

Mgr inż. Monika STERCZYŃSKA  
Dr inż. Marek JAKUBOWSKI  
Prof. dr hab. inż. Jarosław DIAKUN  
Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego  
Wydział Mechaniczny  
Politechnika Koszalińska  
Dr inż. Aleksander POREDA  
Katedra Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Technicznej  
Wydział Technologii Żywności  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

## SEPARACJA OSADU ZASTĘPCZEGO W KADZI WIROWEJ WYPOSAŻONEJ W PÓŁKĘ OSADOWĄ®

### Substitute sediment separation in a cycling vat equipped with a sediment plate®

**Słowa kluczowe:** whirlpool, osad zastępczy, modyfikacja dennicy, wirowanie, brzeczka piwna.

*W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dotyczących przepływu separowanej mieszaniny wody i osadu zastępczego w zbiorniku laboratoryjnej kadzi wirowej – whirlpool, o pojemności  $V=2$  hl i średnicy  $D=640$  mm. Przedmiotem badań było określenie czasu trwania charakterystycznych etapów (stanów) formowania się stożka osadu zastępczego w zależności od wysokości otworu wlotowego oraz zastosowanej modyfikacji kształtu dna zbiornika w porównaniu do jego konstrukcji klasycznej. W ramach przeprowadzonych badań porównano czasy występowania stanów charakterystycznych formowania się stożka osadu dla 6 wariantów doświadczenia. W wyniku przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono, że użycie elementu zabudowy wewnętrznej w whirlpoolu nie zakłóca rotacji mieszaniny podczas wirowania. Nie zarejestrowano również znacznych odchyień w uzyskanych wartościach czasów (stanów) charakterystycznych formowania się stożka osadu w porównaniu z konstrukcją klasyczną. Opracowane rozwiązanie może, w warunkach przemysłowych, ułatwić spływ brzeczki i lepsze osuszanie stożka osadu.*

**Key words:** whirlpool, substitute sediment, tank's bottom modification, swirling, beer wort.

*This paper presents results of the experimental research on flows in a whirlpool laboratory cycling vat's tank (with the capacity of  $V=2$  hl and the diameter of  $D=640$  mm) filled with water and substitute sediment. The main subject of the research were the timings of the characteristic stages of the substitute sediment cone formation in relation to the shape modifications of the tank's bottom and the height, at which the tank's inlet was placed, in comparison to the traditional solution. As a part of the research we compared the timings from of sediment cone formation all 6 variants of the experiment. As a result, we determined that introduction of structural elements to the tank's interior does not have negative impact on the rotational flow of the swirled mixture. As for timing of occurrence of characteristic stages of sediment cone formation – in comparison to with the classic construction - no noticeable deviations of the obtained values were observed. The developed solution can, under industrial conditions, to facilitate the flow of wort and better drainage sediment cone.*

## WPROWADZENIE

Proces klarowania brzeczki piwnej (tzw. wybitej), w dziale warzelni każdego browaru, odbywa się z wykorzystaniem kadzi wirowej zwanej potocznie whirlpoolem. Jest to rodzaj cylindrycznego separatora pozbawionego w konstrukcji wewnętrznych elementów zabudowy. Przez umiejscowiony stycznie do płaszcza zbiornika otwór wlotowy wprowadzana jest brzeczka po procesie gotowania. Oddzielenie konglomeratów białkowych oraz chmielin w postaci osadu gorącego (przełomu) następuje naturalnie (grawitacyjnie), przy czym sedymentacja wspomagana jest ruchem wirowym mieszaniny. Powoduje on występowanie tzw. efektu filizanki herbaty (ang. „Tea Leaf Effect”), którego efektem jest gromadzenie się w centralnej strefie dennicy

zbiornika, gorącego osadu w formie stożka. Zjawisko to powstaje w wyniku oddziaływania przepływów o charakterze wtórnym, powstających, jako konsekwencja rotacji brzeczki w zbiorniku whirlpoola. Ten specyficzny rodzaj ruchu jest uzależniony od umiejscowienia i ukształtowania otworu, przez który brzeczka jest wpompowywana do wnętrza separatora. Po prawidłowym procesie wirowania ważne jest, aby przy wypompowywaniu brzeczki zachowana została granica pomiędzy osadem a brzeczka i by do dalszego etapu produkcji (chłodzenia i fermentacji), brzeczka nastawna została wykorzystana jako możliwie dokładnie sklarowana. Dlatego też, aby nie pogarszać jakości wytwarzanego piwa i zmniejszyć koszty produkcji, większość browarów, dodaje gorący osad wytrącony wskutek wirowania bezpośrednio do wysłodzin [2, 6, 7, 8, 12, 16].

Celem artykułu jest prezentacja wyników badań dotyczących przepływu separowanej mieszaniny wody i osadu zastępczego w zbiorniku laboratoryjnej kadzi wirowej – whirlpool, które mogą ułatwić spływ brzezki i lepsze osuszanie stożka osadu w warunkach przemysłowych.

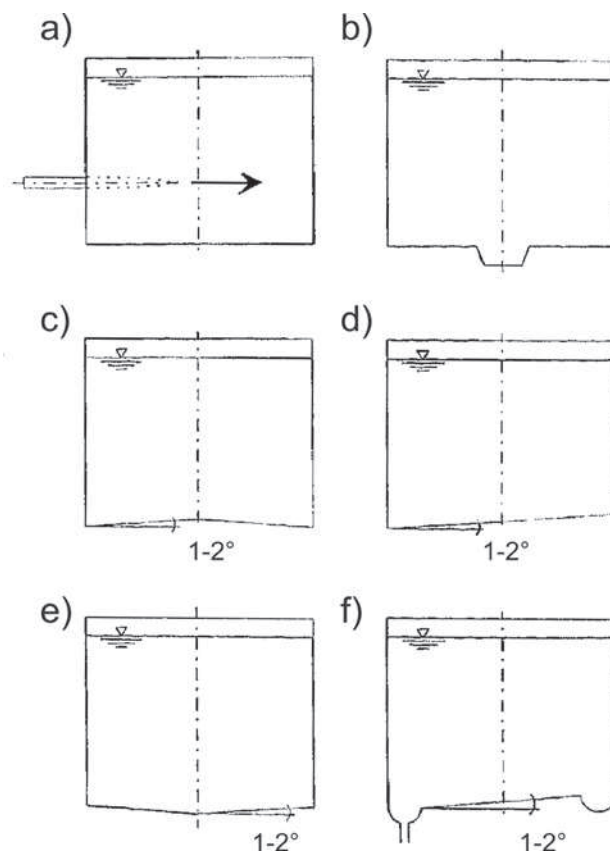
## KONSTRUKCJE KSZTAŁTU DNA W KADZI WIROWEJ

Warzelnie browarów średnich produkują od 100 tys. do 500 tys. hl brzezki rocznie. Problemy oddzielania osadu gorącego od brzezki wynikają głównie z nieprawidłowego procesu zacierania i gotowania, a także zbyt dużej prędkości wybicia brzezki czy nieodpowiedniej konstrukcji zbiornika kadzi wirowej. Dąży się do szczególnego ukierunkowania konstrukcji whirlpoola, na możliwie maksymalny odzysk brzezki piwnej bez osadu gorącego. Separator jest najczęściej zbiornikiem z dnem pochylonym o 2-3° w kierunku otworu spustowego, co umożliwia spływ samej brzezki bez osadu gorącego. Zawsze jednak istnieje utrata ok. 1% ekstraktu z brzezki. Alternatywą, którą stosują nieliczne browary, jest konstrukcja dna kadzi z wklęsłym kubkiem, gdzie gromadzi się osad. Następnie po procesie wirowania przełom jest dodatkowo odwirowywany w wirówce. Pomimo że, utrata ekstraktu maleje do 0,5%, to postępowanie takie pochłania znaczne ilości czasu oraz energii zakładu podczas produkcji. Relacja wysokości napełnienia naczynia brzezka (H) do jego średnicy (D) wynosi zazwyczaj 1:1, mimo że w rozwiązaniach techniczno-technologicznych i gotowych projektach często wynosi ok. 0,5 [1, 9, 16].

Istnieje wiele wariantów konstrukcyjnych kadzi wirowo-odsadowej, w zależności od smukłości zbiornika, zróżnicowanego kształtu dna, umiejscowienia i ilości oraz średnicy dysz zasilających i otworów spustowych. Podstawowym warunkiem doboru odpowiedniej konstrukcji dna whirlpoola jest przede wszystkim umożliwienie zebrania i utrzymania całości osadu gorącego w postaci zbitego stożka, a następnie możliwe całkowite wypompowanie sklarowanej brzezki piwnej. Na rysunku 1 przedstawiono najczęściej występujące kształty dna whirlpoola.

Kształt podstawowy to cylindryczny zbiornik z płaskim dnem (rys. 1a). Jest to kształt kadzi osadowych, charakterystyczny dla zbiorników adaptowanych, jako kadzie z zawirowaniem. Większość konstrukcji whirlpoola posiada kształt z płaską dennicą pochyloną w kierunku otworu spustowego umiejscowionego w dnie, w pobliżu jego połączenia z pobocznicy (rys. 1d). Kąt pochylenia w poszczególnych wariantach konstrukcji kadzi wynosi od 1 do 2°. Kształty przedstawione na rysunku 1c i 1f są charakterystyczne dla wariantu konstrukcyjnego whirlpool-kotła. Konstrukcja z podniesioną środkową częścią dna (rys. 1c) to rozwiązanie umożliwiające całkowity spływ brzezki piwnej i uzyskanie dobrze trzymającego się suchego stożka osadu. Usuwanie osadu następuje przez jego splukiwanie strumieniem wody z wykorzystaniem głowic myjących. Wymagane są bardzo silne strumienie wody, gdyż osad ma zwartą konsystencję. Kształt zbiornika na rysunku 1b z tzw. kubkiem osadowym (jest to wgłębienie pośrodku dna kadzi, w którym może się zbierać osad) nie znalazł powszechnego zastosowania. Ponadto rozwiązanie takie pogarsza efekt whirlpoola, ponieważ powoduje

zaburzenia w obszarze warstwy granicznej przy dnie zbiornika, a także utrudnia właściwe odsączenie stożka osadu i oczyszczanie urządzenia po realizacji etapu klarowania [3, 4, 10].



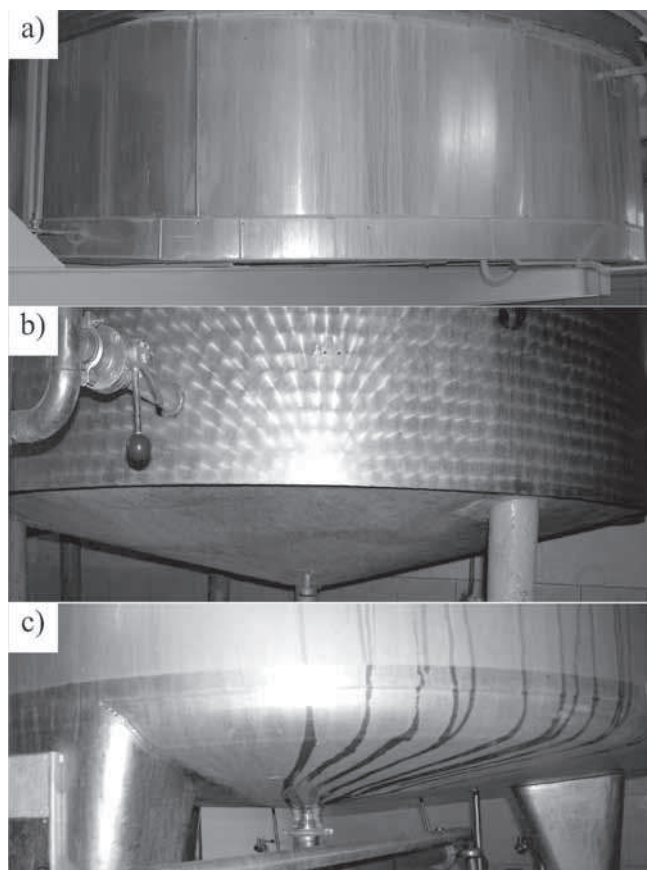
**Rys. 1.** Najczęściej występujące kształty zbiornika whirlpoola: a) podstawowy; b) z dnem, z misą osadową; c) ze stożkowym (wypukłym) dnem; d) z pochylonym dnem; e) ze stożkowym (wklęsłym) dnem; f) z dnem, z pochyloną półką osadową.

**Fig. 1.** The prevailing forms of the whirlpool tank: a) basic; b) with a bottom with a sediment trap; c) with a cone-shaped bottom (oriented inwards); d) with a tilted bottom; e) with a cone-shaped bottom (oriented outwards); f) with a bottom with a tilted sediment plate.

**Źródło:** Denk 1998 [3]

Na rysunku 2 przedstawiono fotografie przedstawiające zbiorniki whirlpoola z zastosowaniem różnych konstrukcji kształtu dna wykorzystywane w browarach. Można wyróżnić między innymi klasyczną konstrukcję dna whirlpoola z płaską dennicą pochyloną w kierunku otworu spustowego umiejscowionego w dnie (rys. 2a), o stożkowym dnie pochylonym pod kątem 20° (rys. 2b), a także zbiornik o płaskim kształcie dna z zaokrągleniem w obszarze połączenia pobocznicy i dna (rys. 2c).

Dobór urządzeń warzelni browarów średniej wielkości oparty jest często na projektach gotowych rozwiązań dostarczanych przez wyspecjalizowane firmy projektowo-wykonawcze. Konstrukcja kadzi wirowej posiadająca najbardziej odbiegający od klasycznego kształt dna (rys. 3), spośród konstrukcji zidentyfikowanych w polskich browarach



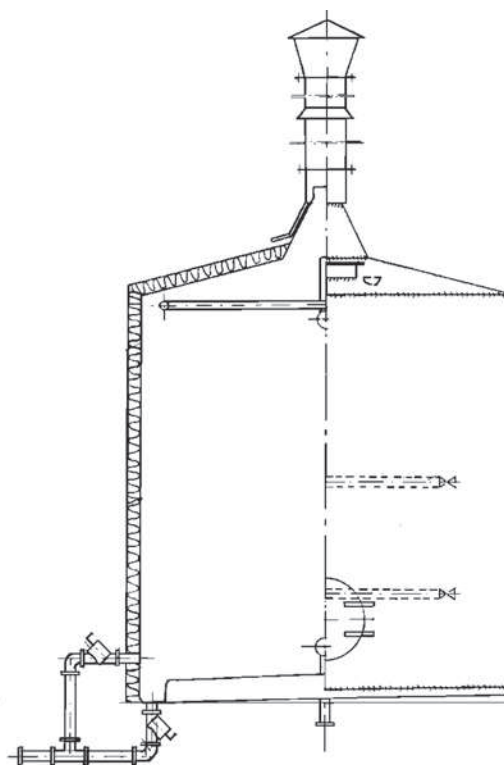
**Rys. 2. Rodzaje konstrukcji dna w zbiornikach wirłpool:** a) klasyczny kształt z płaską dennicą pochyloną w kierunku otworu spustowego umiejscowionego w dnie; b) o stożkowym dnie pochylonym pod kątem 20°; c) o płaskim kształcie z zaokrągleniem w obszarze połączenia pobocznic i dna.

**Fig. 2. Types of whirlpool's bottom's structures:** a) classic shape with a flat bottom tilted towards the outlet situated in the bottom; b) with a cone-shaped bottom tilted at 20; c) flat with a rounded wall-to-bottom joint.

**Źródło:** Opracowanie własne

to whirlpool, który pracował przez wiele lat w nieistniejącym już browarze w Słupsku. Był to zbiornik zaprojektowany przez zespół Katedry Inżynierii Spożywczej i Tworzyw Sztucznych Politechniki Koszalińskiej. Jego oryginalność wynikała z charakterystycznego kształtu będącego połączeniem dna z tzw. półką osadową o kształcie stożkowym i wypukłym (połączenie kształtów przedstawionych na rysunku 1c i 1f). Dodatkowo dno pochylone było z 2° spadkiem w kierunku otworów spustowych. Separator wyposażony był w dwie dysze do prowadzenia napełniania o średnicy 80 mm umieszczone na wysokości 300 i 760 mm oraz dwa otwory spustowe, o średnicy 80 mm, z których górny umieszczony był na wysokości 175 mm powyżej połączenia pobocznic i dna zbiornika, a dolny znajdował się bezpośrednio w dnie.

Poznanie zjawiska formowania się stożka osadu w laboratoryjnej kadzi wirowej jest przedmiotem badań od wielu lat. W publikacjach przedstawiono badania dotyczące wpływu koncentracji osadu na proces rozdzielania mieszaniny dwufazowej, a także ograniczenia w zastosowaniu tego zbiornika mających znaczenie głównie dla browarnictwa.



**Rys. 3. Szkic konstrukcyjny kadzi wirowej o dennicy zbudowanej ze stożkową półką osadową.**

**Fig. 3. A sketch of a cycloning vat with its bottom equipped with a cone-shaped sediment plate.**

**Źródło:** Jakubowski 2008 [10]

Stwierdzono przede wszystkim, iż możliwe jest klarowanie zawiesin o stężeniu do 1 % zawartości osadu [5, 15]. W innych pracach (Sterczyńska i in. [17]) stwierdzono korzystny wpływ pochylecia zbiornika laboratoryjnej kadzi wirowej (do 9°), w kierunku przeciwnym do otworów wlotowych, ze względu na przemieszczenie stożka osadu zastępczego. Takie rozwiązanie daje możliwość łatwiejszego usunięcia osadu. Zaproponowano również wykonanie dalszych badań związanych z pochyleciem dna zbiornika.

Na przykładzie nietypowej konstrukcji whirlpoola (rys.3) przeprowadzono analizę etapów (stanów) formowania się stożka osadu zastępczego wewnątrz zbiornika laboratoryjnej kadzi wirowej z tak ukształtowaną dennicą.

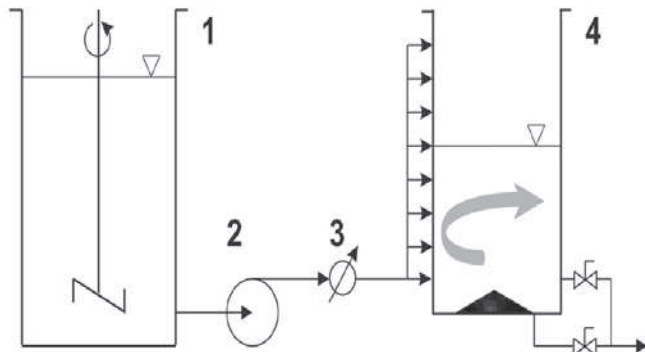
Celem pracy była analiza wpływu modyfikacji kształtu dna zbiornika laboratoryjnej kadzi wirowej i wysokości otworów wlotowych na występowanie i intensyfikację zjawiska powstawania stożka osadu zastępczego. Porównano etapy formowania się stożka w zbiorniku klasycznym i z zbudowaną na dnie stożkową półką osadową.

## METODYKA BADAŃ

Badania eksperymentalne przeprowadzono z wykorzystaniem zbiornika laboratoryjnej kadzi wirowej (rys. 4) o średnicy  $D=640$  mm, maksymalnej wysokości napełnienia  $H=960$  mm. Taka smukłość pozwala osiągnąć pojemność maksymalną napełnienia wynoszącą 3 hl. Zbiornik, wykonano z polimetakrylanu metylu (PMMA) zapewniającego przezroczystość wynoszącą ok. 92%, co pozwala obserwować

i rejestrować etapy powstawania stożka za pomocą kamery usytuowanej przy ścianie zbiornika. Laboratoryjna kadź wirowa wyposażona była w 9 otworów zasilających umiejscowionych stycznie do płaszcza zbiornika. W prezentowanym eksperymencie wykorzystano trzy otwory wlotowe położone najbliżej dna na wysokościach: 160 mm (0,25 D), 224 mm (0,35 D) oraz 320 mm (0,5 D). Podczas prowadzenia badań kadź napełniano mieszaniną wody i cząstek osadu zastępczego. Napełnianie prowadzono do osiągnięcia wysokości słupa cieczy równej 1 ( $H=D$ ). Do wizualizacji etapów formowania się stożka wykorzystano granulaty polistyrenu (PS) zabarwionego na kolor czerwony. Koncentracja cząstek osadu w separowanej mieszaninie została ustalona na poziomie w odniesieniu do objętości podstawowej napełnienia zbiornika. Taki udział frakcji stałej odpowiada zawartości osadu gorącego w brzezce po jej gotowaniu. Osad zastępczy służył jedynie wizualizacji formowania się stożka. Jego gęstość i wielość cząstek nie może zostać jednak bezpośrednio odniesiona do cząstek osadu gorącego. Mieszaninę przygotowano w zbiorniku wyposażonym w mieszadło.

Napełnianie i wirowanie w whirlpoolu rejestrowane było z wykorzystaniem kamery AVCHD HDC-SD9, a obraz efektu końcowego w postaci uformowanego stożka utrwalono cyfrowym aparatem fotograficznym Nikon D80, wyposażonym w obiektyw Nikon Nikkor AF-S 17-35 mm f/2.8D IF-ED. Rejestracja napełniania i ruchu separowanej mieszaniny pozwoliła na zidentyfikowanie czasów występowania stanów charakterystycznych podczas formowania się stożka.



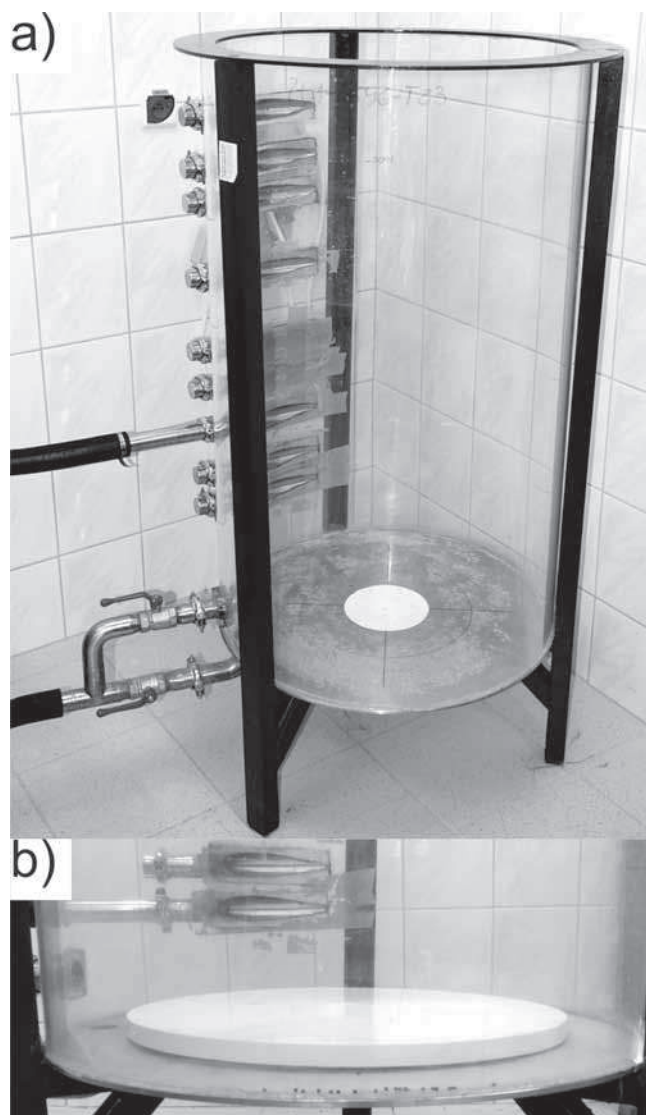
**Rys. 4. Stanowisko badawcze – schemat: 1) zbiornik do preparacji mieszaniny; 2) pompa; 3) przepływomierz PM 390; 4) laboratoryjna kadź wirowa whirlpool.**

**Fig. 4. The workbench – diagram: 1) the tank for the mixture preparation; 2) the pump; 3) PM 390 flowmeter; 4) a laboratory whirlpool cycling vat.**

**Źródło:** Jakubowski i in. [14]

Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano zbiornik posiadający zabudowę dna w postaci cylindrycznej półki wyoblonej ku górze w stożek, posiadającej średnicę 480 mm i wysokość 20 mm umiejscowionej w centralnej części dna zbiornika (rys. 5b). W ten sposób po zabudowaniu dna powstawała rynna osadowa, a dennica przybierała kształt zbliżony do rozwiązania prezentowanego na rysunku 3.

W końcowym etapie doświadczenia, w przypadku każdego z wariantów, porównano wysokości uformowanych stożków osadu zastępczego.



**Rys. 5. Zbiornik laboratoryjnej kadzi wirowej: a) widok ogólny; b) dno z zainstalowaną półką osadową.**

**Fig. 5. The laboratory cycling vat's tank a) an overview; b) the bottom equipped with a sediment plate.**

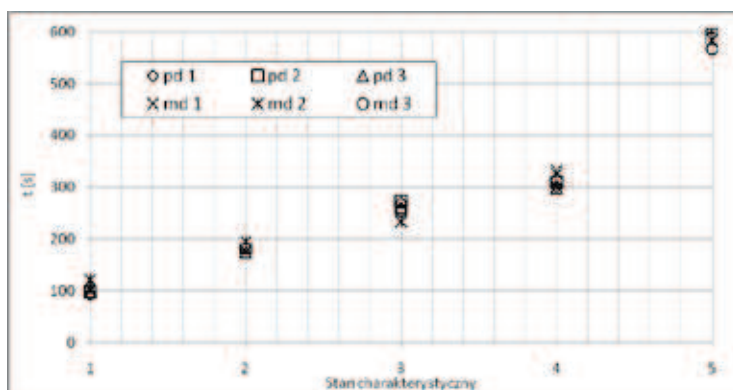
**Źródło:** Opracowanie własne

W dotychczasowych pracach, w których prowadzono wizualizację wirowania i rozdziału osadu zastępczego w zbiorniku laboratoryjnego whirlpoola (Jakubowski i in. [14]) wyodrębniono pięć charakterystycznych etapów formowania się stożka. Wyróżniono między innymi ruch cząstek osadu w przestrzeni zewnętrznej zbiornika, początek formowania się osadu w kształcie torusa, zamknięcie się torusa – początek formowania się stożka osadu, stożek ruchomy osadu oraz całkowicie uformowany stożek osadu – koniec wirowania. W ten sam sposób wykonano analizę dla przepływu i rozdziału w zbiorniku o dennicy w kształcie podstawowym i zmodyfikowanym.

Wykonano po 3 powtórzenia napełniania i rozdziału w kadzi, dla każdej z trzech wysokości napełnienia zbiornika niezabudowanego i o zmodyfikowanym kształcie dennicy. Łącznie wykonano 18 wirowań. Zbiornik separatora napełniany był przez otwory wlotowe o średnicy 50 mm, ze średnią prędkością ok. 1,2 m/s.

## WYNIKI BADAŃ

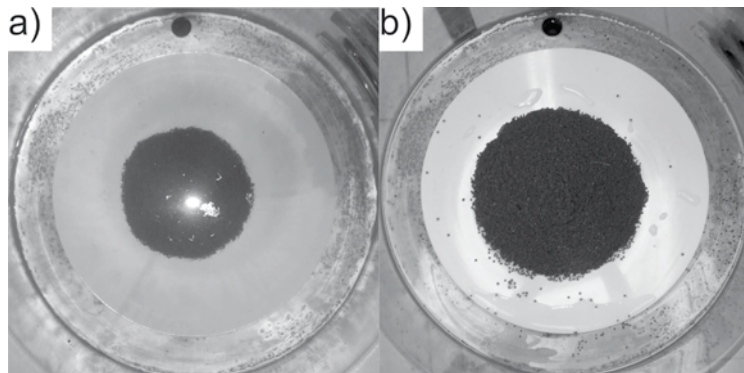
Badania eksperymentalne procesu wirowania modelowej mieszaniny pozwoliły na porównanie czasów występowania charakterystycznych etapów formowania się stożka osadu zastępczego w zbiorniku o klasycznej i zmodyfikowanej dennicy, z uwzględnieniem wpływu wysokości położenia otworów służących do napełnienia zbiornika. Na wykresie (rys. 6) przedstawiono czasy początku występowania poszczególnych stanów (etapów) charakterystycznych podczas wirowania. Wartości przedstawione na rys. 6 stanowią średnią uzyskaną dla 3 powtórzeń każdego z wariantów wirowania mieszaniny. Oznaczono również wysokości umiejscowienia otworów wlotowych od dna zbiornika: 0,25D jako (1), 0,35D jako (2) i 0,5D jako (3). Dane uzyskane dla zbiornika z płaską dennicą oznaczono, jako (pd), a dla zbiornika z dennicą o zmodyfikowanym kształcie, jako (md).



Rys. 6. Czasy występowania charakterystycznych stanów (etapów) podczas formowania się stożka osadu zastępczego w kadzi wirowej klasycznej i zmodyfikowanej (na osi odczytanych: 1 – początek formowania się torusa; 2 – zamknięcie się torusa; 3 – obracający się stożek; 4 – stożek nieruchomy; 5 – całkowite zatrzymanie i uformowanie się stożka).

Fig. 6. The timing of occurrence of the characteristic stages of the substitute sediment cone formation in a classic and modified cycling vat (on the x-axis: 1 - the beginning of torus formation; 2 - closed torus; 3 - the spinning cone; 4 - the cone in a standstill; 5 - full standstill, the cone formation has finished).

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 7. Stożek osadu zastępczego: a) po zakończonym procesie wirowaniu w zbiorniku z wodą; b) po opróżnieniu zbiornika whirlpoola.

Fig. 7. The substitute sediment cone: a) after spinning in a tank filled with water; b) after emptying the whirlpool tank.

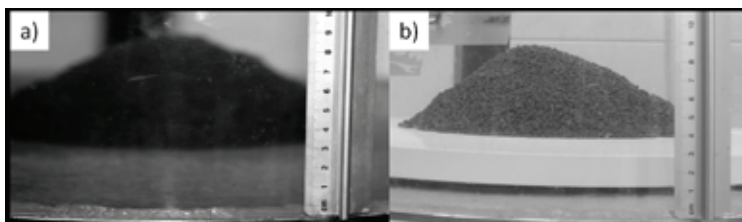
Źródło: Opracowanie własne

Można było przypuszczać, że zabudowanie dna spowoduje zaburzenia ruchu wirowego separowanej mieszaniny. Porównanie czasów pozwala jednak stwierdzić, brak opóźnienia występowania stanów charakterystycznych dla wariantu z zabudowaną dennicą. Taki kształt dennicy nie utrudnia zatem rotacji mieszaniny w zbiorniku, a w przypadku stanu 3 i 4 stwierdzono ich wcześniejsze występowania. Nie wykazano także utrudnień w rotacji mieszaniny wprowadzanej do zbiornika na rozpatrywanych wysokościach. We wszystkich doświadczeniach całkowity czas napełniania i wirowania nie przekroczył 600 s.

Zastosowanie modyfikacji dna w postaci jego zabudowy cylindryczną, stożkową półką osadową może stanowić rozwiązanie, dla którego w znacznym stopniu zredukowane zostanie niebezpieczeństwo samoistnego spływu osadu przez otwór spustowy. W warunkach przemysłowych dzięki takiemu rozwiązaniu można uniknąć wtórnego zanieczyszczenia sklarowanej brzezki gorącym osadem wypływającym z rozmywającego się stożka osadu. Na rysunku 7a przedstawiono fotografię pokazującą stożek osadu zastępczego uformowany w centralnej strefie półki osadowej oraz jego postać po odprowadzeniu sklarowanej cieczy (rys. 7b).

Efekt podwyższenia centralnej części dna zbiornika może być ułatwienie spływu brzezki i poprawienie możliwości osuszania stożka osadu. Skutkuje to także jego umiejscowieniem powyżej poziomu rynny odpływowej. Analizowana konstrukcja dna będzie przedmiotem dalszych prac w zakresie modyfikacji kształtu półki. Dotyczyć one będą przede wszystkim wyprofilowanego (np. sfazowanego) połączenia półki z płaskim dnem separatora. Taki kształt połączenia pobocznic i dna zbiornika został wskazany, jako korzystny podczas analiz symulacyjnych dotyczących przepływu w kadzi wirowej, prowadzonych przez Jakubowskiego [11]. Analizując materiał fotograficzny zarejestrowany po wirowaniu przeprowadzono porównanie wysokości stożków osadu zastępczego uzyskanych dla poszczególnych wariantów kształtu dennicy zbiornika whirlpoola. Stwierdzono występowanie niższych wysokości uformowanych stożków osadu zastępczego w przypadku zastosowanej modyfikacji kształtu dna zbiornika. Różnice te wynosiły nawet do 50% wysokości stożka uzyskanego, jako efekt wirowania w zbiorniku o klasycznym kształcie dna. Jednak pomimo tego faktu stożki osadu zastępczego w każdym wariantcie były zwarte, a ich geometria regularna. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe fotografie uformowanych stożków uzyskanych dla rozdzielacza osadu gorącego w zbiorniku o klasycznym kształcie dna (rys. 8a) i wyposażonym w cylindryczną, stożkową półkę osadową (rys. 8b).

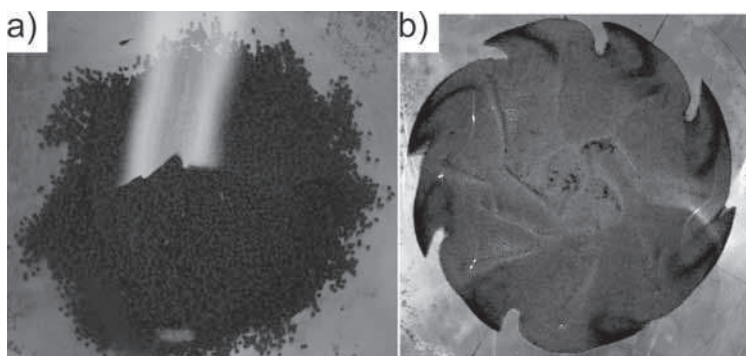
Jako końcowy etap formowania się stożka osadu zastępczego uzyskano chwilowy stan, dla którego możliwe było zaobserwowanie skupisk cząstek przypominających zakrzywione ramiona rozety (rys. 9a). Taki kształt jest charakterystyczny dla spiralnego ruchu cząstek osadu przy dnie poruszających się po tzw. spirali Ekmana (rys. 9a). Efekt ten jest jednak znacznie łatwiejszy do identyfikacji dla osadu o ponad



Rys. 8. Widok z boku na uformowany stożek osadu zastępczego uzyskanego dla whirlpoola: a) o płaskim kształcie dno zbiornika; b) z zainstalowaną półką osadową.

Fig. 8. A side view of the formed substitute sediment cone a whirlpool: a) with a flat bottom; b) with sediment plate.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 9. Formujący się stożek osadu zastępczego w kształcie rozety uzyskany dla: a) polistyrenu; b) piasku kwarcowego.

Fig. 9. The forming, rosace-shaped substitute sediment cone as for: a) polystyrene; b) quartz sand.

Źródło: Jakubowski, Diakun [13]

dwukrotnie większej gęstości w odniesieniu do ośrodka (rys. 9b) – tu np. wody i ziaren kwarcowych piasku [13].

## WNIOSKI

1. Modyfikacja konstrukcji kształtu dna laboratoryjnego whirlpoola nie spowodowała utrudnień w rotacji modelowej mieszaniny i przy formowaniu stożka osadu podczas procesu napełniania i wirowania w zbiorniku. Pozwala to przypuszczać, że zmiana konstrukcji dna kadzi wirowej w warunkach przemysłowych, może ułatwić spływ brzezki i osuszanie stożka osadu.
2. Prowadzenie napełniania badanego zbiornika przez otwory wlotowe rozmieszczone na różnych wysokościach nie spowodowało istotnych różnic w wartościach czasów uzyskanych dla poszczególnych etapów (stanów) charakterystycznych podczas formowania się stożka osadu w kadzi wirowej. W związku z tym przypuszcza się, że możliwe będzie zastosowanie dwóch otworów wlotowych do napełniania zbiornika.
3. Uzyskane wyniki wskazują potrzebę prowadzenia dalszych prac w zakresie zastosowania półki osadowej ze szczególnym uwzględnieniem modyfikacji jej średnicy, kształtu i wysokości.

## LITERATURA

- [1] **BAMFORTH C. W. 2006.** *Brewing. New Technology.* Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, 225-226.
- [2] **BRIGGS D.E., BOULTON C.A. 2004.** Brookes P.A., Stevens R., *Brewing – Science and practice*, CRC Press, BocaRaton Boston New York Washington, DC.
- [3] **DENK V. 1998.** *The Whirlpool State-of-the-art 1997.* Brauwelt International, 1, 31-43.
- [4] **DIAKUN J., JAKUBOWSKI M. 2009.** *Analiza funkcjonalna konstrukcji kadzi wirowo-osadowych whirlpool.* Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 48(1), 22-23.
- [5] **DIAKUN J., KOWALCZYK W. 2001.** *Ograniczenia w zastosowaniu kadzi wirowej do klarowania cieczy,* Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2, 24-27.
- [6] **DÜRHOFT A. 1988.** *Experimentelle Untersuchung der instationären Drehströmung im Absetzbehälter „Whirlpool“.* Fortschritt-Berichte VDI Reihe 14, nr 38. VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [7] **EINSTEIN A. 1926.** *Die Ursache der Mäanderbildung der Flußläufe und des sogenannten Baer'schen Gesetzes.* Naturwissenschaft 14, 2, 223-224.
- [8] **EBLINGER H. M. 2009.** *Handbook of Brewing. Processes, Technology, Markets,* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [9] **GEA-Huppmann. 2007.** Materiały wewnętrzne firmy.
- [10] **JAKUBOWSKI M. 2008.** *Wpływ wybranych parametrów konstrukcyjnych na proces zawirowań powstających w kadzi wirowo-osadowej podczas klarowania zawiesin.* Praca doktorska, Politechnika Koszalińska, Koszalin.
- [11] **JAKUBOWSKI M. 2010.** *Analiza symulacyjna występowania przepływu namywającego w geometrycznie specyficznych konstrukcjach kadzi wirowej.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 1, 19-22.
- [12] **JAKUBOWSKI M., DIAKUN J. 2007.** *Simulation investigations of the effect Whirlpool dimensional ratios on the state of secondary whirls.* Journal of Food Engineering, 83(1), 106-110.
- [13] **JAKUBOWSKI M., DIAKUN J. 2009.** *Ruch płynu w kadzi wirowej Whirlpool.* Inżynieria Rolnicza, 2(111), 57-65.
- [14] **JAKUBOWSKI M., STERCZYŃSKA M., PORED A. 2013.** *Etapy formowania się stożka osadu w zbiorniku testowym kadzi wirowej Whirlpool.* Inżynieria Rolnicza, 1 (141), 83-92.
- [15] **KOWALCZYK W., DIAKUN J. 2000.** *Wpływ koncentracji zawiesiny na proces rozdzielania w kadzi wirowo-osadowej.* Zeszyty naukowe Politechniki Opolskiej, Mechanika nr. 256/2000 z. 61, 181-188.
- [16] **KUNZE W. 2010.** *Technology Brewing and Malting.* VLB Berlin.
- [17] **STERCZYŃSKA M., JAKUBOWSKI M., WIŚNIEWSKI A., PORED A. 2013.** *Influence of a whirlpool tilt angles on the placement of a substitute sediment cone.* Inżynieria Rolnicza 4(148), T.2, 151-157.