

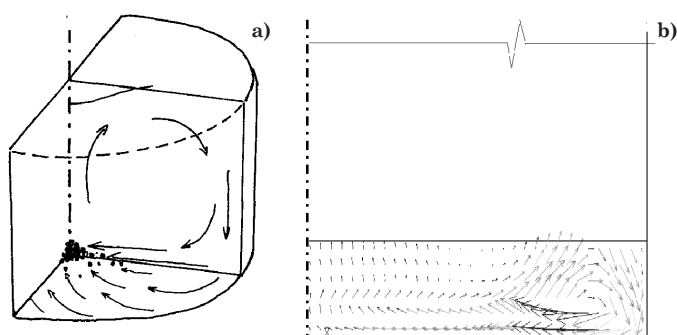
JAROSŁAW DIAKUN  
MAREK JAKUBOWSKI

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Politechnika Koszalińska, Poznań

## Analiza funkcjonalna konstrukcji kadzi wirowo-osadowych *whirlpool*

### Wstęp

Kadz wirowo-osadowa *whirlpool* jest cylindrycznym zbiornikiem, w którym poprzez styczny nalew, przy napełnianiu, ciecz wprowadzana jest w ruch wirowy. Hamujące oddziaływanie ścianek zbiornika powoduje powstanie w cieczy systemu przepływów powodując kierowanie do centrum opadających cząstek zawiesiny, tworzących na dnie stożek osadu. Zjawisko formowania stożka osadu jest niezgodne z oczekiwaniem oddziaływaniem siły odśrodkowej i między innymi *Albert Einstein* określił obserwowane zjawisko mianem „paradoksu filiżanki herbaty” [1]. Podręcznikowa ilustracja przepływu wtórnego wypełniającego całą objętość zbiornika pokazana jest na rys. 1a [2]. Wyniki własnych obliczeń symulacyjnych [3] oraz analizy uproszczonych modeli analitycznych [4] wskazują, że przepływ formujący stożek jest spłaszczonym wirem przydennym (Rys. 1b).



Rys. 1. Ilustracja graficzna przepływu wtórnego w *whirlpoolu*: a) popularna prezentacja podręcznikowa [2], b) wyniki własnych obliczeń symulacyjnych (warstwa przy dnie) [3]

Kadzie wirowo-osadowe są urządzeniami powszechnie stosowanymi w browarnictwie do usuwania gorących osadów z brzezki piwnej. Kadz pod względem technologicznym oceniana jest ze względu na stopień sklarowania oraz minimalizację strat brzezki. Pozytywne aspekty technologiczne w dużej mierze zależą od szczegółów konstrukcyjnych.

Celem pracy było dokonanie przeglądu dokumentacji konstrukcyjnej oraz bezpośrednich obserwacji kadzi wirowych typu *whirlpool* w browarach i przeprowadzenie analizy rozwiązań konstrukcyjnych pod względem skuteczności technologicznej i funkcjonalności użytkowej, w tym: klarowności brzezki, strat brzezki, czasu procesu, łatwości usuwania osadu i mycia zbiornika, oporów przepływu napełniania. Ze względu na konstrukcję analizowano proporcje wymiarowe, kształt dna, konstrukcje kolektorów napełniania i opróżniania, sposób usuwania osadu i mycia.

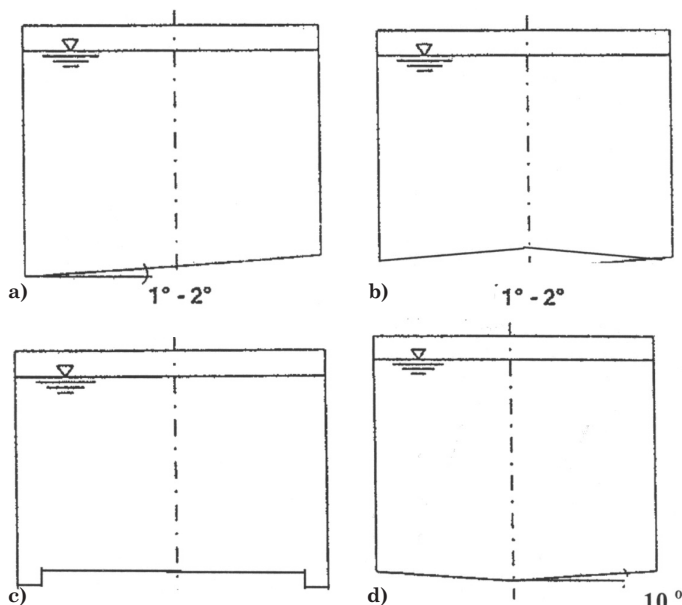
### Analiza konstrukcji

Polskimi firmami specjalizującymi się w produkcji instalacji browarniczych w tym kadzi typu *whirlpool* są *Spomasz Pleszew* i *Kates Olsztyn*. Zdarzają się konstrukcje wykonane przez zakłady produkujące zbiorniki, w tym jedna z takich konstrukcji została zaprojektowana przez autorów. Wiodącymi firmami w Europie w tym zakresie są *Ziemann*, *GEA Huppmanni Steinecker*.

Ze względu na proporcje wymiarowe określane stosunkiem wysokości słupa cieczy do średnicy ( $H/D$ ) wyróżnia się kadzie smukłe (wysokie) –  $H/D \geq 1$  i niskie –  $H/D < 1$ . Kadzie smukłe zajmują mniej miejsca i mają krótszy czas zatrzymania, ale wysoki zbiornik wydłuża drogę i czas sedymentacji osadu (Rys. 1a). W dużych kadziach, przy długiej drodze sedymentacji i krótkim czasie wirowania nie występuje tworzenie się w postaci stożka osadu i po zatrzymaniu wirowania osad może zalegać na całym dnie. Dlatego kadzie o dużych pojemnościach (rzędu 0,3–1,0 m<sup>3</sup>) konstruowane są jako niskie o  $H/D < 0,5$ . Kadzie niskie mają większą powierzchnię dna i mogą gromadzić większą ilość osadu. Umożliwia to przeprowadzenie klarowania kilku warów brzezki przy jednym zabiegu usuwania osadu. Usuwanie osadu stożka jest zabiegiem pracochłonnym i wymagającym zużycia znacznej ilości wody, zatem pod tym względem użytkowym kadzie niskie są korzystniejsze. W latach 60.–80. XX wieku standardem były kadzie proporcjonalne ( $H/D = 1$ ). Nowoczesne konstrukcje charakteryzuje stosunek  $H/D$  od ok. 0,4 do 0,7. Przykładowo jedno z największych rozwiązań kadzi typu *whirlpool* w Polsce (*GEA Huppmann* – 1,100 m<sup>3</sup>) ma proporcje  $H/D = 0,383$ .

Konstrukcja dna kadzi typu *whirlpool* powinna umożliwić: zebranie całości osadu w postaci stożka a następnie usunąć osad. Najprostsza jest konstrukcja z płaskim poziomym. Jednak powodują rozmywanie stożka osadu w końcowej fazie odbioru brzezki. Stosowane są modyfikacje konstrukcji dna umożliwiające utrzymanie stożka osadu i możliwie całkowity odzysk brzezki. Powszechnie w nowoczesnych rozwiązaniach stosowane są konstrukcje z płaskim dnem pochylonym (od 1% do 3%) (Rys. 2a) oraz z dnem stożkowym (Rys. 2d).

Bardziej złożona jest konstrukcja z podniesioną częścią środkową dna (Rys. 2b). Takie rozwiązania umożliwiają całkowity spływ brzezki i uzyskanie dobrze trzymającego się suchego stożka osadu. Usuwanie osadu następuje przez jego splukiwanie strumieniem wody z głowic myjących. Wymagane są bardzo silne strumienie wody, gdyż osad ma zwartą konsystencję. Łatwiejsze jest usuwanie osadu w konstrukcjach z dnem stożkowym (Rys. 2d). W zagłębieniu stożka pozostaje pulpa osadu z brzezką resztkową. Ujemną stroną tego rozwiązania jest duża strata brzezki.



Rys. 2. Modyfikacje konstrukcji dna zbiornika – opis w tekście

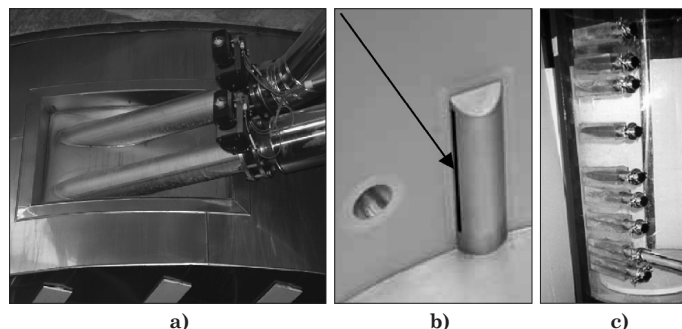
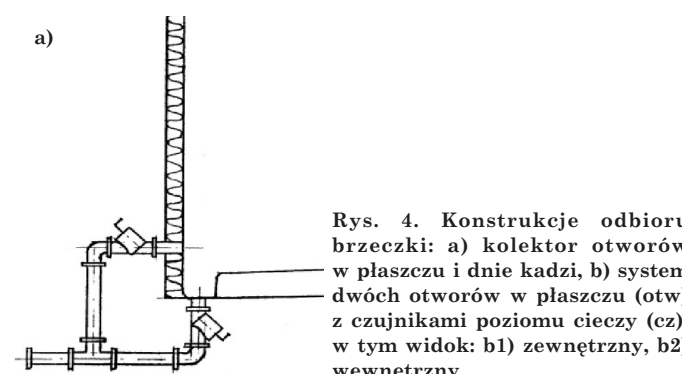
Aby uzyskać ruch wirowy cieczy stosuje się styczny napływ brzezki przy napełnianiu kadzi. Dobry efekt wirowania otrzymuje się przy prędkości wypływu brzezki w zakresie 1,5–3 m/s. Standardowe rozwiązanie to styczne wmontowanie przewodu w płaszcz zbiornika. Może być stosowana jedna dysza zasilająca montowana na około 1/3 wysokości zbiornika ( $H$ ) lub dwie – druga na wysokości 2/3. Wtedy w końcowej fazie napełniania następuje zamknięcie dolnego napływu i otwarcie górnego napływu, aby nie zaburzać warunków tworzenia się wiru formującego stożek osadu przy dnie. Oryginalnymi rozwiązaniami są konstrukcje: pary dysz zasilających oraz szczeliny zasilającej (Rys. 3 a, b). Rozwiązania te umożliwiają skrócenie czasu napełniania, przy zachowaniu dużej prędkości strumienia. W kadzi laboratoryjnej (Rys. 3c) możliwe było badanie wpływu miejsca zasilania na działanie efektu *whirlpolla* [5].

Nieefektywne okazało się w eksploatacji opróżnianie starszych rozwiązań kadzi osadowych za pomocą przewodu rurowego podwieszono do pływaka. Powolne było opróżnianie zbiornika, a niskie ciśnienie napływu uniemożliwiało całkowite jego opróżnienie, co powodowało powstawanie dużych strat brzezki. Najsprawniejszym okazał się system kolektora splywu brzezki z dwóch otworów. W pierwszym okresie następuje splyw brzezki przez otwór spustowy w płaszczu usytuowany nieco powyżej stożka osadu, a końcowe opróżnianie następuje przez otwór w dnie przy płaszczu kadzi (Rys. 4a). Taki system umożliwia opróżnianie kadzi przy dużym ciśnieniu hydrostatycznym bez rozmywania stożka osadu.

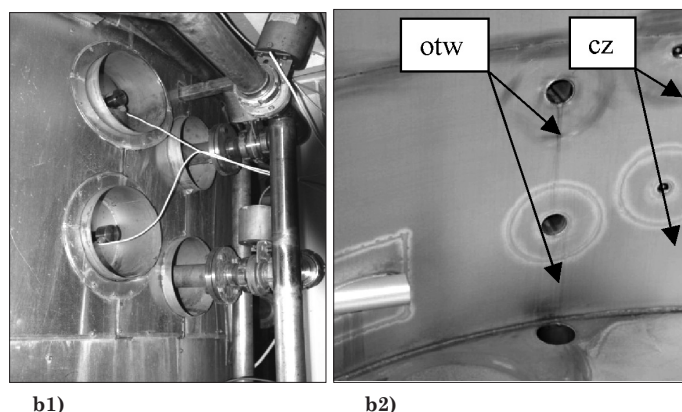
Końcowy splyw brzezki otworem w dnie jest mniej intensywny aby nie naruszać stożka osadu. Na rys. 4b pokazano ten system z dwoma otworami – górnym i dolnym w płaszczu zbiornika oraz z czujnikami poziomu cieczy. Górny otwór spustowy znajduje się powyżej stożka osadu i wysoki słup cieczy na początku umożliwia szybki splyw brzezki.

### Podsumowanie

Kadz typu *whirlpool*, wykorzystująca efekt występowania przepływów drugorzędowych, jest obecnie najsprawniejszym

Rys. 3. Konstrukcje zasilania whirlpoola: a) para dysz (1100 hl – GEA Huppmann), b) szczelina (*whirlship* – Steinecker), c) dysze na różnej wysokości w kadzi laboratoryjnej [5]

Rys. 4. Konstrukcje odbioru brzezki: a) kolektor otworów w płaszczu i dnie kadzi, b) system dwóch otworów w płaszczu (otw) z czujnikami poziomu cieczy (cz), w tym widok: b1) zewnętrzny, b2) wewnętrzny



energetycznie i funkcjonalnie urządzeniem do usuwania osadu gorącego. Jej okresowy sposób działania jest właściwy dla periodycznego funkcjonowania warzelnii. Na przykładzie analizy pracy typu *whirlpool* przeanalizowano wybrane aspekty doskonalenia urządzenia poprzez dostosowywanie rozwiązań konstrukcyjnych do wymagań funkcjonalnych technologii i obsługi.

### LITERATURA

1. A. Einstein: *Naturwissenschaft* 14, nr 2, 223 (1926)
2. W. Kunze: *Technologie Brauer und Mälzer*, Berlin, VLB, 1998.
3. M. Jakubowski, J. Diakun: *Journal of Food Engineering* 83, nr 1, 107 (2007).
4. U. Bödwadt: *ZAMM* 20, nr.5, 241 (1940).
5. W. Kowalczyk, J. Diakun: *Z.N. Politechniki Opolskiej* nr 256, Mechanika nr 61(2000)
6. V. Denk: *Brauwelt International* nr 1, 31 (1988)

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2008 jako projekt badawczy Nr N502 008 32/0963.*