

Dr inż. Sylwia MIERZEJEWSKA
 Prof. dr hab. inż. Jarosław DIAKUN
 Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
 Politechnika Koszalińska

WPŁYW CZYNNIKÓW MECHANICZNYCH NA SKUTECZNOŚĆ MYCIA RUROCIĄGU METODĄ CIP®

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010 – 2011 jako projekt badawczy Nr N N313 136838

W artykule przedstawiono wyniki pracy badawczej, dotyczącej oddziaływania czynników mechanicznych na skuteczność mycia rurociągu metodą CIP w branży mleczarskiej. Badania przeprowadzono na laboratoryjnej dwuzbiornikowej stacji mycia. Środkiem myjącym była czysta woda wodociągowa. Badano wpływ prędkości przepływu, ciśnienia, temperatury i objętości wody myjącej, na jakość procesu. Skuteczność mycia jako funkcję mierzonych wielkości aproksymowano wielomianem stopnia drugiego z interakcjami czynników. Przeprowadzono analizę otrzymanej funkcji regresji opisującej skuteczność mycia w systemie CIP. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, iż największy wpływ na skuteczność mycia ma prędkość przepływu czynnika myjącego.

Słowa kluczowe: mycie, CIP, funkcja regresji, skuteczność mycia.

WSTĘP

Proces mycia jest bardzo ważnym etapem produkcji w przemyśle spożywczym. Zachowanie odpowiednich standardów czystości pozwala na produkcję żywności o wysokiej jakości odżywczej i sensorycznej. Pierwszym etapem mycia instalacji metodą CIP jest wstępne płukanie, którego celem jest usunięcie lekko związanych z powierzchnią zabrudzeń [7]. Realizowane jest ono poprzez przepływ czystej wody lub wykorzystanie cieczy używanych już wcześniej do mycia lub płukania końcowego. Na tym etapie mycia czynniki mechaniczne przepływu są podstawowym mechanizmem usuwania zabrudzenia [1]. Wstępne płukanie poprzez usuwanie zanieczyszczeń przygotowuje instalacje do mycia zasadniczego z zastosowaniem środków myjących. Od skuteczności wstępnego usunięcia zabrudzeń zależy zużycie środków myjących w myciu zasadniczym. Czynniki oddziaływania mechanicznego są istotne w dwóch aspektach. Dobre wstępne usunięcie zabrudzeń może zmniejszyć zużycie chemicznych środków myjących. Jest to ważne z powodu dążenia do minimalizacji stosowania środków chemicznych, które powodują skażenie środowiska [6]. Drugi aspekt wynika z faktu, że oddziaływanie mechaniczne przepływu cieczy myjącej jest jednym z czynników występujących na wszystkich etapach mycia i intensyfikuje mycie we współdziałaniu z środkami chemicznymi, temperaturą i czasem mycia.

Celem artykułu jest prezentacja uzyskanych wyników pracy badawczej dotyczącej wpływu czynników hydromechanicznych na skuteczność usuwania osadów w procesie mycia instalacji w systemie CIP w branży mleczarskiej.

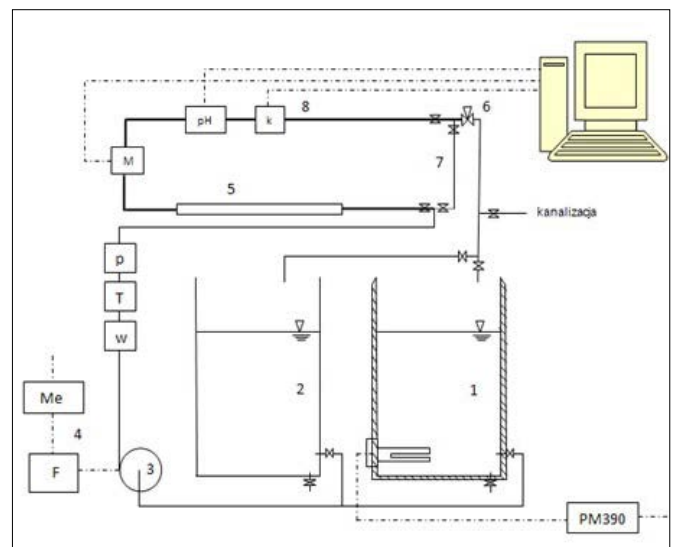
CEL I ZAKRES PRACY

Celem przeprowadzonych badań była próba oceny wpływu czynników mechanicznych na skuteczność mycia rurociągu w systemie CIP układzie zamkniętym. Przeanalizowano wpływ prędkości przepływu, ciśnienia, temperatury i objętości cieczy myjącej na skuteczność usuwania osadów białkowych.

MATERIAŁ I METODY

Stanowisko badawcze

Stanowiskiem badawczym była laboratoryjna dwuzbiornikowa stacja mycia w przepływie Clean In Place (CIP) umożliwiająca prowadzenie badań procesu mycia zarówno rurociągów jak i innych elementów, które mogą być do niej podłączane. Jedną z pierwszych wersji stanowiska została opisana w artykule [2]. Stanowisko badawcze składa się z instalacji mycia oraz aparatury pomiarowej. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 1.



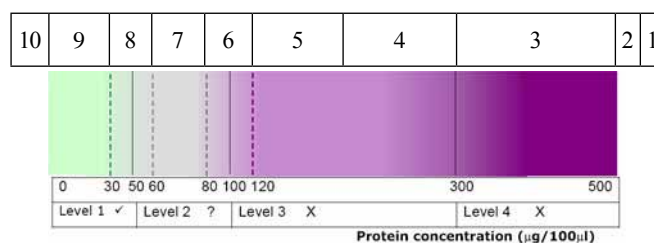
Rys. 1. Schemat laboratoryjnej stacji mycia Clean In Place. Objasnienia: F- sterowany zasilacz (falownik), Me – miernik energii, w – miernik prędkości przepływu, T – miernik temperatury, p – miernik ciśnienia, M – miernik mętności, pH – miernik pH, k – miernik przewodności, 1 – zbiornik izolowany z grzałką, 2 – zbiornik nieizolowany, 3 – pompa, 4 – falownik z miernikiem energii, 5 – odcinek kontrolny rurociągu, 6 – zawór dławiący, 7 – obwód boczny, 8 – obwód pomiarowy.

Źródło: Opracowanie własne.

Instalacja mycia składa się z dwóch zbiorników o pojemności 0,3 m³, pompy, systemu rur i zaworów. Zbiornik (1) jest izolowany i posiada wbudowaną grzałkę o mocy 3 kW. Zasilanie grzałki następuje przez termostatyczny układ regulacji umożliwiający nagrzanie i stabilizację temperatury cieczy w zbiorniku w zakresie od 10÷80 °C. Zbiornik ten służy do przygotowywania roztworów myjących oraz jako odbiornik cieczy, gdy układ pracuje w systemie zamkniętym. Zbiornik (2) nie jest izolowany. Wykorzystywany jest on do zbierania popłuczyn lub jako zbiornik wody płuczacej. Przepływ cieczy wymusza pompa GU14. Odcinek kontrolny oznaczony na schemacie numerem 5 podlegający standardowemu procesowi brudzenia i mycia ma długość 1,3 m. Odcinek badawczy brudzony był mlekiem spożywczym o 2% zawartości tłuszczu o temperaturze 75°C [4]. Cieczą myjącą była czysta woda krążąca w układzie zamkniętym.

Metoda pomiaru

Do oceny skuteczności mycia w tej pracy wybrano szybką metodę, działającą w oparciu o wykrywanie pozostałości białkowych, które powodują zmianę zabarwienia indyktorów i w ten sposób informują o stanie czystości badanej powierzchni [3]. Zastosowana metoda opiera się na reakcji barwnej miedzi i kompleksów białkowych. Do oceny skuteczności mycia wykorzystano testy Pro-tect. W celu dokładniejszej analizy opracowano skalę liczbową z punktacją od 0 do 10, opierając się na zaproponowanej przez producenta skali barwnej, wprowadzając dodatkowe przedziały (Rys. 2). Do oceny stosowano 7 przedziałów barwnych i 2 dodatkowe, w których czas odbarwienia próbki był krótszy niż zalecane 10 minut. Poziom 0 to powierzchnia po zabrudzeniu. Poziom 10 to powierzchnia całkowicie czysta. Dokładne przedziały wykrywalności i przyznaną ilość punktów przedstawia tabela 1. Wymazy pobierano z odcinka kontrolnego trzykrotnie powtarzając cykl mycia.



Rys. 2. Skala zabarwienia odczynnika w zależności od ilości białka na powierzchni i przyporządkowane im wartości punktowej skali stopnia umycia.

Źródło: Badania własne.

Plan badań

Jako czynniki wpływające na stopień umycia (jakość mycia) przyjęto cztery zmienne wejściowe zmieniające się w zakresach:

- 1) prędkość przepływu: $w = 0,5 \div 2,5$ [m/s];
- 2) ciśnienie: $p = 0,5 \div 3,0$ [bar];
- 3) temperatura cieczy: $T = 10 \div 80$ [°C];
- 4) objętość cieczy: $V = 0,08 \div 1,5$ [m³].

Badania przeprowadzono zgodnie z planem statystycznym zdeterminowanym pięciopoziomowym, rotatabilnym [5]. Stosownie do przyjętej procedury identyfikację nieliniowego obiektu wielowymiarowego przeprowadzono według algorytmu, w którym etapami są:

- 1) ustalenie przedziału zmienności czynników badanych;
- 2) przyjęcie klasy modelu matematycznego: wielomian algebraiczny drugiego stopnia z interakcjami podwójnymi;

$$\hat{Y} = k_0 + k_1 \cdot \bar{x}_1 + k_2 \cdot \bar{x}_2 + k_3 \cdot \bar{x}_3 + k_4 \cdot \bar{x}_4 + k_{12} \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + k_{13} \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 + k_{14} \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_4 + k_{23} \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 + k_{24} \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_4 + k_{34} \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 + k_{11} \cdot (\bar{x}_1)^2 + k_{22} \cdot (\bar{x}_2)^2 + k_{33} \cdot (\bar{x}_3)^2 + k_{44} \cdot (\bar{x}_4)^2$$

- 3) wyznaczenie parametrów planu badań - na podstawie 31 doświadczeń wyznacza się 15 nieznanymi współczynników $k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_{11}, k_{22}, k_{33}, k_{44}, k_{12}, k_{13}, k_{14}, k_{23}, k_{24}, k_{34}$ modelu matematycznego;

Tabela 1. Zawartość białka i cukrów w zależności od zabarwienia testów Pro-tect

Wynik testu	Pozostałość białka/cukru	Ocena
Całkowita czystość	0 µg/µl	10
Pro-tect ciecz seledynowa	0÷30 µg/µl	9
Pro-tect ciecz seledynowo -szara	30÷60 µg/µl	8
Pro-tect ciecz szara	60÷80 µg/µl	7
Pro-tect ciecz szaro - fioletowa	80÷120 µg/µl	6
Pro-tect ciecz lekko fioletowa	120÷200 µg/µl	5
Pro-tect ciecz fioletowa	200÷300 µg/µl	4
Pro-tect ciecz intensywnie fioletowa po 10 min, widoczne nieliczne wytrącenia białkowe	300÷500 µg/µl	3
Pro-tect ciecz intensywnie fioletowa po 5 min, widoczne liczne wytrącenia białkowe	Powyżej 500 µg/µl	2
Pro-tect ciecz intensywnie fioletowa po 1 min, widoczne wytrącenia białkowe na całej badanej powierzchni	Powyżej 500 µg/µl	1
Stan początkowego zabrudzenia		0

Źródło: Badania własne.

- 4) kodowanie czynników badanych;
- 5) wykonanie badań eksperymentalnych;
- 6) eliminacja wyników obarczonych błędem grubym;
- 7) obliczenie wariancji międzywierszowej i odchylenia standardowego;
- 8) sprawdzenie jednorodności wariancji w próbie;
- 9) obliczenie współczynników w funkcji regresji;
- 10) analiza statystyczna funkcji regresji;
- 11) badanie istotności współczynnika korelacji wielowymiarowej;
- 12) sprawdzenie adekwatności modelu matematycznego;
- 13) odkodowanie funkcji regresji.

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Określenie klasy modelu matematycznego, dla którego otrzymuje się najlepszy współczynnik korelacji wielowymiarowej dokonywano wykorzystując program EPlanner [5].

Na podstawie wyników badań i analizy statystycznej otrzymano funkcję regresji skuteczności mycia. Zakodowana funkcja regresji na jakość procesu mycia przy współczynniku korelacji $R=0,951$ ma postać:

$$\begin{aligned} \hat{J} = & 5,5692 + 1,4140 \cdot \bar{x}_1 + 0,2496 \cdot \bar{x}_2 - 0,0000 \cdot \bar{x}_3 + 0,4992 \cdot \bar{x}_4 \\ & + 0,2500 \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2 + 0,0000 \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 + 0,0000 \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_4 \\ & + 0,0000 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_3 + 0,0000 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_4 + 0,0000 \cdot \bar{x}_3 \cdot \bar{x}_4 \\ & - 0,2275 \cdot \bar{x}_1^2 - 0,4799 \cdot \bar{x}_2^2 - 0,1023 \cdot \bar{x}_3^2 - 0,1023 \cdot \bar{x}_4^2. \end{aligned}$$

Wyrażenia podkreślone są nieistotne w sensie statystycznym przy przyjętym poziomie istotności $\alpha=0,05$. Funkcja regresji odkodowana po zgrupowaniu czynników z pominięciem współczynników nieistotnych ma postać:

$$J = -9,4449 + 4,1588 \cdot w - 0,9100 \cdot w^2 + 3,4813 \cdot p - 1,2234 \cdot p^2 + 0,0586 \cdot T.$$

gdzie: w , p , T są parametrami warunków technologicznych procesu mycia.

Na wykresach przedstawiono graficznie powyższą funkcję jako konfigurację dwu zmiennych czynników (rys. 3). Czynniki niewystępujące na wykresach jako zmienne mają wartości stałe, centralne ($w = 1,5$ m/s; $p = 1,75$ bar; $T = 45$ °C; $V = 0,115$ [m³]).

Na podstawie analizy funkcji regresji jakości mycia można przedstawić następujące wyniki badań:

- Badania eksperymentalne potwierdziły istotność wpływu trzech czynników: prędkości przepływu, ciśnienia i temperatury na skuteczność mycia rurowciągów. Nieistotny jest wpływ objętości na jakość mycia.

- W sensie statystycznym nieistotne znaczenie ma w równaniu dziewięć członów: objętość cieczy, wszystkie interakcje oraz kwadrat temperatury i kwadrat objętości cieczy.

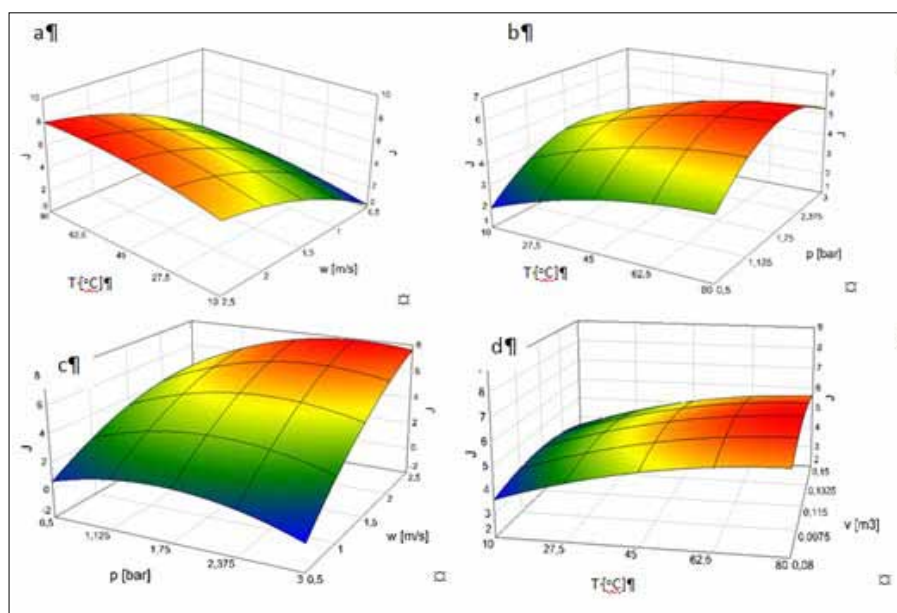
- Oddziaływanie prędkości przepływu i ciśnienia na jakość procesu mycia mają charakter funkcji kwadratowej.

- W przypadku ciśnienia występuje optimum oddziaływania na jakość mycia przy ciśnieniu 1,75 bar. Stosowanie wyższych ciśnień jest niezasadne. Ciśnienie nie zwiększa naprężeń ścinających natomiast wyższe niż 1,75 bar powoduje dociskanie zanieczyszczeń do mytej powierzchni i utrudnia ich usuwanie.

- W przypadku wpływu prędkości; dla niższych prędkości jej przyrost daje lepsze efekty mycia, a dla wyższych wpływ jest mniejszy.

- Oddziaływanie temperatury procesu na skuteczność mycia ma charakter linowy.

- Największy wpływ na skuteczność mycia ma prędkość przepływu czynnika myjącego.



Rys. 3. Wykresy skuteczności procesu mycia w funkcji: a – temperatury (T), prędkości przepływu (w), ciśnienia ($p = \text{const.}$), objętości ($V = \text{const.}$); b – temperatury (T), ciśnienia (p), prędkości przepływu ($w = \text{const.}$), objętości ($V = \text{const.}$); c – ciśnienia (p), prędkości przepływu (w), temperatury ($T = \text{const.}$), objętości ($V = \text{const.}$); d – temperatury (T), objętości (V), ciśnienia ($p = \text{const.}$), prędkości przepływu ($w = \text{const.}$).

Źródło: Badania własne.

WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań eksperymentalnych wynika, że jakość mycia w systemie Clean In Place jest bardzo złożonym procesem. Jakość zależy od wielu parametrów związanych z warunkami realizacji procesu mycia. Nieprawidłowy ich dobór prowadzi do otrzymania niedostatecznie umytej powierzchni stanowiącej zagrożenie mikrobiologiczne. Opracowane równania regresji mogą być wykorzystane do określania warunków procesu mycia ze względu na wymaganą skuteczność procesu. Zaleca się dążenie do osiągnięcia jak najwyższej jakości mycia przy najniższym zużyciu energii i najniższym stężeniu środków myjących.

Z powyższej analizy wynika, że na skuteczność mycia największy wpływ ma prędkość przepływu. Należy zatem dążyć do ograniczania ilości i temperatury cieczy myjącej, a maksymalizować należy przede wszystkim prędkość przepływu cieczy.

LITERATURA

- [1] **DIAKUN J. 2011.** *Analiza oddziaływania czynników w procesie mycia instalacji i urządzeń.* Inżynieria Rolnicza ISSN 1429-7264, nr 1(126), 23-28.
- [2] **DIAKUN J., MIERZEJEWSKA S. 2005.** *Stanowisko do badań eksperymentalnych warunków i skuteczności mycia.* Inżynieria i Aparatura Chemiczna t. 44(36), nr 1-2, 33-34.
- [3] **DIAKUN J. 2011.** *Metody i kryteria oceny stopnia umycia powierzchni urządzeń przetwórstwa spożywczego.* Inżynieria i Aparatura Chemiczna.
- [4] **DIAKUN J., MIERZEJEWSKA S. 2005.** *Ocena stopnia zabrudzenia i skuteczność mycia powierzchni ze stali kwasoodpornej.* Inżynieria Rolnicza 11(71) Kraków, 325-331.
- [5] **KUKIELKA L. 2002.** *Podstawy badań inżynierskich.* Politechnika Koszalińska, PWN, Warszawa.
- [6] **[6] Orth R. 1998.** *The importance of disinfection for the hygiene in the dairy and beverage production.* International Biodeterioration and Biodegradation 41, 201-208.
- [7] **PIEPIÓRKA J. 2009.** *Analiza warunków występowania biofilmów w systemach CIP.* Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, nr 2, 113-117.

INFLUENCE OF MECHANICAL FACTORS ON THE CLEANING EFFECTIVENESS ON THE PIPELINE IN CIP METHOD

SUMMARY

Paper presents the measured results the impact of mechanical factors on pipeline cleaning effectiveness CIP. The study was conducted on laboratory for double-tank cleaning station. Cleaning agent was running water. The study was conducted to determine the effect of flow, pressure, temperature and volume of wash water in the quality of the process. Cleaning effectiveness as a function of the measured values were approximated by second degree of polynomial with interaction of input factors. The regression function describing the effectiveness of CIP system was analyzed. The highest influence on the effectiveness of cleaning has of flow velocity.

Key words: *cleaning, CIP, regression function, the effectiveness of cleaning.*