

POMIAR PARAMETRÓW CIECZY MYJĄCEJ W TRAKCIE PROCESU MYCIA PŁYTOWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA*

Joanna Piepiórka-Stepuk, Jarosław Diakun

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Politechnika Koszalińska

Streszczenie. W pracy monitorowano proces mycia pod względem zmian pH, przewodności i mętności cieczy. Badania wykonano na laboratoryjnej stacji mycia CIP. Na podstawie zmian mierzonych wartości podjęto próbę określenia minimalnego czasu przepływu wody przez płytowy wymiennik ciepła w celu wypłukania najgrubszych zanieczyszczeń. Elementem badawczym był płytowy wymiennik ciepła, którego płyty brudzono mlekiem i montowano w układ przepływowy. Za pomocą testów wymazowych Clean-Trace firmy BioTrace, sprawdzono skuteczność mycia w założonych warunkach. Na podstawie uzyskanych wyników badań dotyczących skuteczności mycia wskazano kilka obszarów na płycie, które są najtrudniejsze do umycia w przepływie oraz te które myją się najłatwiej.

Słowa kluczowe: mycie w systemie CIP, płytowy wymiennik ciepła, płukanie wstępne

Wstęp

W przemyśle spożywczym, do higienizacji urządzeń oraz instalacji przesyłowych wykorzystuje się stacje CIP, realizujące mycie mechaniczne bez konieczności demontażu mytego elementu. Od 1940 roku, czyli od momentu skonstruowania pierwszej pionierskiej instalacji mycia w obiegu zamkniętym, metoda cieszy się ogromnym uznaniem i zainteresowaniem w różnych branżach przemysłu, głównie ze względu na łatwość obsługi, oszczędność czasu oraz ekonomię procesu związaną z regeneracją chemicznych środków myjących oraz minimalizacją ilości odprowadzanych ścieków i ich negatywnego oddziaływania na środowisko [Gillham i in. 2000; Dresch i in. 2001]. Mycie metodą CIP prowadzone jest w kilku etapach. Pierwszym jest płukanie wstępne, podczas którego usuwane są pozostałości poprodukcyjne, następnie mycie właściwe (jednofazowe lub dwufazowe z płukaniem pośrednim), ponowne płukanie oraz dezynfekcja. W każdym z wymienionych

* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2011 jako projekt badawczy Nr N N313 147038

etapów, istotną rolę w pozyskaniu czystych powierzchni, odgrywają czynniki mycia tj.: czas trwania procesu mycia, temperatura cieczy myjącej, chemiczne środki myjące i ich stężenie, energia mechaniczna, wyrażana, jako oddziaływania cieczy na ścianki mytych elementów i lokalne naprężenia ścinające [Blal i in. 2007; Grasshoff 1992; Lelievre i in. 2002a; Lelievre i in. 2003; Jensen i in. 2005]. Proces mycia zazwyczaj monitorowany jest pod względem zmian przewodności i pH cieczy myjącej, na których podstawie śledzi się jego przebieg [Diakun i in. 2009]. Celem ostatecznym procesu mycia jest uzyskanie czystych powierzchni pod względem fizycznym i mikrobiologicznym.

Czas kontaktu środków myjących z mytą instalacją (urządzeniem), to jeden z czynników warunkujących pozyskanie czystych powierzchni [Blal i in. 2007, Lewicki 2005, Diakun i Mierzejewska 2003]. W zakładach produkujących żywność, jest on określany wyłącznie na podstawie praktyki przemysłowej i najczęściej wydłużany ponad rzeczywiste potrzeby. Przekłada się to na koszty związane z przestojem produkcji oraz ze zużyciem energii elektrycznej na mycie. Taka praktyka, wynika z utartego poglądu, że im dłużej myjemy tym uzyskujemy lepszy efekt mycia. Z doniesień literatury [Mercadé-Prieto 2007; Hong i in. 2003] oraz z badań prowadzonych na Politechnice Koszalińskiej, wynika, że istnieje pewien czas, powyżej którego nie uzyskuje się poprawy jakości mycia i niewątpliwie, w wielu przypadkach może być skrócony. Długość trwania procesu mycia powinna być optymalna i znajdować się pomiędzy czasem mycia niezbędnym dla uzyskania dobrych wyników a staraniem do jego maksymalnego skrócenia ze względów ekonomicznych. Czas ten powinien być określony dla każdego z etapów mycia osobno i uzależniony od pozostałych czynników mycia, jakimi są prędkość przepływu, temperatura i rodzaj środka chemicznego.

Czas wstępnego płukania wymienników ciepła trwa od 7-10 minut i uzależniony jest od wielkości mytej instalacji. Niewątpliwie jest to ważny etap, warunkujący skuteczność całego procesu mycia w przepływie, ale w literaturze i w badaniach naukowych poświęca się jemu najmniej uwagi. Wstępne płukanie wodą usuwa resztki produktu, przygotowując powierzchnie urządzeń do dalszych etapów mycia. W praktyce do tego celu wykorzystywana jest tzw. woda zbiorcza, zebrana z poprzedniego mycia.

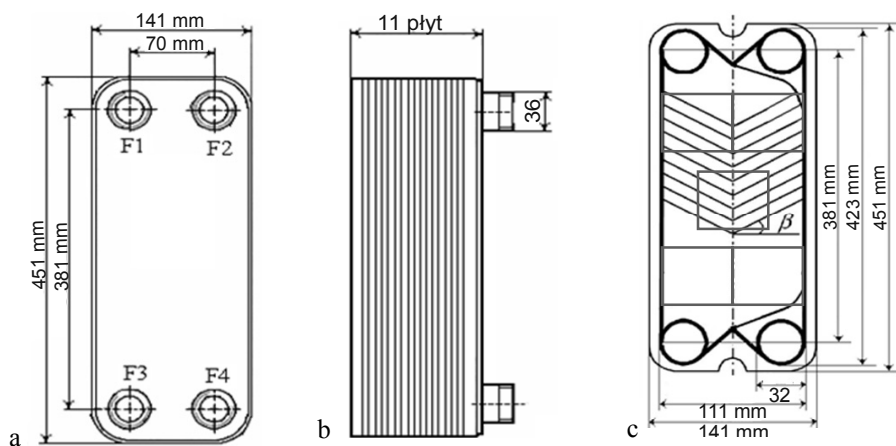
Cel badań

W pracy podjęto próbę określenia minimalnego czasu płukania wstępnego, dla płytowego wymiennika ciepła. Wnioski odnośnie zasadności czasu mycia wyprowadzono z analizy zmiany wartości pH, przewodności i mętności, mierzonych w trakcie mycia wymiennika ciepła na laboratoryjnej stacji CIP. Dla uzyskanego czasu ponownie zbadano stopień umycia płyt wymiennika ciepła. Porównanie jakości mycia płyt wymiennika ciepła dla obu czasów pozwoliło wnioskować o optymalnym czasie.

Material i metody

Na stanowisku badawczym, przeprowadzono mycie płytowego wymiennika ciepła (rys. 1, tab. 1). Pojedynczy cykl pomiarowy obejmował testowe brudzenie płyt, ich montaż w wymiennik ciepła, mycie w przepływie, demontaż oraz ocenę stopnia umycia. Brudzenie

powierzchni płyt prowadzono poprzez ich spryskiwanie mlekiem za pomocą rozpylacza oraz utrwalanie w komorze termicznej w temperaturze $T = 85^{\circ}\text{C}$. Napylenie mleka na płyty i ich wygrzewanie powtarzano trzykrotnie. Na skutek tego działania na płytach powstawał widoczny, kremowo – biały, lekko obsuszony osad kompleksu białkowo – tłuszczowego, z wyraźnie widocznymi zgrubieniami, skupiającymi się wokół pęcherzyków powietrza. Zabrudzone płyty montowano w wymiennik i poddawano procesowi mycia w systemie CIP, czystą wodą o temperaturze $T=45^{\circ}\text{C}$ o wartościach: pH – 8; przewodności – $0,8 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$; i mętności - $4,2 \text{ NTU}$. Średnia obliczona prędkość przepływu między płytami wymiennika wynosiła $w_{sr}=0,55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, i wynikała z pomierzonego natężenia przepływu w instalacji $m_v=2,75 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Odpowiadało to średniej liczbie Reynoldsa w wymienniku ciepła $Re=8224$, co określa turbulentny charakter zjawiska. Czas mycia wynosił $t=10$ minut.



Źródło: opracowanie własne

- Rys. 1 Schemat płytowego wymiennika ciepła firmy SONDEX Typ S4 IT PN 10, a – płyta czołowa z czterema przyłączami, b – pakiet płyt tworzących jedną sekcję, c – pojedyncza płyta wymiennika ciepła z uszczelkami i obszarami oceny skuteczności mycia
- Fig. 1. Schematic representation of the heat exchanger of SONDEX company Type s4 IT PN 10, a – head panel with four attachments, b – packet of panels which form one section, c – single panel of heat exchanger with seals and areas of assessment of cleaning efficiency

Skuteczność mycia oceniono testami wymazowymi Clean-Trace firmy BioTrace, (rys. 2 i tab. 2). W ramach oceny przyznawano punkty czystości w skali od 0 do 10 punktów. Maksymalna ilość 10 punktów oznaczała czystość idealną. Wartość 9 i 8 punktów przyznawano po uzyskaniu zielonej barwy roztworu w kusetce, co oznaczało, że badana powierzchnia jest czysta, a ilość zawartego na niej białka waha się od 0 do $50 \mu\text{g białka}\cdot 100 \mu\text{l}^{-1}$ roztworu. W momencie uzyskania w kusetce roztworu o barwie szarej i szaro – fioletowej przyznawano 7 i 6 punktów (od 50 do $80 \mu\text{g białka}\cdot 100 \mu\text{l}^{-1}$ roztworu), co sugerowało, że mycie nie do końca było skuteczne i należałoby je powtórzyć. Barwa purpurowa, o różnej

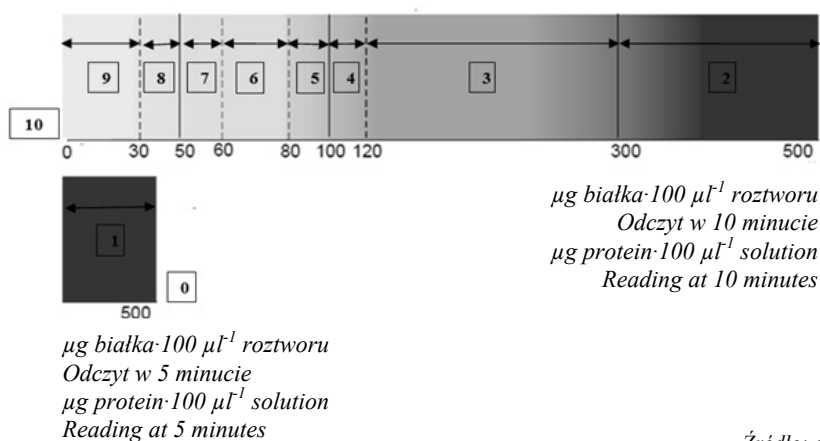
intensywności, oceniana była poniżej 6 punktów (ilość μg białka $\cdot 100 \mu\text{l}^{-1}$ roztworu > 80), co oznaczało, że powierzchnia jest brudna a proces mycia był nieskuteczny. Barwna skala oceny została rozszerzona o dodatkowy punkt, o wartości 0, który oznaczał stan początkowego maksymalnego zabrudzenia. Miejsca próbkowania zaprezentowano na rysunku 1c. Ogólny stopień umycia płyty wymiennika ciepła określono, jako średnią z pięciu miejsc próbkowania. Proces mycia powtarzano trzykrotnie (P_1 do P_3).

Tabela 1. Wielkości charakterystyczne dla płytowego wymiennika ciepła firmy SONDEX Typ S4 IT PN 10

Table 1. Characteristic sizes for a panel heat exchanger of SONDEX company Type S4 IT PN 10

Charakterystyczna wielkość dla płytowego wymiennika ciepła	Symbol	Jednostka	Wartość
Pole powierzchni czynnej pojedynczej płyty	A	$[\text{m}^2]$	0,042
Całkowita powierzchnia wymiany ciepła	A_c	$[\text{m}^2]$	0,46
Największa odległość między płytami	b	$[\text{m}]$	0,009
Średnia odległość między płytami	$c = (b \cdot 2^{-1})$	$[\text{m}]$	0,0045
Pole powierzchni strumienia poprzecznego	$P_{str} = cL_s$	$[\text{m}^2]$	0,0005
Całkowity obwód zwilżony	$Ob_c = 2c + 2L_s$	$[\text{m}]$	0,23
Ilość płyt w wymienniku	N_p	$[\text{szt}]$	11
Ilość kanałów przepływowych po obu stronach w płytowym wymienniku ciepła	$N_c = (N_p - 1) \cdot 2^{-1}$	$[\text{szt}]$	5
Średnia zastępcza kanału	d_s	$[\text{m}]$	0,009

Źródło: opracowanie własne



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Barwna skala oceny testami Clean-Trace opracowana na podstawie materiałów firmy BioTrace

Fig. 2. Colour scale of assessment with Clean-Trace tests worked out based on materials of BioTrace company

Tabela 2. Punktowa ocena stopnia umycia, przyznawana na podstawie porównania barwy testów wymazowych Clean-Trace z barwną skalą oceny
 Table 2. Point assessment of the cleaning degree, granted based on comparison of the colour of Clean Trace swab tests with colourful scale of assessment

Ilość białka [$\mu\text{g} \cdot 100 \mu\text{l}^{-1}$ roztworu]	Ocena punktowa
0	10
0 – 30	9
30 – 50	8
50 – 60	7
60 – 80	6
80 – 100	5
100 – 120	4
120 – 300	3
300 – 500	2
> powyżej 500 odczyt w 5 minucie	1
powierzchnia nie myta	0

Źródło: opracowanie własne

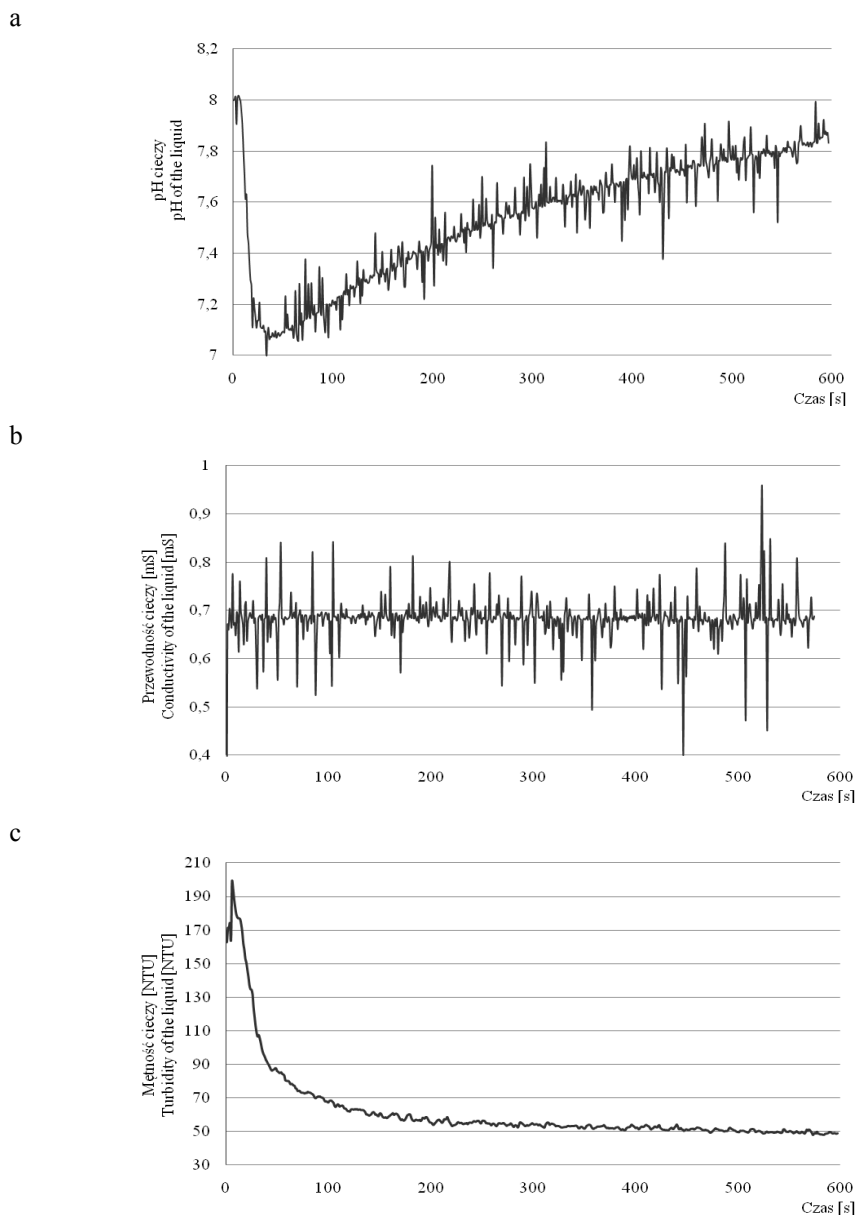
W trakcie przepływu przez instalację monitorowano czynnik myjący (wodę o temperaturze $T = 45^{\circ}\text{C}$) pod względem zmian wartości pH, przewodności i mętności. Czujniki mierzące zintegrowano z komputerową kartą pomiarową oraz przetwornikami analogowo-cyfrowymi i cyfrowo-analogowymi, komputera PC, w taki sposób, aby za pomocą programu LabView firmy National Instruments mierzone wartości rejestrowane były w centralnej jednostce monitorującej. Takie rozwiązanie umożliwiło bezpośredni zapis wyników pomiarów na dysku.

Wyniki i dyskusja

Uzyskane wyniki pomiarów pH, przewodności i mętności cieczy myjącej z procesu mycia zobrazowano na rysunkach 3a,b,c.

Analiza zmian parametrów cieczy myjącej

Analizując zmiany wartości pH cieczy myjącej (rys. 3a), widać, że w pierwszej fazie procesu (do około 50 sekundy) pH cieczy wyraźnie spada do wartości bliskiej 7. Spadek ten jest spowodowany wymywaniem z płyt wymiennika ciepła dużej ilości zanieczyszczeń mlekowych (pH mleka 6,5), co zmienia odczyn w kierunku kwaśnym. Po tym etapie następuje wzrost pH wody płuczającej, co jest wynikiem jej mieszania się z wodą czystą i ponownego jej zawracania do instalacji. Wartość pH nie stabilizuje się w trakcie trwania procesu na określonym poziomie i nie osiąga wartości pH wody czystej. Na podstawie charakterystyki zmian odczynu cieczy myjącej można wnioskować, o tym, że w całym badanym zakresie czasu następowało wymywanie zanieczyszczeń z powierzchni płyt. Można przypuszczać, że im mniejsze pH wody płuczającej i mniej zbliżone do pH wody pierwotnej, tym więcej zanieczyszczeń zostało wypłukanych z instalacji.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Zmiany parametrów cieczy myjącej w trakcie procesu mycia płytowego wymiennika ciepła a – pH, b – przewodności, c – mętności

Fig. 3. Changes of parameters of the cleaning liquid during the process of cleaning a panel heat exchanger a – pH, b – of conductivity, c – of turbidity

Charakterystykę zmian przewodności wody płuczącej w czasie procesu mycia przedstawiono na rysunku 3b. Tor układu pomiaru przewodności był bardzo czuły i powodował chwilowe zmiany mierzonej wielkości. Przewodność wody czystej wynosi 0,8 mS/cm natomiast przewodność mleka mieści się w zakresie od 0,2 do 0,3 mS·cm⁻¹. Można zatem przypuszczać, że im mniejsza przewodność wody płuczącej tym więcej zanieczyszczeń zostało wypłukanych z instalacji. Przewodność cieczy myjącej kształtuje się na poziomie 0,65 – 0,7 mS·cm⁻¹. Na podstawie uzyskanych wartości nie można wyznaczyć czasu mycia.

Analizując charakterystykę zmian mętności cieczy (rys. 3c) w trakcie mycia, zaobserwowano, że w pierwszych sekundach nastąpił wyraźny skok wartości mętności do około 200 jednostek NTU. Świadczy to o wymywaniu dużej ilości zanieczyszczeń w tym czasie. Następnie do około 50 sekundy następuje gwałtowny spadek mętności i powolne jej stabilizowanie się na poziomie 50–55 jednostek NTU. Woda płucząca nie osiąga wartości mętności wody czystej na poziomie 4,2 jednostki NTU. Można zatem przypuszczać, że im większa mętność wody płuczącej i różna od wody pierwotnej, tym więcej zanieczyszczeń zostało wypłukanych z instalacji. Na podstawie tego pomiaru, można więc wnioskować o stopniu wymywania osadów z instalacji. Po czasie około 200 sekund, nie następują już istotne zmiany wartości mętności. Można z tego wnioskować, że jest to minimalny czas, potrzebny do wypłukiwania zanieczyszczeń z instalacji. Wartość tą przyjęto do dalszych badań, które polegały na sprawdzeniu i porównaniu stopnia umycia płyt wymiennika. Czas zaokrąglono do 2100 sekund (3,5 min.) w celu ułatwienia pomiaru.

Analiza stopnia umycia płyt wymiennika ciepła

Całkowitą czystość płyt S_c , jako średnią arytmetyczną dla wszystkich miejsc próbkowania, przedstawiono w tabeli 3. Dodatkowo oceniono również stopień umycia poszczególnych obszarów na płycie wymiennika S_o , jako średnią arytmetyczną z trzech pomiarów dla poszczególnych miejsc próbkowania. Wyniki przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Ocena skuteczności mycia poszczególnych obszarów na płycie
Table 3. Assessment of the cleaning efficiency of particular areas on a panel

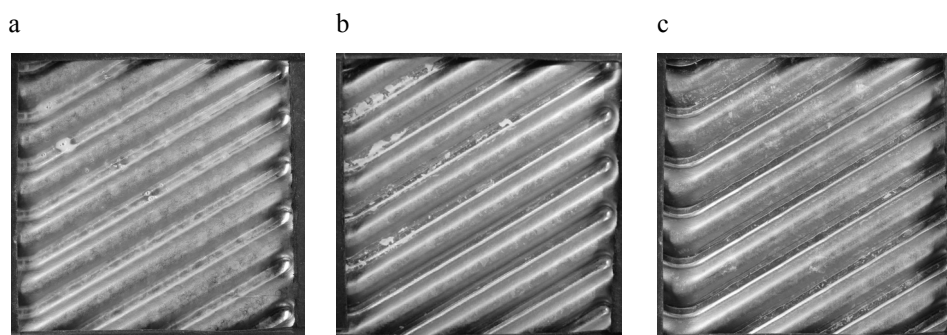
Miejsce próbkowania	Ocena testami ProTect w skali od 0 do 10 punktów	
	Średnia dla czasu 10 minut $S_o = \sum O_{ip} / \sum p_i$	Średnia dla czasu 3,5 minuty $S_o = \sum O_{ip} / \sum p_i$
O ₁	4,67 (5, 5, 4)	4,0 (4, 4, 4)
O ₂	3,33 (4, 4, 2)	3,33 (3, 3, 4)
O ₃	5,33 (5, 5, 6)	4,67 (4, 5, 5)
O ₄	4,67 (3, 5, 6)	4,33 (4, 4, 5)
O ₅	4,33 (4, 4, 5)	4,0 (4, 5, 3)
$S_c = \sum O_i / \sum p_i$	4,46	4,07

Źródło: opracowanie własne

Całkowity stopień czystości płyt S_c po myciu 10 minutowym programem oceniono na poziomie 4,46 punktów czystości, natomiast po myciu w czasie 3,5 minuty, który został okre-

ślony na podstawie zmian mętności cieczy myjącej, stopień umycia płyt S_c oceniono na poziomie 4,07 punktów. Porównywalne wyniki z badań eksperymentalnych świadczą zatem o niewielkiej poprawie jakości mycia na skutek wydłużania jego czasu mycia. Natomiast monitorowanie zmian mętności cieczy myjącej jest dobrym kryterium mierzalnym informującym o zakończeniu danego etapu mycia.

Z zestawienia wyników dotyczących skuteczności mycia poszczególnych obszarów na płycie, wynika, że najtrudniejszym do umycia jest obszar znajdujący się przy wlocie - prawy górny róg płyty (O_2). W tym miejscu gołym okiem widoczne były niedomyte resztki zabrudzeń w postaci kompleksu białkowo - lipidowego, mocno związanego z powierzchnią (rys.4a,b,c). Najlepiej wymywany jest środkowy obszar płyty (O_3). Pozostałe obszary wymywane są na podobnym poziomie. Całkowity stopień umycia płyty wymiennika ciepła obliczono, jako średnią z poszczególnych obszarów.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Obszar płyty O_2 : a – przed myciem, b – po myciu w 10 minut, c – po myciu w 3,5 minuty

Fig. 4. Area of the panel O_2 : a – before cleaning, b – after 10-minutes cleaning, c – after 3.5 minutes cleaning

Wnioski

1. Ze względu na obecność w wodzie płuczącej, chemicznych środków myjących, w różnym stężeniu, trudno jest wnioskować, o stopniu wypłukania resztek produktu w etapie płukania wstępnego, na podstawie standardowo monitorowanych wielkości cieczy myjącej tj.: pH i przewodność.
2. Na podstawie pomiaru mętności cieczy myjącej możliwe jest wnioskowanie o czasie pierwszego intensywnego wymywania zanieczyszczeń, a tym samym, określenie minimalnego czasu mycia instalacji. Zasadne zatem jest stosowanie nefelometrów w instalacjach mycia CIP.
3. Wydłużenie czasu płukania wstępnego w nieznacznym stopniu wpływa na stopień usunięcia zanieczyszczeń z powierzchni płyt wymiennika i jest niezasadne w stosunku do poniesionych kosztów energii i przestoju produkcji.

4. Górna część płyty jest trudniejsza do umycia niż jej część środkowa oraz obszary dolne.
5. Badania należy kontynuować dla pozostałych etapów mycia.

Bibliografia

- Blel W., Benezech T., Legentilhomme P., Legrand J., Le Gentil-Lelievre C.** (2007): Effect of flow arrangement on the removal of *Bacillus* spores from stainless steel equipment surfaces during a Cleaning In Place procedure, *Chemical Engineering Science* 62, 3798-3808.
- Diakun J., Mierzejewska S.** (2007): Wpływ oddziaływania czynników mechanicznych na skuteczność mycia rurociągu, *Inżynieria Rolnicza* 5(93), 63-68.
- Diakun J., Mierzejewska S., Piepiórka J.** (2009): Monitorowanie parametrów czynnika myjącego w trakcie mycia w przepływie, *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1, 34-36.
- Dresch M., Daufin G., Chaufer B.** (2001): Integrated membrane regeneration process for dairy cleaning-in-place, *Separation and Purification Technology* 22-23, 181-191.
- Gillham C.R., Fryer P.J., Hasting A.P.M., Wilson D.I.** (2000): Enhanced cleaning of whey protein soils using pulsed flows, *Journal of Food Engineering* 46, 199-209.
- Grasshoff, A.**, 1992. Hygienic design: the basis for computer controlled automation. *Food and Bioproducts Processing, Transactions of The Institution of Chemical Engineers Part C* 70, 69-77.
- Hong Xin, Xiao Dong Chen and Necati Özkan** (2003): A Mathematical Model of the Removal of Milk Protein Deposit, *ECI Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning: Fundamentals and Applications*: <http://services.bepress.com/eci/heatexchanger/22>.
- Jensen, B.B.B., Friis, A., Bénézech, T., Legentilhomme, P., Lelièvre C.** (2005): Local wall shear stress variations predicted by computational fluid dynamics for hygienic design, *Food and Bioproducts Processing, Transactions of The Institution of Chemical Engineers Part C*, 83(1), 1-8.
- Lelievre C., Legentilhomme P., Gaucher C., Legrand J., Faille C., Bénézech T.** (2002a): Cleaning in place: effect of local wall shear stress variation on bacterial removal from stainless steel equipment, *Chemical Engineering Science* 57(8), 1287-1297.
- Lelievre C., Antonini G., Faille C., Bénézech T.** (2002b): Cleaning-in-place, modelling of cleaning kinetics of pipes soiled by *Bacillus* spores assuming a process combining removal and deposition. *Food and Bioproducts Processing, Transactions of The Institution of Chemical Engineers Part C* 80 (4), 305-311.
- Lelievre C., Legentilhomme P., Legrand J., Faille C., Bénézech T.** (2003): Hygienic design: influence of the local wall shear stress variations on the cleanability of a three-way valve, *Food and Bioproducts Processing, Transactions of The Institution of Chemical Engineers Part A*, 81, 1071-1076.
- Lewicki P.** (2005): Mycie maszyn i urządzeń w przemyśle spożywczym, *Przemysł Spożywczy* 2, 24-27.
- Mercadé-Prieto R., Paterson W.R., Wilson D.I.** (2007): The Science Of Cleaning Of Dairy Fouling Layers. *ECI Symposium Series, Volume RP5: Proceedings of 7th International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning - Challenges and Opportunities*, Editors Hans Müller-Steinhagen, M. Reza Malayeri, and A. Paul Watkinson, *Engineering Conferences International*, Tomar, Portugal, July 1-6.

MEASUREMENT OF THE CLEANING LIQUID PARAMETERS DURING THE PROCESS OF CLEANING THE PLATE HEAT EXCHANGERS

Abstract. The study monitored the cleaning process in terms of changes in pH, conductivity and turbidity of the cleaning liquid. The study was performed in a laboratory CIP station. On the basis of the changes of the measured values the minimum duration of water flow through the plate heat exchanger was evaluated in order to rinse impurities. The plate heat exchanger, which was soiled in milk and assembled in the flow system, constituted the test element. The efficiency of cleaning in the assumed conditions was verified by Clean-Trace swab tests, produced by BioTrace company. On the basis of the obtained results concerning the efficiency of cleaning, several areas on the plate, which are the most difficult to clean in the flow, and the ones that are easiest to clean were indicated.

Key words: cleaning in CIP system, plate heat exchanger, pre rinse

Adres do korespondencji:

Joanna Piepiórka-Stepuk; e-mail: joanna.piepiorka@tu.koszalin.pl
Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
Politechnika Koszalińska
ul. Raławicka 15-17
75-620 Koszalin