

Sylwia MIERZEJEWSKA, Jarosław DIAKUN

e-mail: sylwia.mierzejewska@tu.koszalin.pl

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

## Energia w procesie mycia rurociągów w systemie CIP

### Wprowadzenie

Mycie i dezynfekcja jest jednym z elementów produkcji żywności. Wiąże się z dużym nakładem energii i środków poświęconych utrzymaniu w czystości instalacji i powierzchni produkcyjnych do właściwego procesu przetwarzania.

Każda branża ma swoją specyfikę, np. przemysł mięsny charakteryzuje się otwartymi powierzchniami produkcyjnymi oraz silnymi zanieczyszczeniami, związanymi głównie z tłuszczem i białkiem. Z kolei przemysł piwowarski, to przede wszystkim zbiorniki i rurociągi o zabrudzeniach związanych z kamieniem piwnym, drożdżami itd. Specyfika tej produkcji, a więc wykorzystanie rurociągów do przesyłania surowców, półproduktów i produktów gotowych decyduje o zastosowaniu systemu CIP (*Cleaning In Place*) do procesów mycia.

System CIP stosowany jest powszechnie w przemyśle mleczarskim, browarnictwie i przemyśle napojów bezalkoholowych. Proces mycia jest procesem energochłonnym. Składniki energetyczne procesu mycia to napęd pomp oraz podgrzewanie medium myjącego. Niektóre programy mycia wymagają podgrzewania roztworów środków chemicznych do temperatury 70–80°C.

### Zużycie energii w przemyśle browarniczym

Obecnie w browarach całkowite jednostkowe zużycie energii cieplnej wynosi 100–200 MJ/hl piwa. Zakłady z nowoczesnymi instalacjami mogą zużywać poniżej 100 MJ, natomiast stare niemodernizowane zakłady bez wdrożonych zasad efektywnej gospodarki energią i niskiej sprawności wytwarzania ciepła mogą zużywać ponad 200 MJ ciepła na hektolitr produkcji [1].

Głównymi odbiornikami ciepła w browarze są następujące instalacje i procesy: zacieranie słoju i gotowanie brzcзки, mycie w obiegu zamkniętym CIP, mycie butelek zwrotnych, pasteryzacja piwa, ogrzewanie pomieszczeń.

Według wytycznych dla przemysłu piwowarskiego, przedstawionych przez *Ministerstwo Środowiska*, zużycie energii elektrycznej powinno wynosić w browarze 8–12 kWh (28,8–43,2 MJ) na hektolitr piwa [1]. Również w tym przypadku zależy to od nowoczesności i modernizacji zakładu.

### Zużycie energii w przemyśle mleczarskim

Zużycie energii w zakładach mleczarskich zależy w dużej mierze od profilu produkcji, a spotykane wielkości są dosyć zróżnicowane. Według analizy sektorowej polskiego sektora mleczarskiego (FAPA, 1998) jednostkowe zużycie energii elektrycznej waha się od 0,6 do 8 MWh (2160–28800 MJ) na 1 tonę produktu [2]. Zróżnicowanie wielkości zużycia energii wynika nie tylko z wielkości i asortymentu produkcji, ale także np. ze specyficznych gustów konsumentów i wynikających z nich wymogów produkcji (np. dłuższe lub krótsze okresy dojrzewania serów, sieć dystrybucji wymagająca dłuższego okresu magazynowania w chłodniach).

Około 80% zużywanej przez zakłady przemysłu mleczarskiego energii to energia pochodząca ze spalania paliwa i przetwarzana do postaci pary wodnej i ciepłej wody. Pozostałe zużycie energii to energia elektryczna potrzebna do utrzymywania ruchu linii produkcyjnych, systemów chłodzących, wentylacji i oświetlenia.

W przemyśle mleczarskim głównymi odbiornikami ciepła są w zależności od specyfiki produkcji:

- produkcja mleka i napojów mlecznych: mycie urządzeń i CIP, pasteryzacja i procesy pomocnicze.
- produkcja serów: procesy cieplne, mycie, ogrzewanie pomieszczeń.

### Zużycie energii w przemyśle rozlewniczym (napoje bezalkoholowe)

Przemysł rozlewniczy nie jest istotnym użytkownikiem energii. Ze względu na technologię produkcji nie wymagają intensywne procesy termiczne. Obecnie w zakładach rozlewniczych całkowite jednostkowe zużycie energii wynosi przeciętnie 0,7–1,5 MJ/l produktu [3].

Głównymi odbiornikami ciepła w zakładzie są następujące instalacje i procesy, w ilości zapotrzebowania energetycznego: mycie urządzeń, CIP, mycie butelek zwrotnych, pasteryzacja, ogrzewanie pomieszczeń.

### Cel badań

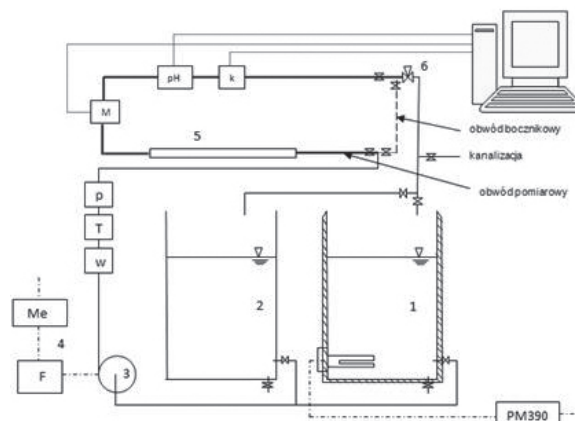
Celem prowadzonych badań było określenie zużycia energii potrzebnej do osiągnięcia zakładanej skuteczności mycia wstępnego na podstawie badań prowadzonych na laboratoryjnej stacji mycia CIP. W energochłonności procesu mycia wydzielono dwa składniki:

- energia potrzebna na ogrzewanie medium myjącego,
- energia potrzebna na wymuszenie przepływu czynnika myjącego.

Wyznaczono zużycie energii w zależności od prędkości przepływu, ciśnienia, objętości i temperatury medium myjącego.

### Stanowisko badawcze i metodyka badań

Stanowiskiem badawczym jest laboratoryjna dwu-zbiornikowa stacja mycia w przepływie (CIP) (Rys. 1) umożliwiająca prowadzenie badań procesu mycia zarówno rurociągów jak i innych elementów, które mogą być do niej podłączane.



Rys. 1. Schemat laboratoryjnej stacji mycia CIP. Objaśnienia: F – falownik, Me – miernik energii, PM390 – miernik energii, w – miernik prędkości przepływu, T – miernik temperatury, P – miernik ciśnienia, M – Miernik mętności, pH – miernik pH, k – miernik przewodności, 1 – zbiornik izolowany, 2 – zbiornik nieizolowany, 3 – pompa, 4 – falownik z miernikiem energii, 5 – element kontrolny, 6 – zawór dławiący

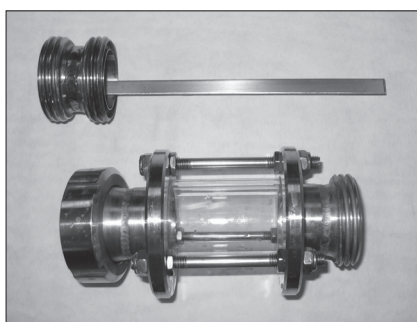
Stacja wyposażona jest w tory pomiarowe parametrów cieczy myjącej (temperatura, mętność, przewodność i pH), wielkości charakteryzujących przepływ (prędkość przepływu, ciśnienie) oraz parametrów zasilania energetycznego (napięcie, natężenie i mocy energii). Dla celów niniejszego opracowania dokonywano pomiarów zużycia energii elektrycznej. W zużyciu energii wydzielono dwie składowe. Zużycie energii potrzebnej do przepływu czynnika myjącego mierzono za pomocą zasilacza (falownika) wyposażonego w miernik zużycia energii, natomiast zużycie energii potrzebnej na ogrzewanie medium myjącego mierzono za pomocą miernika parametrów sieci elektrycznej PM390.

Plan badań opracowano w programie *EPlanner* [4]. Badania przeprowadzono zgodnie z planem statystycznym zdeterminowanym pięciopoziomowym, rotabilnym. Określono czynniki wpływających na obiekt badań i określono ich przedziały zmienności. Obszar badań mieści się w granicach zmienności poszczególnych czynników mających wpływ na proces mycia:

- prędkość przepływu:  $w = 0,5\text{--}2,5$  [m/s]
- ciśnienie:  $p = 0,5\text{--}3,0$  [bar],
- temperatura cieczy:  $T = 10\text{--}80$  [°C],
- objętość cieczy:  $v = 0,08\text{--}015$  [m<sup>3</sup>].

W procesie mycia nie ulegał zmianie czas (zawsze 20 min) i czynnik myjący, którym była woda wodociągowa.

Ocenie skuteczności mycia poddawano szklany wziernik wraz z umieszczoną w nim płytką ze stali nierdzewnej (Rys. 2).



Rys. 2. Płytkę kontrolną i szklany wziernik

Z analizy literatury i przeprowadzonych wcześniej badań wynika iż najtrudniej usuwalnym osadem są osady białkowe, które uległy denaturacji. Taki rodzaj zabrudzeń wykorzystano w badaniach przedstawionych w niniejszej pracy. Odcinek kontrolny rury wymontowano z laboratoryjnej stacji mycia CIP i zalewano go mlekiem o temperaturze 72–75°C. Tak przygotowany element wstawiono do komory termostatowej na 20 minut w temperaturze ok. 80°C. Czas ten wystarcza do uzyskania trudno usuwalnego osadu. Po tym czasie element kontrolny opróżniono i poddano osuszaniu w komorze cieplnej w tej samej temperaturze przez okres 2 min. Tak przygotowany wycinek rurociągu zamontowano do układu do mycia w obiegu zamkniętym. Następnie przeprowadzono badawczy proces mycia zgodnie z planem badań. Przed każdym cyklem badawczym odcinek rurociągu był dokładnie myty i poddawany kolejnemu procesowi brudzenia.

Z wielu metod oceny czystości powierzchni wybrano metodę działającą w oparciu o wykrywanie pozostałości białkowych, powodujących zmianę zabarwienia indykatorów i w ten sposób informującą o stanie czystości badanej powierzchni. Zastosowana metoda opiera się na reakcji barwnej miedzi i kompleksów białkowych. Do oceny skuteczności mycia wykorzystano testy *Pro-TECT* firmy *BIOTRACE*.

Tab. 1. Zawartość białka w zależności od zabarwienia testów *Pro-TECT*

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

Do oceny efektywności mycia zastosowano metodę punktową przedstawioną w tab. 1. Powierzchnia zanieczyszczona otrzymywała 1 punkt,

natomiast im powierzchnia czystsza tym liczba przyznanych punktów wzrastała do 9 (powierzchnia pozbawiona zanieczyszczeń wykrywalnych za pomocą wykorzystywanej metody).

## Wyniki badań

Mycie realizowano za pomocą wody, co odpowiada warunkom wstępnego mycia (usuwania zanieczyszczeń poprodukcyjnych). W pracy przyjęto, że zadowalającym wynikiem jest osiągnięcie czystości odpowiadającej minimum 7 punktów.

W całym planie badań obejmującym 31 pomiarów zgodnie z planem statystycznym zdeterminowanym pięciopoziomowym, rotabilnym tylko trzy pomiary dały zadowalające wyniki (skuteczność mycia na poziomie 7 i 8). Najwyższego stopnia czystości (9 punktów) nie osiągnięto przy założonych parametrach procesu. Założoną skuteczność mycia osiągnano przy prędkości przepływu 2 m/s ciśnieniu 2,4 bar, temperaturze 62°C oraz przy prędkości przepływu 2,5 m/s, niższym ciśnieniu rzędu 1,75 bar i temperaturze 45°C. Objętość wody nie miała znaczenia, jeśli chodzi o skuteczność procesu, w dużej mierze wpływała natomiast na zapotrzebowanie energetyczne. W tab. 2 zestawiono wyniki zużycia energii z rozbiorem na energię potrzebną na ogrzanie czynnika myjącego ( $E_o$ ) oraz na energię potrzebną na realizację procesu ( $E_p$ ).

Tab. 2. Zestawienie zużycia energii i współczynnika  $E/J$  dla wybranych poziomów skuteczności mycia

Poziom skuteczności mycia $J$	7	8
Parametry	$w = 2$ m/s $p = 2,4$ bar; $T = 62^\circ\text{C}$	$w = 2,5$ m/s $p = 1,75$ bar $T = 45^\circ\text{C}$
	Energia $E$ , MJ	Energia $E$ , MJ
Energia całkowita $E_c$	32,2	24,9
Energia ogrzewania $E_o$	29,1	20,9
Energia przepływu $E_p$	3,1	4,00

Jak wynika z przedstawionego zestawienia na energochłonność procesu mycia w największym stopniu wpływa konieczność podgrzewania medium myjącego. Energia potrzebna na utrzymanie przepływu o założonych parametrach stanowi zaledwie 10% przy prędkości przepływu 2 m/s i 16% przy przepływie 2,5 m/s całkowitego zużycia energii. Lepszy efekt mycia (8 pkt.) i niższe zużycie energii uzyskano przy wyższej prędkości przepływu i niższej temperaturze.

## Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

- energia potrzebna na realizację procesu mycia jest jednym z głównych składników bilansu energetycznego zakładów przetwórstwa spożywczego,
- na energochłonność procesu mycia wpływa w ponad 80% energia potrzebna na ogrzewanie,
- w procesie mycia należy ograniczać ilość podgrzewanej wody i nie stosować (w miarę możliwości) wysokich temperatur,
- wzrost całkowitego zużycia energii nie zawsze przekłada się na wzrost skuteczności mycia.

## LITERATURA

- [1] Najlepsze dostępne techniki BAT. Wytyczne dla przemysłu piwowarskiego. Ministerstwo Środowiska. Warszawa 2005.
- [2] Najlepsze dostępne techniki BAT. Wytyczne dla branży mleczarskiej. Ministerstwo Środowiska. Warszawa 2005.
- [3] Najlepsze dostępne techniki BAT. Wytyczne dla przemysłu rozlewniczego napojów niealkoholowych. Ministerstwo Środowiska. Warszawa 2005.
- [4] S. *Kukielka*, L. *Kukielka*: Experiment planner 1.0. Instrukcja użytkownika, Politechnika Koszalińska WM, Koszalin 2002.

Praca współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego i Budżetu Państwa Poddziałanie 8.2.2 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki 2007-2013.