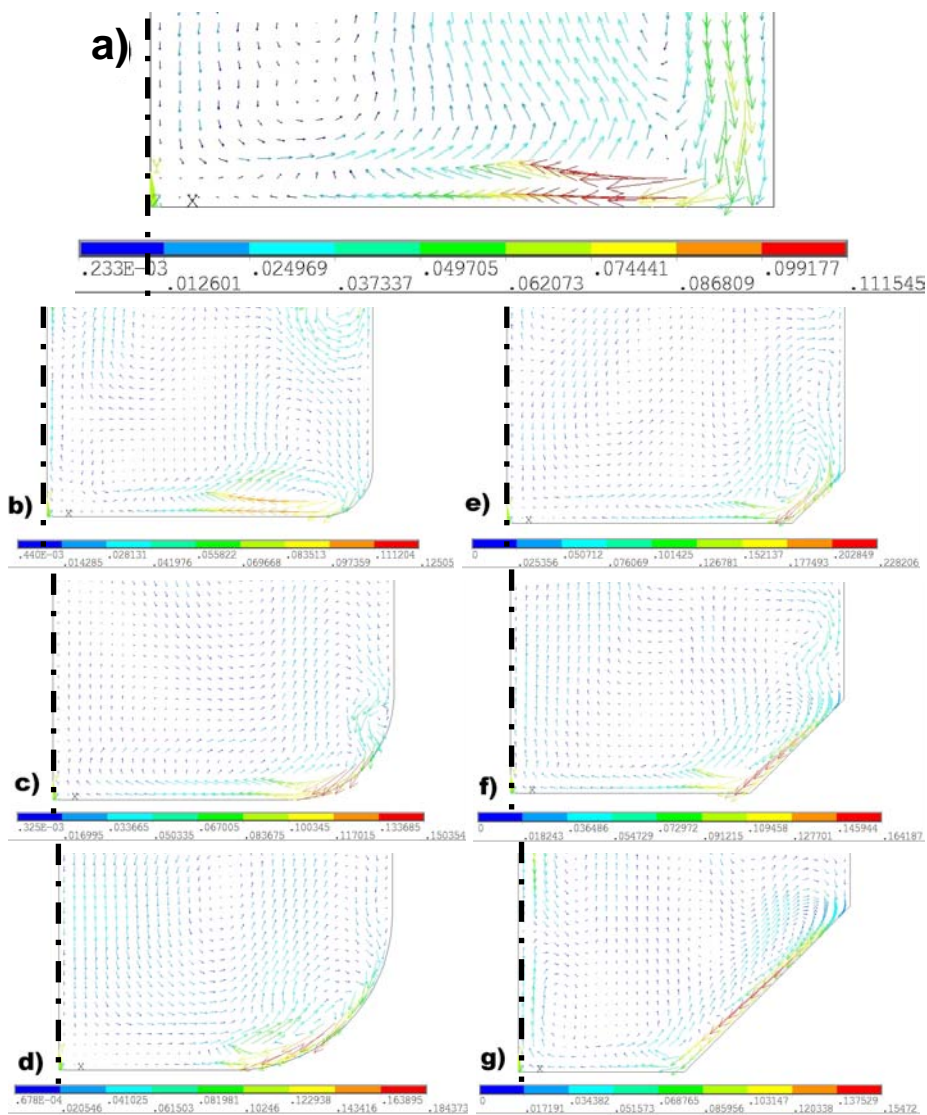
Badania symulacyjne wykonano na komputerze klasy PC z procesorem P IV 650. Wygenerowano siedem modeli, każdy o ilości elementów od ok. 25 000 do 27 000. Element wykorzystany do budowy siatki Fluid 141 posiadał 7 stopni swobody (VX, VY, VZ, PRES, TEMP, ENKE, ENDS). Wykonano siedem cykli obliczeniowych, ustalono maksymalną ilość iteracji w jednym kroku czasowym na 500. Ze względu na analizę ze swobodną powierzchnią zadeklarowano kryterium zbieżności dla ciśnienia równego $1e^{-12}$ (domyślna wartość wynosi $1e^{-6}$). Aby poprawić stabilność rozwiązania wprowadzono maksymalną wartość współczynnika relaksacji (1.0) MIR (modified inertial relaxation) dla równania zasady zachowania momentów i równania turbulencji.

W wyniku zrealizowanego cyklu badań symulacyjnych otrzymano pliki wynikowe wartości stopni swobody jako tablice wartości nodalnych i elementarnych dla każdego kroku czasowego (zapis co 1 krok czasowy zadeklarowany jako sekunda wirowania). Na podstawie wartości tablicowych wygenerowano wektorowe mapy prędkości ruchu cieczy dla interesujących, z punktu widzenia prowadzonej analizy, kroków czasowych.

Ze względu na brak możliwości otrzymania na drodze analizy numerycznej całkowitego zatrzymania układu wprowadzono wstępnie alternatywne dwa kryteria końca symulacji. Pierwszym z nich był spadek prędkości maksymalnej obwodowej (wiru pierwotnego – napędowego) poniżej 0.005 m*s^{-1} . Drugim kryterium STOP okazała się jednak wartość maksymalnej prędkości zawirowania wtórnego (wiru namywającego stożek osadu), której spadek poniżej wartości 0.001 m*s^{-1} determinował zakończenie każdego zadania symulacyjnego.

Analizie poddano powstawanie zawirowania namywającego: położenie i kształt, czas powstawania i prędkość maksymalną (rys. 2, 3).

Miejsce powstawania zawirowania namywającego zilustrowano na rys. 1. W przypadku kształtu podstawowego i zaokrąglenia $0.125 R_z$ jest ono takie samo. Zawirowanie powstaje przy dnie w odległości $0.8 R_z$ od środka zbiornika, a więc nie powstaje na wyobleniu.



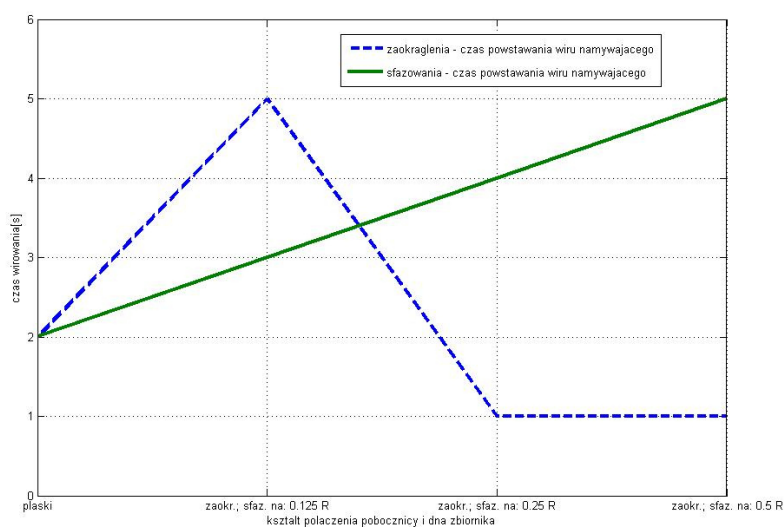
Rys. 1. Mapy prędkości ruchu cieczy w kadzi wirowo – osadowej ilustrujące powstawanie zawirowania wtórnego: a) kształt podstawowy, b), c), d) zaokrąglenia $0.125 R_z$; $0.25 R_z$; $0.5 R_z$; e), f), g) sfazowania odpowiadające zaokrągleniom

Fig. 1. Maps of the speed of liquid movement in a settling-whirl vault that illustrate formation of secondary whirls: a) basic shape, b), c), d) rounding $0.125 R_z$; $0.25 R_z$; $0.5 R_z$; e), f), g) phasing corresponding to rounding

Natomiast w wariantach konstrukcji o zaokrągleniu 0.25 i $0.5 R_z$, gdzie początek zawirowania namywającego powstaje w połowie promienia zaokrąglenia. Konstrukcje o połączeniu sfazowanym charakteryzują się powstawaniem zawirowania namywającego równoległe do ściany łączącej dno i bocznice, przy czym jego początek znajduje się na $2/3$ sfazowania. Kształt zawirowania namywającego we wszystkich analizowanych przypadkach jest kształtem spłaszczonego torusa (mapy prędkości należy traktować jako przekrój przez dowolną płaszczyznę promieniową zbiornika).

Analiza wyników symulacji

Czasy powstawania zawirowania namywającego dla analizowanych konstrukcji przedstawione zostały na rys. 2. Wir namywający powstaje najszybciej dla połączenia z zaokrągleniem większym, niż $0.125 R_z$. W przypadku sfazowań czas powstawania zawirowania namywającego wzrasta, ze zwiększaniem się wielkości sfazowania. Powstają przy tym inne wtórne zawirowania wędrujące przy bocznicie od dna do powierzchni wirującej cieczy.

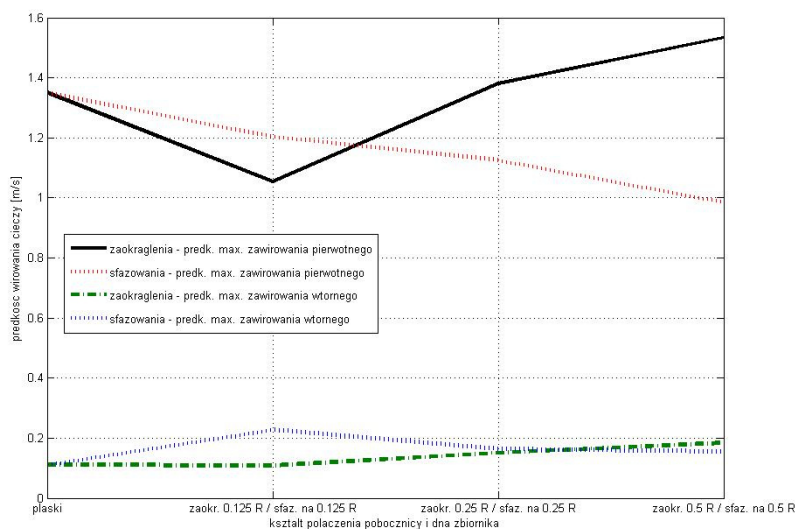


Rys. 2. Czas powstawania wiru namywającego dla analizowanych konstrukcji

Fig. 2. Time of formation of a silting whirl for analysed structures

Wartości prędkości zawirowań namywających w porównaniu z wartościami prędkości wiru pierwotnego przedstawiono na rys. 3. Warianty konstrukcyjne dla których wartości prędkości są najkorzystniejsze (max. wartość prędkości zawirowania

namywającego przy najmniejszej wartości prędkości wiru pierwotnego) to: w przypadku zaokrąglenia konstrukcje są równorzędne; w przypadku sfazowań korzystne są warianty o wielkościach 0.25 i 0.5 R.



Rys. 3. Wartości max. prędkości wiru pierwotnego i namywającego dla analizowanych konstrukcji

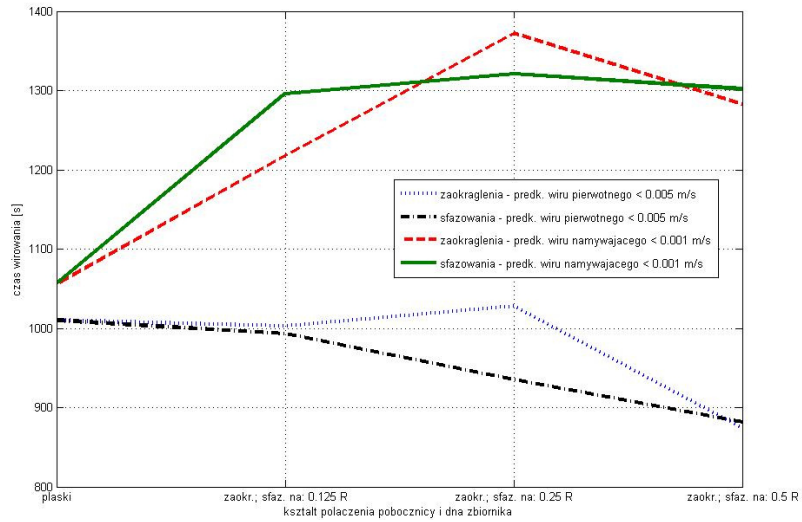
Fig. 3. Values of maximum speed of original and silting whirl for analysed structures

Na rys. 4 i 5 przedstawiono wyniki obliczeń obrazujących sytuację wirów dla kryterium prędkości przyjętych jako koniec procesu wirowania.

Czas aktywności wiru pierwotnego spada zasadniczo ze wzrostem zaokrągleń i sfazowań. Wyjątkiem jest zaokrąglenie 0.25 R_z dla którego wirowanie cieczy utrzymuje się dłużej. Ze względu na dłuższy czas utrzymywania się wiru namywającego korzystniejsze są większe zaokrąglenia i sfazowania.

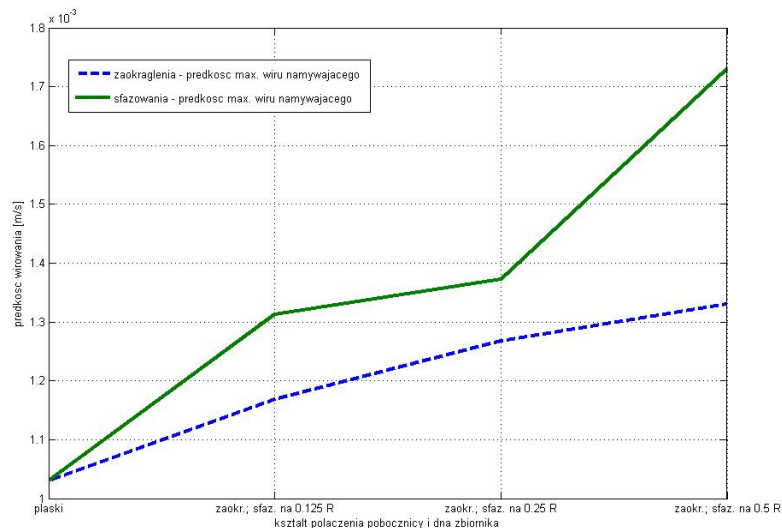
Najkorzystniejsze jest zaokrąglenie 0.25 R_z dla którego wyraźnie najdłużej utrzymuje się wir namywający oraz również najdłużej trwa wir pierwotny (rys. 4).

Najwyższą prędkość przy zaniku wiru pierwotnego zachowuje wir namywający dla większych promieni zaokrąglenia i dużych sfazowań (rys. 5). Przy tym najkorzystniejsze jest sfazowanie na 0.5 R_z .



Rys. 4. Czasy spadku prędkości wiru pierwotnego poniżej $0.005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i prędkości zawirowania namywającego poniżej $0.001 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Fig. 4. Times of decrease of original whirl below $0.005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and the speed of silting whirl below $0.001 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



Rys. 5. Wartość prędkości wiru namywającego dla kroku czasowego spadku predk. wiru pierwotnego poniżej $0.005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Fig. 5. Values of speed of silting whirl for the step of temporary decrease of the speed of original whirl below $0.005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Wnioski

1. Przeprowadzone obliczenia symulacyjne umożliwiają wieloparametrową szeroką analizę wpływu konstrukcji na efektywność działania kadzi wirowo-osadowej.
2. Konstrukcja zaokrągleń i sfazowań połączenia dna i pobocznic kadzi wpływa na tworzenie się wiru namywającego osad.
3. Ze względu na charakter, prędkość i czas trwania wiru namywającego kształt podstawowy połączenia pobocznic i dna jest najmniej korzystny.
4. Ze względu na efektywność tworzenia się, oraz prędkość wiru namywającego najkorzystniejsze jest połączenie pobocznic i dna zaokrągleniem $0.25 R_z$.
5. Zasadnym wydaje się analiza na drodze obliczeń symulacyjnych większej ilości wariantów kształtów połączeń pobocznic i dna. Szczególnie interesujące może okazać się analiza kształtu o zaokrągleniu i sfazowaniu połączenia pobocznic i dna dla wartości R_z wynikającej ze „złotego podziału” pierwotnej długości promienia zbiornika.

Bibliografia

Ansys Inc. 2005. Theory Reference.

Denk V. 1997. The Whirlpool - State of the Art. Brauwelt, 15, 31-43.

Diakun J., Jakubowski M. 2004. Symulacja ruch wirowego cieczy w kadzi wirowo-osadowej. Inżynieria Rolnicza, 5 (60). 59-67.

Badania są częścią pracy realizowanej w ramach Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego 2005-2008

INFLUENCE OF THE SHAPE OF THE CONNECTION OF SIDE SURFACE AND THE BOTTOM SURFACE ON CREATION OF A SILTING SWIRL IN A SETTLING-WHIRL VAULT

Summary

The study presents results of modelling a swirl of a liquid for chosen shapes of connection of side surface and bottom of a settling-whirl vault. The analysis includes processes of slowing down of the movement of the liquid and creation of a secondary swirl causing silting of the sediment and its identification with experimentally observed phenomena in a settling-whirl vault.

Key words: Modelling, simulation, CFD, settling-whirl vault