

## Jarosław DIAKUN

e-mail: jaroslaw.diakun@tu.koszalin.pl

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Wydział mechaniczny, Politechnika Koszalińska, Koszalin

## Możliwości uaktywnienia mechanicznego oddziaływania w procesie mycia metodą CIP

### Wstęp

Konstrukcje nowoczesne, oryginalne, automatyczne, funkcjonalne technologicznie i technicznie sprawdzają się w przemyśle spożywczym tylko wtedy, gdy można je umyć i utrzymać w czystości higieniczno-sanitarnej.

Sposobem na możliwość utrzymania higieny funkcjonalnych instalacji mleczarskich, w których urządzenia połączone siecią rur, było opracowanie w 1949 roku w USA, innowacyjnej instalacji mycia na miejscu CIP (*Cleaning In Place*). Ta metoda mycia polega na wymuszeniu przepływu czynnika myjącego przez rury i urządzenia, bez konieczności ich demontażu. Zautomatyzowana stacja mycia CIP została zaprezentowana w 1954 roku na konferencji mleczarskiej w *Department of Dairy Technology, the Ohio State University, Columbus USA*. W latach sześćdziesiątych XX wieku CIP stał się standardem w skali międzynarodowej.

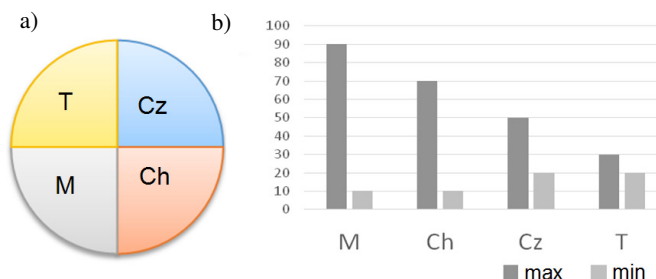
W przemyśle przetwórstwa spożywczego mycie jest procesem o dużym zapotrzebowaniu energetycznym i dużym zużyciu wody. W bilansie energetycznym mycie stanowi 12 do 30%, zaś zużycie wody ponad 30% [Nering i in., 1999]. Poszukiwanie metod zmniejszających, zapotrzebowanie energetyczne oraz zużycie wody jest zatem bardzo istotne.

W metodzie przepływowej CIP stosuje się duże ilości środków myjących, które w następstwie powodują obciążenie środowiska agresywnymi ściekami. W *Politechnice Koszalińskiej* prowadzone są badania w zakresie technik mycia w tym szczególnie poznanie mechanizmów i intensyfikacja skuteczności mycia metodą CIP. Jednym z kierunków badań jest poszukiwanie możliwości i metod, które intensyfikowałyby oddziaływanie czynników mechanicznych w procesie mycia w przepływie.

Praca ma charakter analityczno-koncepcyjny. Na podstawie przeglądu literatury, badań własnych oraz obserwacji procesów przemysłowych przeanalizowano warunki mycia instalacji przemysłowych metodą CIP [Diakun, 2011; 2013; Mierzejewska i Diakun, 2012; Piepiórka-Stepuk i Diakun, 2014; Piepiórka-Stepuk i in., 2015]. Celem pracy była identyfikacja ograniczeń tej metody mycia, skutków energetycznych i środowiskowych oraz możliwości uaktywnienia mycia metodą CIP poprzez zastosowanie metod hybrydowych takich jak: oddziaływanie kawitacji ultradźwiękowej, barbotażu, piany oraz wkładek-korków przepływowych.

### Warunki mycia metodą CIP

W procesie mycia, stosownie do zasady H. Sinnera prezentowanej w postaci koła Sinnera (Rys. 1a), oddziałują cztery grupy czynników: mechaniczne, chemiczne, temperatura oraz czas. Proporcje oddziaływania poszczególnych czynników przedstawiono na wykresie (Rys. 1b).



Rys. 1 Czynniki procesu mycia: a) koło Sinnera, b) zakres proporcji oddziaływania czynników w procesie mycia; M – mechaniczne, Ch – chemiczne, Cz – czas, T – temperatura

Zauważono, że największe zmiany zakresu proporcji obserwuje się dla oddziaływania mechanicznego i chemicznego. Przykładowo maksymalne oddziaływanie czynnika mechanicznego występuje dla ręcznego mycia z pomocą skrobaków, szczotek lub mycia strumieniem ciśnieniowym, natomiast minimalne – przy myciu przez zamaczanie w basenach. Maksymalne oddziaływanie chemiczne następuje przy zastosowaniu agresywnych środków myjących z ograniczonymi innymi czynnikami, zwłaszcza ograniczonym oddziaływaniem mechanicznym.

W metodzie mycia CIP czynnikiem oddziaływania mechanicznego jest naprężenie ścinające przepływającej cieczy przy ściankach mytych powierzchni. W tab. 1 zestawiono obliczone wartości naprężenia ścinającego przy ściance.

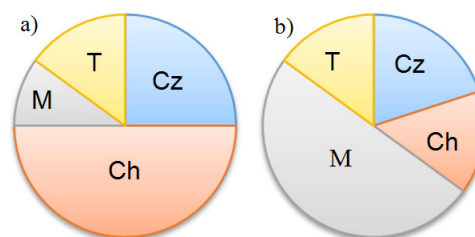
Tab. 1. Warunki przepływu w rurze o średnicy 36 mm

Re	2400		10 000		100 000	
	20	60	20	60	20	60
Temp. [°C]						
Prędkość Przepływu [m/s]	0,062	0,032	0,28	0,13	2,79	1,33
Grubość warstwy laminarnej [m]	0,018	0,018	$2,87 \cdot 10^{-4}$	$2,86 \cdot 10^{-4}$	$2,15 \cdot 10^{-6}$	$2,15 \cdot 10^{-6}$
Prędkość ścinania [1/s]	3,72	1,76	996,4	464,0	$1,302 \cdot 10^6$	$0,613 \cdot 10^6$
Naprężenia Ścinające [Pa]	0,0037	0,0008	1,000	0,218	611,8	288,1

Jak wynika z prezentowanych wyników obliczeń, wartość tego naprężenia jest znikoma nawet dla zalecanej wysokiej wartości liczby Reynoldsa. Przepływ w tej metodzie mycia spełnia w minimalnym zakresie oddziaływanie czynnika mechanicznego na zabrudzenia na ściankach instalacji, natomiast jest czynnikiem utrzymującym zabrudzenia w toni cieczy, przeciwdziałając osadzeniu się zanieczyszczeń oraz wyprowadza zanieczyszczenia z instalacji.

Zasadniczym czynnikiem jest oddziaływanie środków chemicznych, natomiast ubocznym skutkiem stosowania czynników chemicznych jest generowanie agresywnych ścieków, co jest negatywnie odbierane ze względu na ochronę środowiska i zwiększają koszty w utylizacji ścieków [BREF, 2014].

Proporcje oddziaływania czynników w procesie mycia metodą CIP przedstawiono na rys. 2a. Głównie jest oddziaływanie chemiczne oraz czas. Ze względu na nie ekologiczność składników chemicznych oraz koszty, które związane są z utylizacją ścieków oraz zużyciem energii przez wydłużanie czasu mycia, takie proporcje są niekorzystne.



Rys. 2 Proporcje oddziaływania czynników (M – mechaniczne, Ch – chemiczne, Cz – czas, T – temperatura) w procesie mycia metodą CIP: a) standard, b) stan zalecany

Najkorzystniejszym byłoby takie uaktywnienie oddziaływania mechanicznego, aby uzyskać proporcje oddziaływania poszczególnych czynników jak na rys. 2b, gdzie czynnik oddziaływania mechanicznego jest dominujący.

Nie można jednak osiągnąć skutecznego i zadowalającego efektu mycia metodą CIP w wyniku oddziaływania mechanicznego tylko przez przepływ. Z przeprowadzonych badań wynika, że przy zastosowaniu tylko wody jako czynnika myjącego w trakcie mycia rur można osiągnąć maksymalnie 8. poziom czystości w skali 0÷10, nawet przy wielokrotnym wydłużeniu czasu mycia (do 2 godz. w odniesieniu do standardu wynoszącego 20 min), co powodowało znaczne zwielokrotnienie zużycia energii [Diakun i Mierzejewska, 2012]. Do uzyskania w pełni zadowalającego efektu konieczne było zastosowanie środków myjących, przy tym optymalnie aktywne oddziaływanie mechaniczne przepływu pozwalało na znaczne zmniejszenie stężenia środków chemicznych. Przy myciu płytowych wymienników ciepła zauważono, że często występują strefy wyraźnie niedomyte [Piepiórka-Stepuk i Diakun, 2011; 2012].

Propozycje zastosowania ultradźwięków i barbotażu jako uzupełnienia mycia przepływowego CIP zaproponowano w artykule przeglądowym [Piepiórka-Stepuk i in., 2016]

### Techniki mechanicznego oddziaływania w procesie mycia i możliwość ich zastosowania w metodzie CIP

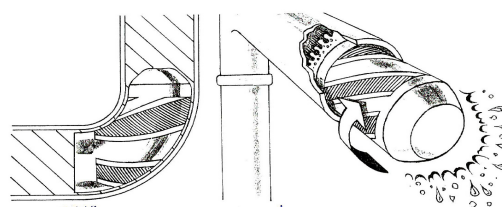
Do technik oddziaływania mechanicznego stosowanych w metodach mycia należą: ręczne szczotkowanie i zeszkrobwanie zabrudzenia, ultradźwięki, barbotaż. Skuteczną techniką mycia, a jednocześnie minimalizującą zużycie wody i środków myjących jest stosowanie piany.

**Ultradźwięki** są skuteczną techniką mycia, w ramach której wykorzystywany jest aktywnie działający mechanizm kawitacji [Bałdyga, 2013; Niemczewski, 2014]. Ultradźwięki są wykorzystywane między innymi do dezintegracji komórek drożdży w przemyśle farmaceutycznym [Hatti-Kaul i Mattiasson, 2003] i powodują skuteczne niszczenia mikroflory przy myciu i higienizacji w przemyśle spożywczym. Myjki ultradźwiękowe z szerokiej oferty rynkowej są powszechnie stosowane do mycia drobnego sprzętu i elementów maszyn [Mierzejewska i in., 2014a]. Opisano także próby wykorzystania mechanizmu oddziaływania ultradźwięków do mycia instalacji [Augustin i in. 2010; Popović i in., 2010]. W Politechnice Koszalińskiej prowadzone są w tym zakresie badania [Mierzejewska i in., 2014b]. Skuteczność stosowania ultradźwięków jest potwierdzona. Mechanizm ten ma ograniczone oddziaływanie przestrzenne, a zatem nie jest skuteczny w przypadku długich rur i dużych urządzeń. Może być zastosowany do miejscowego uaktywnienia mycia miejsc trudnych jak kolanka, trójniki zawory jako uzupełnienie oddziaływania w metodzie mycia przepływowego. Konieczne jest badanie przestrzennego zakresu oddziaływania ultradźwięków. Występuje tu jednocześnie zagrożenie w postaci negatywnego oddziaływania na mechaniczne złącza, które mogą być luzowane pod wpływem ultradźwięków.

**Barbotaż** polega na przemieszczaniu się w cieczy pęcherzyków powietrza wtłaczanych pod ciśnieniem, możliwie rozproszonych i intensywnie oddziałujących. Technika ta jest wykorzystywana do mycia elementów zanurzonych w wannach [Piepiórka-Stepuk i Wlazło, 2015]. Mechanizm barbotażu, podobnie jak w przypadku ultradźwięków, ma ograniczone oddziaływanie przestrzenne. Może mieć w myciu CIP zastosowanie podobne do miejscowego uaktywnienia mycia. W stosunku do ultradźwięków jest metodą łagodniejszą w oddziaływaniu na zabrudzenia, ale nie ma negatywnego wpływu na mechanizmy. Wymaga prowadzenia badań w celu uzyskania odpowiedniego efektu w myciu przepływowym.

**Szczotkowanie i zeszkrobwanie** zabrudzenia w myciu ręcznym jest metodą, która w największym zakresie wykorzystuje oddziaływanie mechaniczne i najskuteczniej usuwa zabrudzenia. Metoda ta jest jednocześnie najbardziej kłopotliwa organizacyjnie (wymaga

demontażu instalacji) i pracochłonna. W przypadku usuwania zanieczyszczeń w rurach stosuje się głowice strumieniowo-cierne w postaci końcówek węzłów wprowadzanych do kanałów ściekowych [Harrington, 2001]. Innym stosowanym rozwiązaniem jest użycie elastycznego, swobodnego korka (Rys. 3), który przemieszczany przepływem cieczy w rurze czyści ją trąc o jej powierzchnię (Ze względu na dźwięk (*pigging*) wydawany w trakcie przemieszczania nazywany jest *świnką*). Metoda może być przydatna do mycia długich odcinków instalacji rurowych, ale nie zakończonych urządzeniami typu wirówka, filtr itp..



Rys.3. Swobodny, przepływowy korek stosowany do czyszczenia rury [Harrington., 2001].

**Piana** jako czynnik myjący i metoda pianowania jest efektywną i skuteczną metodą mycia przy jednoczesnej oszczędności środków chemicznych i wody. Stosowana jest powszechnie do mycia i higienizacji dużych powierzchni jak podłogi, ściany, blaty stołów, powierzchnie urządzeń. Są próby zastosowania piany do mycia wewnętrznych powierzchni urządzeń, w tym trudnych do mycia elementów instalacji ultrafiltracji (membran ceramicznych), gdzie wykorzystuje się dobre penetracyjne właściwości piany [Gahleitner i in., 2013; 2014]. Podejmowane są badania zastosowania piany do mycia rurociągów [Gajbhiye i Kam, 2012].

Zastosowanie piany jest bardzo atrakcyjną metodą ze względu na jej skuteczność oraz małe zużycie wody i środków myjących. Problemy stwarza jednak napełnianie długich instalacji rurowych i urządzeń pianą, utrzymywanie jej stabilności, a następnie skuteczne jej usuwanie z instalacji tak, aby resztki środków myjących nie skażały produktów spożywczych.

### Podsumowanie

Mycie metodą CIP skutecznie czyści i higienizuje instalacje przetwórstwa spożywczego. Wadą tej metody jest jednak stosowanie dużej ilości chemicznych środków mycia generujących agresywne ścieki.

Celowe jest zatem prowadzenie badań nad obniżeniem zużycia chemicznych środków myjących, energii i wody, w tym przez uaktywnienie oddziaływania mechanicznego, co rokuje uzyskanie oczekiwanych efektów.

Wzmocnienie oddziaływania mechanicznego przy myciu metodą CIP można uzyskać stosując metody hybrydowe wykorzystujące w przepływie takie techniki jak: ultradźwięki, barbotaż, wkładki-korki przepływowe, piana. Konieczne są badania sprawdzające aktywność działania tych technik i umożliwiające wprowadzenie ich do stosowania w instalacjach mycia.

### LITERATURA

- Augustin W., Fuchs T., Föste H., Schöler M., Majschak J.P., Scholl S., (2010). Pulsed flow for enhanced cleaning in food processing. *Food Bioprod., Proc.*, 88, 384-391. DOI: 10.1016/j.fbp.2010.08.007
- Bałdyga J., 2013. Zastosowanie ultradźwięków w procesie dezintegracji. *Inż. Ap. Chem.*, 52(3), 144-146
- BREF, (2014). *Zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich ograniczenie. Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik w przemyśle spożywczym.* (10.2017) [https://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/BREF\\_spozy\(1\).pdf](https://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/BREF_spozy(1).pdf)
- Diakun J., (2011). Analiza oddziaływania czynników w procesie mycia instalacji i urządzeń. *Inż. Roln.*, 1, 23-29

- Diakun J., 2013. Przegląd, systematyka i analiza metod mycia. *Inż. Przetw. Spoż.*, 1, 5-10
- Diakun J., Mierzejewska S., (2012). Energia w funkcji skuteczności mycia w systemie CIP. *Inż. Roln.*, 3, 15-20
- Gahleitner B., Loderer C., Fuchs W., (2013). Chemical foam cleaning as an alternative for flux recovery in dynamic filtration processes. *J. Mem. Sci.*, 431, 19-27. DOI: 10.1016/j.memsci.2012.12.047
- Gahleitner B., Loderer C., Saracino C., Pum D., Fuchs W., (2014). Chemical foam cleaning as an efficient alternative for flux recovery in ultra filtration processes. *J. Mem. Sci.*, 450, 433-439. DOI: 10.1016/j.memsci.2013.09.046
- Gajbhiye R.N., Kam S.I., (2012). The effect of inclination angles on foam rheology in pipes. *J. Petrol. Sci. Eng.*, 86-87, 246-256. DOI: 10.1016/j.petrol.2012.03.002
- Harrington J., (2001). *Industrial cleaning technology*. Kluwer Academic Publishers, London
- Hatti-Kaul, R., Mattiasson, B. (2003). *Release of protein from biological host, in Isolation and purification of proteins*. Marcel Dekker, Inc, New York, Basel, 22-49
- Mierzejewska S., Diakun J., (2012). Wpływ czynników mechanicznych na skuteczność mycia rurociągu metodą CIP. *Post. Tech. Przetw. Spoż.*, 1, 66-69
- Mierzejewska S., Piepiórka-Stepuk J., Masłowska S., (2014a). Myjki ultradźwiękowe stosowane w przemyśle spożywczym. *Przem. Spoż.*, 2, 25-28
- Mierzejewska S., Piepiórka-Stepuk J., Masłowska S., (2014b). Zastosowanie ultradźwięków do usuwania zanieczyszczeń białkowych z elementów instalacji rurowych. *Inż. Roln.*, 1, 139-145
- Nering A., Wojdalski J., Budny J., Krasowski E., (1990). *Energia i woda w przemyśle spożywczym*. WNT, Warszawa
- Niemczewski B., (2014). Cavitation intensity of water under practical ultrasonic cleaning conditions. *Ultrasonics Sonochemistry* 21, 354-359. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2013.07.003
- Piepiórka-Stepuk J., Diakun J., (2011). Nierównomierność mycia powierzchni płyt wymienników ciepła. *Inż. Ap. Chem.*, 50(1), 33-34
- Piepiórka-Stepuk J., Diakun J., (2012). Wpływ czasu i prędkości przepływu cieczy myjącej na skuteczność mycia płytowego wymiennika ciepła. *Inż. Roln.*, 3, 171-176
- Piepiórka-Stepuk J., Diakun J., 2014. Energetyczne aspekty procesu i skuteczności mycia płytowego wymiennika ciepła. *Post. Tech. Przetw. Spoż.*, 2, 86-91
- Piepiórka-Stepuk J., Diakun J., Mierzejewska S., (2015). Poly-optimization of cleaning conditions for pipe systems and plate heat exchangers contaminated with hot milk using the Cleaning In Place method. *J. Cleaner Prod.*, 112, 946-952. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.018
- Piepiórka-Stepuk J., Wawrzyniak M., Piotrowski D., (2016). *Proces mycia w systemie CIP*. *Przem. Spoż.*, 11, 33-36
- Piepiórka-Stepuk J., Wlazło M., (2015). Mycie komorowe stosowane w zakładach przetwórstwa mięsa. *Gosp. Mięsa* 7, 10-17
- Popović S., Djurić M., Milanović S., Tekić M.N., Lukić N., (2010). Application of an ultrasound field in chemical cleaning of ceramic tubular membrane fouled with whey proteins. *J. Food Eng.*, 101, 296-302. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.07.012

**Czasopismo naukowo-techniczne**  
**INŻYNIERIA I APARATURA CHEMICZNA**  
 Chemical Engineering and Equipment  
 ukazuje się od 1961 roku

Czasopismo jest poświęcone problemom obliczeń procesowych i zagadnieniom projektowo-konstrukcyjnym aparatury i urządzeń stosowanych w przemysłach przetwórczych, w tym szczególnie w przemyśle chemicznym, petrochemicznym, rolno-spożywczym, jak również w energetyce, gospodarce komunalnej i w ochronie środowiska.

Przeznaczone jest zarówno dla pracowników badawczych, projektantów, konstruktorów, jak i dla menadżerów oraz inżynierów ruchomych.

W czasopiśmie publikowane są artykuły naukowe o szerokim spektrum tematycznym, obejmującym problematykę procesów i operacji jednostkowych inżynierii chemicznej, bio- i nanotechnologii, inżynierii biomedycznej, recykling, bezpieczeństwo procesowe oraz obliczenia i projektowanie aparatów w aspekcie poprawy wydajności, lepszego wykorzystania surowców, oszczędności energii i ochrony środowiska.

Publikowane prace są recenzowane przez specjalistów. Autorzy artykułów opublikowanych w „Inżynierii i Aparaturze Chemicznej” uzyskują 7 punktów (od 2015 r.) do oceny parametrycznej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Czasopismo jest regularnie abstraktowane w **CAS (Chemical Abstracts Service** - a division of the American Chemical Society, Columbus, Ohio, USA) na platformie SciFinder i jest indeksowane w:

- **BazTech** - Baza Polskich Czasopism Technicznych,
- **Index Copernicus International**,
- **ARIANTA** - NAUKOWE I BRANŻOWE POLSKIE CZASOPISMA ELEKTRONICZNE,
- **EZB - Die Elektronische Zeitschriftenbibliothek**, Electronic Journals Library, Uni. of Regensburg, Germany
- **WorldCat** – the world’s largest network of library content and services,
- **Google Scholar** – wyszukiwarka tekstów naukowych,
- **ВИНИТИ РАН (VINITI)** Электронный каталог научно-технической литературы – Реферативный журнал, Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук.