

## ANALIZA ODDZIAŁYWANIA CZYNNIKÓW W PROCESIE MYCIA INSTALACJI I URZĄDZEŃ

Jarosław Diakun

*Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Politechnika Koszalińska*

**Streszczenie.** W trakcie mycia instalacji i urządzeń powszechnie obecnie stosowaną metodą CIP (Clening In Place) występują specyficzne warunki usuwania zanieczyszczeń i utrzymania czystości powierzchni. Czynniki mechaniczne ograniczone są do oddziaływania cieczy w przepływie lub uderzania strugi cieczy. Dąży się do minimalizacji zużycia czynników chemicznych, ponieważ zbyt wysokie ich stężenie nie jest obojętne dla środowiska. W artykule przeanalizowano oddziaływanie czynników mechanicznych, ich skuteczność, zagrożenia i koniecznych badań. Celem jest analiza warunków i parametrów oddziaływania mechanicznego, aby uzyskać zadawalający efekt – czystość i sterylność mytych obiektów.

**Słowa kluczowe:** mycie, metoda CIP, czystość, czynniki mycia

### Wprowadzenie

Mleczarstwo jest jedną z pierwszych branż przemysłu spożywczego, w której wprowadzono zamknięte instalacje przetwarzania. Mleko – surowiec w postaci cieczy – można stosunkowo łatwo przemieszczać między urządzeniami za pomocą rur i pomp, tworząc w ten sposób zamknięty układ instalacji technologicznej przetwarzania. Mleko w zamkniętym układzie zabezpieczone jest od oddziaływania szkodliwych zewnętrznych czynników fizycznych i mikrobiologicznych. Problemem staje się jednak mycie. Urządzenia można demontować do mycia, ale trudne jest czyszczenie i mycie długich odcinków rurociągów. W połowie dwudziestego wieku w USA wprowadzono zaostrzone rygory higieniczno - sanitarne produkcji żywności dla wojska. Poszukiwano metod mycia i zachowania czystości oraz sterylności instalacji produkcyjnych. Jedną z opracowanych metod jest mycie instalacji rurowych i urządzeń poprzez przepływ przez nie czynników myjących. Ze względu na to, że mycie urządzeń nie wymagało demontażu i przenoszenia elementów na stanowiska mycia, nazwano ją metodą mycia na miejscu (Cleaning In Place – w skrócie CIP) [Herreid, Le Roy Luetscher 1963; Bandler, Holland 2002]. Skrótowiec CIP jest obecnie w branżach przemysłu spożywczego, gdzie występują rurowe systemy instalacji (np. mleczarstwo, browarnictwo, przemysł tłuszczowy) znanym określeniem. Oznacza mycie instalacji technologicznych z zastosowaniem specjalnych stacji mycia, wymuszających przepływ czynnika myjącego przez instalację technologiczną [Lewicki 1994; Tamime 2008].

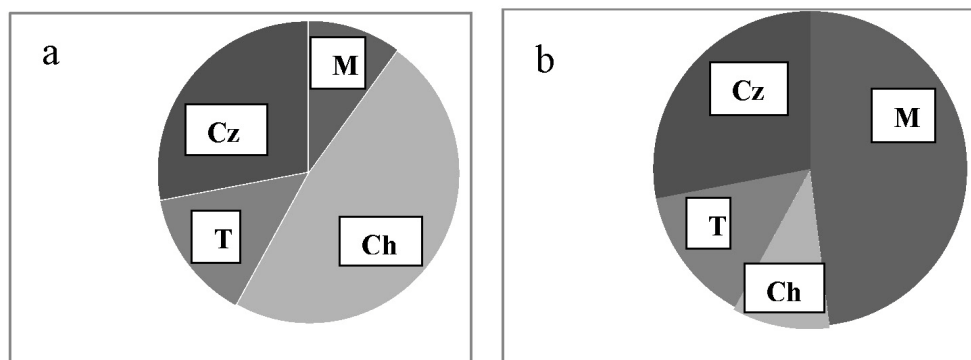
Stacje mycia CIP jest to instalacja składająca się ze zbiorników z mieszalnikami i podgrzewaczami (na roztwory myjące, wodę, ciecze dezynfekcyjne), pomp, układu rur z zawo-

rami, układu sterującego. W procesie mycia podłączane są do instalacji technologicznej i za ich pomocą wymuszany jest przepływ cieczy myjących, płuczających i dezynfekcyjnych, przez układ rur i urządzeń technologicznych. Naczelnym warunkiem prowadzenia procesu jest osiągnięcie zadawalającego efektu umycia. Stacje CIP są obecnie podstawowym wyposażeniem technicznym warunkującym zabezpieczenie czystości instalacji technologicznych w przemyśle spożywczym [Diakun, Mierzejewska 2004]. W obecnym stanie wiedza w zakresie mycia metodą CIP jest niedostateczna w stosunku do potrzeb i stosunkowo zaawansowanego stanu techniki [Piepiórka, Diakun 2007; Tamime 2008].

Celem artykułu jest analiza oddziaływania czynników warunkujących skuteczność mycia instalacji i urządzeń metodą CIP.

### Czynniki oddziaływania w procesie mycia metodą CIP

W całościowym oddziaływaniu w procesie mycia wyróżnia się cztery czynniki: mechaniczne, chemiczne, temperatura i czas. Sumaryczne ich działanie, symbolicznie przedstawia się w postaci koła Sinnera [Tamime 2008], w którym wielkość wycinków czterech pól charakteryzuje istotność lub wartość oddziaływania poszczególnych czynników. Mycie metodą CIP przeprowadza się bez demontażu instalacji (instalacja jest zamknięta). Trudno jest zatem bezpośrednio sprawdzić jakość umycia. Aby uzyskać skuteczne umycie i zapewniona była czystość powierzchni po procesie stosuje się aktywne oddziaływanie środków chemicznych oraz wydłuża się czas.



Źródło: opracowanie własne autora

Rys. 1. Koła Sinnera proporcji oddziaływania czynników mycia: **Ch** – chemiczne, **M** – mechaniczne, **T** – temperatura, **Cz** czas; przy dominującym oddziaływanie czynników: a) chemicznych, b) mechanicznych

Fig. 1. Sinner's wheels for the proportion of the impact of washing factors: **Ch** – chemical, **M** – mechanical, **T** – temperature, **Cz** – time; for prevailing impact of the following factors: a) chemical, b) mechanical

Proporcje oddziaływania poszczególnych czynników może ilustrować koło Sinnera – rys. 1a, w którym wycinki ilustrujące oddziaływania chemiczne i czas są odpowiednio duże. Stężenie środków chemicznych dla zapewnienia skutecznego mycia ma negatywne skutki w postaci zrzutu aktywnie chemicznych ścieków. Dążeniem jest, aby zmniejszyć do

koniecznego minimum stosowania środków chemicznych a efekt umycia osiągnąć przez oddziaływanie mechaniczne. Konieczne są badania, jak osiągnąć efekt umycia przy minimalnym stężeniu środków chemicznych, zwiększonym oddziaływaniu czynników mechanicznych oraz jaki jest konieczny czas i optymalna temperatura ze względu na koszty energii. Zamierzony, poszukiwany cel proporcji czynników mycia można zobrazować na rys. 1b, gdzie największe pole wycinka przypada czynnikom mechanicznym.

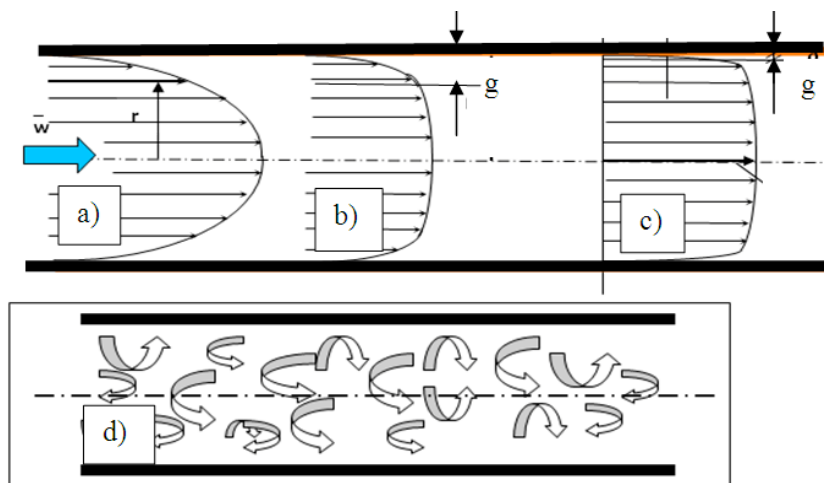
### **Rodzaj i charakter oddziaływujących czynników mechanicznych**

W procesie mycia metodą CIP następuje usuwanie zabrudzenia za pomocą wody lub roztworów wodnych środków myjących. Ze względu na siły oddziaływania mechanicznego są to procesy hydromechaniczne. Mycie rur oraz powierzchni urządzeń, które tworzą przestrzenie umożliwiające wytworzenie intensywnego przepływu cieczy (np. przestrzeni między płytami wymiennika ciepła, wewnątrz bąka wirówki) następuje przez działanie naprężeń ścinających przepływu. Ten mechanizm jest najpowszechniejszy w myciu metodą CIP. Z powierzchni tworzących duże przestrzenie (np. zbiorniki) brud usuwany jest przez uderzanie strumienia cieczy wypływającego z dyszy z dużą prędkością lub przez spływ swobodny cieczy po ściance. Najintensywniejsze oddziaływanie mechaniczne można uzyskać za pomocą silnego strumienia cieczy, natomiast najniższa intensywność mechaniczna występuje przy swobodnym spływie cieczy po ściance. Takie działanie jest skuteczne tylko względem słabo związanych z powierzchnią i dobrze rozpuszczalnych w wodzie zanieczyszczeń np. przy myciu zbiorników po soku owocowym bezpośrednio po jego opróżnieniu, gdy zanieczyszczenie jest jeszcze świeże i daje się łatwo splukiwać. W przypadku zanieczyszczeń trudno usuwalnych (np. zbiornik po tłuszczu, mleku), gdy możliwy jest tylko ten mechanizm działania mechanicznego, konieczne jest zastosowanie aktywnych środków chemicznych.

### **Analiza skuteczności mycia w przepływie**

Intensywność i skuteczność mycia w przepływie zależy od charakteru przepływu. Zalecany jest przepływ zdecydowanie burzliwy o liczbie Reynoldsa  $Re > 10000$  [Lewicki 1994; Tamime 2008]. Występują dwa aspekty korzystne stosowania dużej wartości  $Re$ . Dla wysokiego stopnia burzliwości przepływu (duża wartości  $Re$ ) występuje mała wartość granicznej warstwy laminarnej, zatem duża prędkość ścinania (rys. 2a,b,c) i w efekcie duże naprężenia ścinające na ściance, które powodują zrywanie zabrudzeń. Drugim korzystnym działaniem przepływu burzliwego jest występowanie intensywnych zawirowań w przepływie (rys. 2d), które przeciwdziałają sedymentacji osadu zabrudzeń i ich wyprowadzeniu wraz z cieczą.

Przeprowadzono obliczenia naprężeń ścinających w warstwie granicznej przy ściance rury o średnicy 36 mm dla wody – wyniki przedstawiono w tabeli 1. Jak widać dla przepływu laminarnego ( $Re=2400$ ) naprężenia ścinające są nieznaczące. Dopiero dla dużych wartości liczb Reynoldsa (wysokiej burzliwości) naprężenia są rzędu hektopaskali i mogą mieć znaczenie techniczne. Jednocześnie widać, że określanie warunków przez stopień burzliwości – wartością liczby  $Re$ , jest niejednoznaczne. Naprężenia ścinające istotnie zależą od prędkości przepływu i temperatury.



Źródło: opracowanie własne autora

Rys. 2. Ilustracja prędkości przepływu: a) laminarnego, b) o małej burzliwości, c) o dużej burzliwości, d) zawirowań ruchu burzliwego, g- laminarna warstwa graniczna  
 Fig. 2. Illustration of flow velocity: a) laminar, b) with low turbulence, c) with high turbulence, d) turbulent motion whirls, g - laminar boundary layer

Tabela 1. Prędkość przepływu, grubość warstwy laminarnej, naprężenia ścinające i prędkość ścinania dla różnych wartości liczby Re i temperatury  
 Table 1. Flow velocity, laminar layer thickness, shearing stresses and shear velocity for different values of Reynolds number (Re) and temperature

Parametry	Re=2400		Re=10.000		Re=100.000	
	20 <sup>0</sup> C	60 <sup>0</sup> C	20 <sup>0</sup> C	60 <sup>0</sup> C	20 <sup>0</sup> C	60 <sup>0</sup> C
Prędkość przepływu [m·s <sup>-1</sup> ]	0,067	0,032	0,28	0,13	2,79	1,33
Grubość warstwy laminarnej [m]	0,018	0,018	2,9x10 <sup>-4</sup>	2,9x10 <sup>-4</sup>	2,1x10 <sup>-6</sup>	2,16x10 <sup>-6</sup>
Prędkość ścinania [1·s <sup>-1</sup> ]	3,72	1,76	996,42	464,01	1301775,	613057,
Naprężenia ścinające [Pa]	0,0037	0,0008	1,0004	0,218	611,799	288,137

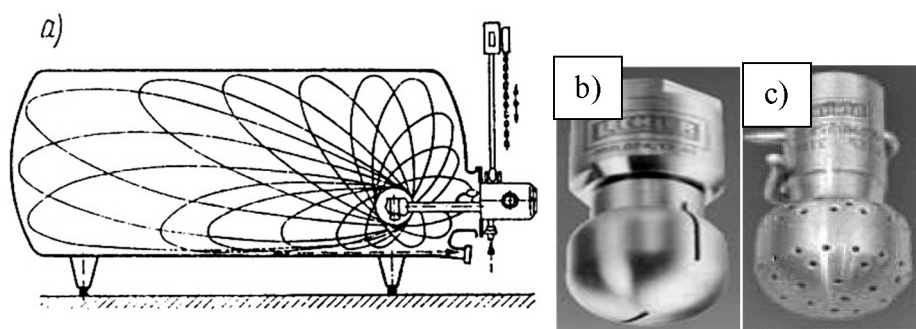
Źródło: obliczenia własne autora

Niejednorodne warunki przepływu występują przy myciu elementów o złożonej konfiguracji powierzchni i przestrzeni przepływu. Prowadzimy badania nad warunkami mycia elementów rurociągów takich jak kolanka, trójniki, oraz powszechnych w instalacjach technologicznych –wymyenników ciepła. Posiadamy specjalne stanowisko badawcze mycia metodą CIP [Diakun, Mierzejewska 2005]. Badania potwierdziły, że najistotniejszym

czynnikiem mechanicznym mycia w przepływie jest prędkość czynnika myjącego. Powierzchnie, względem których występuje niedostateczna prędkość przepływu narażone są na niedomycie. W ramach obliczeń symulacyjnych rozkładu prędkości i ciśnienia przy przepływie cieczy w kolankach niekorzystne warunki obniżenia prędkości przepływu występują na zewnętrznym łuku kolanka. Ten nieoczekiwany wynik potwierdzono w badaniach eksperymentalnych [Diakun, Piepiórka 2009]. Bardzo zróżnicowane są warunki mycia na powierzchni płytowych wymienników ciepła. Różnie rozkładają się prędkości przepływu w poszczególnych sekcjach oraz na powierzchni płyt. Z analiz obliczeń symulacyjnych i badań eksperymentalnych wynika, że najbardziej niekorzystne warunki przepływu cieczy myjącej występują między płytami pierwszej sekcji liczonej od napływu cieczy oraz, że występują miejsca z zastoinami cieczy [Piepiórka, Diakun 2010]. Z badań wynika, że konieczne są badania i identyfikacja miejsc instalacji technologicznych mytych metodą CIP, aby przeciwdziałać sytuacjom niedomywania instalacji, co skutkuje powstawaniu ognisk skażeń przetwarzanych produktów.

### Analiza skuteczności oddziaływania strumienia cieczy

Rysunek 3 ilustruje przykładowe warunki mycia leżącego zbiornika cylindrycznego za pomocą głowicy myjącej podłączonej do stacji mycia CIP.



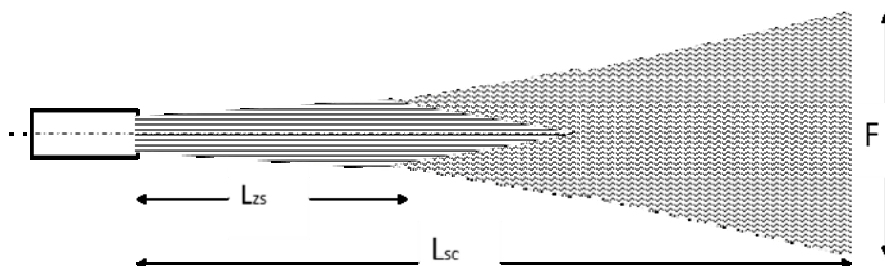
Źródło: własne autora

Rys. 3. a) mycie zbiornika za pomocą głowicy myjącej, b) głowica myjąca obrotowa, szczelinowa, c) głowica myjąca stała  
Fig. 3. a) tank washing using washing head, b) rotary slotted washing head, c) fixed washing head

Jak widać strumienie cieczy z głowicy myjącej powinny skutecznie oddziaływać na powierzchnie myte oddalone od głowicy myjącej o kilka metrów. Działaniu strumieni cieczy myjącej musi być poddana cała powierzchnia mytego zbiornika.

Aby poprawnie projektować system mycia za pomocą głowic myjących konieczna jest wiedza o parametrach działania strumieni myjących. Zmianę strumienia wypływającego z głowicy myjącej przedstawiono na rys. 4. Z dyszy wypływa strumień, który początkowo ma zwartą strukturę. Stopniowo następuje jego rozpraszanie. Jak utrzymać możliwie długi strumień zwarty? Jakie jest pole działania strumienia i jaka jest jego skuteczność po określonej długości? Te i wiele innych problemów rozwiązywane są w konstrukcjach w oparciu

o doświadczenie techniczne [Tamime 2008]. Brak podstaw naukowych dla projektowania. Badania nad tymi zagadnieniami podjęliśmy w Katedrze.



*Źródło: opracowanie własne autora*

Rys. 4. Parametry działania strumienia cieczy:  $L_{zs}$  – długość strumienia zwartego,  $L_{sc}$  – długość strumienia,  $F$  – pole skutecznego działania strumienia

Fig. 4. Liquid stream operation parameters:  $L_{zs}$  – dense stream length,  $L_{sc}$  – stream length,  $F$  – efficient stream operation area

## Wnioski

1. Mycie instalacji i urządzeń bez ich demontażu (metodą CIP) jest obecnie powszechną, sprawną i wygodną w użytkowaniu metodą utrzymania czystości w przemyśle spożywczym.
2. Potrzeba ochrony środowiska przed środkami chemicznymi odwraca tendencje stosowania dużego stężenia środków myjących i intensyfikacji oddziaływania mechanicznego w procesie mycia.
3. Konieczne jest poznanie mechanizmów działania mycia metodą CIP, aby przeciwdziałać możliwości niedomywania co może prowadzić do powstawania skażeń w trakcie przetwarzania surowców spożywczych.
4. Praktyka w projektowaniu i użytkowaniu instalacji CIP wyprzedza rozwój badań i teorię potrzebną dla ich optymalnego konstruowania i eksploatacji.

## Bibliografia

- Bandler D.K., Holland R.F.** 2002. Food Science at Cornell University... a century of Excellence. Cornell University. Ithaca. New York.
- Diakun J., Mierzejewska S.** 2004. Analiza techniczna stacji CIP oferowanych na polskim rynku. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego. Nr 2. s. 55- 58.
- Diakun J., Mierzejewska S.** 2005. Stanowisko do badań eksperymentalnych warunków i skuteczności mycia. Inżynieria i Aparatura Chemiczna. T. 44(36). Nr 1-2. s. 33-34.
- Diakun J. Mierzejewska S.** 2007. Wpływ oddziaływania czynników mechanicznych na skuteczność mycia rurociągu. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(93). Kraków. s. 53-62.

- Diakun J., Piepiórka J.** 2009. Warunki mycia metodą CIP kolanek rurociągu instalacji produkcyjnej. Inżynieria i Aparatura Chemiczna t. 48(40). Nr 1. s. 24-25.
- Herreid E.O., Le Roy Luetscher.** 1963. Our industry today, cleaning and sanitizing dairy equipment. Journal of dairy science volume 46. Issue 11. pp. 1309-1314.
- Lewicki P.** 1994. Higiena produkcji. Cz. IV Mycie maszyn i urządzeń. Przemysł Spożywczy. T. 48. Nr 2. s. 39.
- Piepiórka J., Diakun J.** 2007. Mycie w systemie CIP. Przemysł Spożywczy t.61. Nr10. s. 40-44.
- Piepiórka J., Diakun J.** 2011. Nierównomierności mycia powierzchni płyt wymiennika ciepła. Przyjęte do druku w Inżynieria i Aparatura Chemiczna. T. 50(42). Nr 1. s. 33-34.
- Tamime A.Y.** 2008. Cleaning –in-Place: Dairy, Food and Beverage Operations. Blackwell Publishing Ltd Oxford. ISBN-13: 978-1-4051-5503-8

## **IMPACT ANALYSIS FOR INDIVIDUAL FACTORS IN THE PROCESS OF SYSTEM AND EQUIPMENT WASHING**

**Abstract.** Specific conditions for elimination of fouling and for maintaining surface cleanness occur during the installation and equipment washing using the CIP (Cleaning In Place) method, which is universally applied today. Mechanical factors are limited to the influence of liquid during flow, or liquid stream impact. The goal is to minimise the consumption of chemical agents, because their too high concentration is not indifferent to environment. The article contains analysis of the impact of mechanical factors, their efficiency, hazards, and necessary tests. The purpose is to analyse mechanical impact conditions and parameters in order to obtain satisfying effect – the cleanness and sterility of washed objects.

**Key words:** washing, the CIP method, cleanness, washing factors

*Praca zrealizowana w ramach projektu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego  
nr N N 313 136838*

**Adres do korespondencji:**

Jarosław Diakun; e-mail: jaroslaw.diakun@tu.koszalin.pl  
Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego  
Politechnika Koszalińska  
ul. Raławicka 15-17  
75-620 Koszalin