

OCENA SKUTECZNOŚCI MYCIA W OBIEGU ZAMKNIĘTYM WYBRANYCH OBSZARÓW W PŁYTOWYCH WYMIENNIKACH CIEPŁA *

Joanna Piepiórka-Stepuk
Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
Politechnika Koszalińska

Streszczenie. Praca nawiązuje do problemu utrzymania higieny w płytowych wymiennikach ciepła działających jako pasteryzatory mleka. Przedstawiono w niej metodę mycia wymienników, czynniki warunkujące skuteczność tego zabiegu oraz wskazano problemy związane z niedomywaniem powierzchni płyt. Podstawowym celem prowadzonych analiz było wskazanie obszarów na płycie oraz płyt w wymienniku, które myją się najtrudniej. Ocenę stopnia umycia płytowego wymiennika ciepła zróżnicowano dodatkowo o kierunki przepływu cieczy myjącej. Badania przeprowadzono w sposób eksperymentalny na wymienniku ciepła, który włączono w obieg mycia do laboratoryjnej stacji CIP. Mycie następowało w 20 różnych programach, różniących się między sobą warunkami mycia, i powtarzane było trzykrotnie. Stopień czystości płyt określano testami wymazowymi Pro-Clean. Ocenie podlegały wszystkie płyty w wymienniku w pięciu wybranych na nich obszarach. Uzyskane wyniki, przy standardowo stosowanych poziomach istotności $\alpha = 0,01$ i $\alpha = 0,05$, różniły się między sobą w sposób istotny.

Słowa kluczowe: mycie w przepływie, płytowy wymiennik ciepła, stopień umycia

Wstęp

Celem procesu mycia urządzeń biorących udział w produkcji żywności jest stworzenie odpowiedniego standardu higieny, a tym samym zapewnienie jakości wytwarzanych produktów. Podczas tego procesu od powierzchni urządzeń odrywane są cząstki osadów produkcyjnych wraz z przylegającymi do nich mikroorganizmami. Ma to znaczenie w pozyskiwaniu czystości fizycznej i mikrobiologicznej. Usunięte osady odsłaniają komórki

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

drobnoustrojów przylegające do powierzchni, umożliwiają skuteczne przeprowadzenie dezynfekcji oraz nie stwarzają mikroorganizmom dogodnych warunków bytowych, korzystnych dla ich rozwoju.

Płytkowe wymienniki ciepła są aparatami standardowo mytymi w przepływie. Metoda mycia w systemie CIP znana była już w latach 40-tych ubiegłego wieku, kiedy to dla niewielkiej mleczarni skonstruowano pierwszą doświadczalną stację mycia, przeznaczoną do higienizacji rurociągów. Definicja tego systemu po raz pierwszy została opublikowana dopiero w 1985 roku przez Narodowe Stowarzyszenie Mleczarzy w Wielkiej Brytanii (NDA – National Dairyman Association). Pięć lat później, w 1990 roku, Stowarzyszenie Technologów Mleczarstwa sprecyzowało definicję CIP jako „*clean in place*”, czyli mycie na miejscu, i oficjalnie przyjęło system CIP jako metodę mycia (Tamime, 2008). Mycie w przepływie, zyskało duże uznanie i stało się powszechną metodą higienizacji urządzeń w przemyśle spożywczym, głównie w przemyśle mleczarskim, do mycia płytkowych wymienników ciepła oraz do higienizacji innych aparatów, tj.: wirówek, homogenizatorów i urządzeń rozlewniczych. Pionierem w tej dziedzinie był dr Robert Francis Holland (1908–2000), który prowadził szereg badań, mających na celu podniesienie higieny produkcji w przemyśle mleczarskim. Jako pierwszy wprowadził oraz rozwinął metodę mycia w przepływie do higienizacji instalacji przemysłowych, w tym płytkowych wymienników ciepła (Wang i in., 2007).

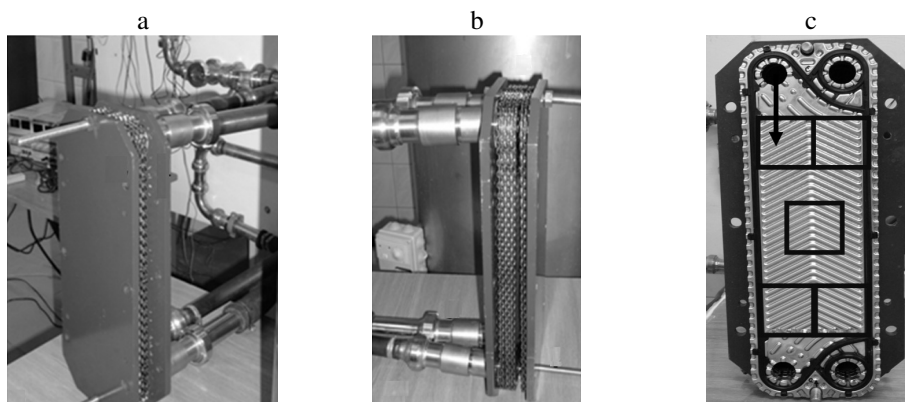
Dziś wiadomo, że podczas mycia urządzeń produkcyjnych w przepływie istotne są cztery podstawowe czynniki mycia, tj.: temperatura, stężenie środka chemicznego, siła mechaniczna, z jaką działamy na mytą powierzchnię, oraz czas trwania procesu. Składają się one na tzw. programy mycia, które decydują o dobrym efekcie końcowym procesu higienizacji urządzeń (Lelieveld i in., 2003; Lewicki, 2005; Diakun, 2011; Diakun, 2013). W przypadku płytkowych wymienników ciepła, działających jako pasteryzatory mleka, standardowe procedury mycia w przepływie, w długoterminowych odstępach czasu, przestają być skuteczne. Wynika to z faktu, iż na płytach zaczynają w szybkim tempie narastać osady białkowo-tłuszczowe oraz kamień mleczny, zawężając wąskie szczeliny przepływowe, przez co wydajność eksploatacyjna tych aparatów obniża się (Gillham i in., 2000; Bansal i Chen, 2005; Jun i Puri, 2006; Merheb i in., 2007). Kanały przepływowe, zatykając się, podwyższają opory przepływu i zaburzają proces wymiany ciepła. Wymiennik staje się nieefektywny a prowadzone w nim operacje termiczne nie osiągają wymaganych parametrów i często należy je powtarzać. Konieczny wówczas jest demontaż wymiennika i jego konserwacja.

Przepływ mleka oraz innych produktów spożywczych poddawanych obróbce termicznej w płytkowych wymiennikach ciepła może być realizowany w przepływie z góry na dół lub w kierunku przeciwnym. Uzależnione jest to od rozwiązań konstrukcyjnych samych wymienników ciepła, jak i sposobu podłączenia mediów biorących udział w procesie. Podobnie może być realizowany przepływ czynników myjących. Istnieje pogląd, a nawet praktyka przemysłowa, że stosując przeciwne kierunki przepływu produktów poddawanych obróbce termicznej w stosunku do mediów myjących, możliwe jest uzyskanie lepszego efektu mycia. W badaniach Jun i Puri (2006) wykazano, że w wymiennikach z płytami typu *straight flow* najwięcej zanieczyszczeń gromadzi się po przeciwnej stronie wlotu na płytę. Zatem w obszarach tych najczęściej dochodzi do zawężania szczeliny przepływowej. Należy więc określić obszary na płycie, które myją się najtrudniej i jednocześnie sprawdzić, czy zmiana kierunku przepływu czynników myjących wpłynie na poprawę ich mycia.

Cel pracy

Celem badań było określenie płyt w wymienniku ciepła oraz obszarów na pojedynczej płycie, które są niedomywane, jak również porównanie stopnia umycia płyt wymiennika ciepła w zależności od kierunku przepływającej w nim cieczy myjącej. Badania stanowią kontynuację badań prowadzonych nad skutecznością mycia instalacji przepływowych i są częścią badań projektu badawczego realizowanego w Katedrze Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego.

Materiał i metody



Rysunek 1. Płytowy wymiennik ciepła S4 IT PN 10: a – płyta czołowa z czterema przyłączami, b – pakiet płyt, c – pojedyncza płyta wymiennika ciepła z zaznaczonymi obszarami próbkowania

Figure 1. S4 IT PN 10 plate heat exchanger: a – front panel with four attachments, b – plates packet, c – single plate of heat exchanger with marked areas of sampling

Obiektem badawczym był płytowy wymiennik ciepła realizujący przepływ w przeciwnym kierunku, zbudowany z płyt typu *straight flow* (rys. 1). Pojedynczy cykl pomiarowy obejmował testowe brudzenie płyt mlekiem i ich wygrzewanie, montaż wymiennika ciepła, mycie w przepływie w kierunku z góry na dół (A) i z dołu do góry (B), demontaż oraz ocenę stopnia umycia. Badania prowadzono w trzech powtórzeniach dla każdego z obiegów i w 20 różnych programach mycia, przyjętych zgodnie z harmonogramem badań, stanowiącym część projektu badawczego (tab. 1). Czynnikiem myjącym była czysta woda. Badania wstępne wykazały duże zróżnicowanie stopnia umycia poszczególnych sekcji wymiennika, jak i obszarów na pojedynczej płycie (Piepiórka i Diakun, 2011). Zatem ocenę poddano wszystkie płyty w wymienniku, w pięciu różnych obszarach, które zarówno dla przepływu A, jak i dla przepływu B oznaczono w następujący sposób: O₁ – napływ, O₂ – obszar obok napływu, O₃ – środek, O₄ – odpływ oraz O₅ – obszar obok odpływu. Każdy z badanych obszarów posiadał wymiary 5,0 cm na 5,0 cm.

Tabela 1
Programy mycia stosowane w badaniach
 Table 1
Washing programmes used in the research

Program mycia	Parametry nastawcze procesu mycia		
	t - czas	T - temperatura	w – prędkość przepływu między płytami wymiennika
	(min)	(°C)	(m·s ⁻¹)
1	32	24	0,45
2	98	24	0,45
3	32	66	0,45
4	98	66	0,45
5	32	24	0,65
6	98	24	0,65
7	32	66	0,65
8	98	66	0,65
9	120	45	0,55
10	10	45	0,55
11	65	80	0,55
12	65	10	0,55
13	65	45	0,75
14	65	45	0,35
15	65	45	0,55
16	65	45	0,55
17	65	45	0,55
18	65	45	0,55
19	65	45	0,55
20	65	45	0,55

Stopień umycia oceniano testami wymazowymi *Clean-Trace*, standardowo stosowanymi w zakładach produkcyjnych. Metoda oceny polegała na przetarciu wyznaczonego obszaru powierzchni płyty jałową wymazówką w celu oznaczenia pozostałości białka. Metoda badawcza została szczegółowo zaprezentowana przez Piepiórkę-Stepuk (2012).

Na podstawie uzyskanych wyników badań obliczono ogólną średnią czystość płyt wymiennika ciepła (J_M) zgodnie z równaniem (1).

$$J_M = \frac{\sum (J_{Moi})}{m} \quad (1)$$

gdzie:

J_{Moi} – czystość poszczególnych obszarów na pojedynczej płycie wymiennika ciepła,

m – liczebność próbek (ilość badanych obszarów na pojedynczej płycie): $m = 5$.

Natomiast czystość wybranych obszarów na pojedynczej płycie wymiennika ciepła (J_{Moi}) obliczono zgodnie z równaniem (2).

$$J_{MOi} = \frac{\sum (J_{MO})_j}{n} \quad (2)$$

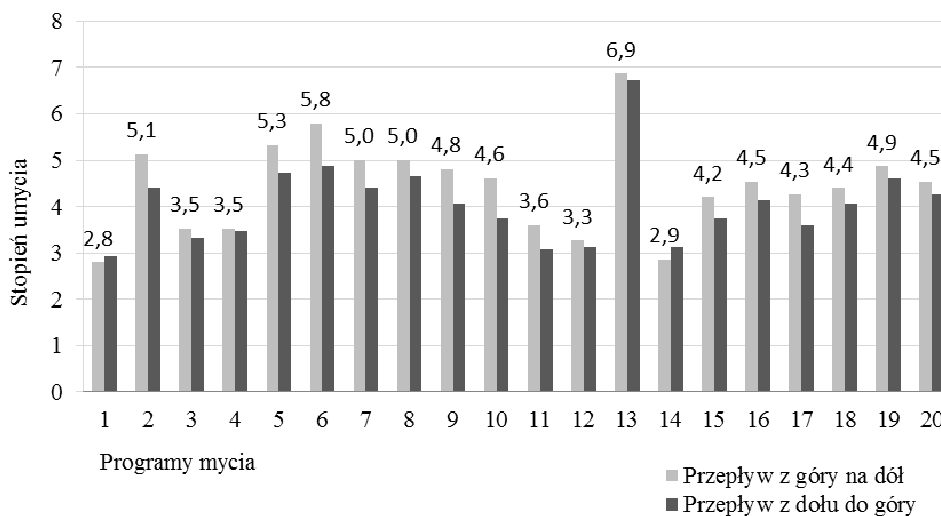
gdzie:

- J_{MO} – czystość określonego obszaru na płycie wymiennika ciepła (j);
 n – liczebność próbki (ilość badanych płyt w wymienniku): $n = 4$

Uzyskane wyniki poddano analizie wariancji, wykorzystując do tego celu test *F Fische-ra-Snedecorna*, umożliwiający sprawdzenie hipotezy zerowej, zakładającej jednakową czystość porównywanych obszarów i płyt w wymienniku, a następnie przeprowadzono test *t-Studenta*, na podstawie którego stwierdzono najmniejsze istotne różnice między ocenianymi obszarami. Obliczenia prowadzono dla dwóch poziomów istotności $\alpha=0,05$ i $\alpha = 0,01$.

Wyniki badań

Na rysunku 2 przedstawiono średnie wyniki stopnia umycia powierzchni płyt wymiennika ciepła z trzech powtórzeń (średnia arytmetyczna z pięciu obszarów próbkowania) dla badanych kierunków przepływu z góry na dół i z dołu do góry.



Rysunek 2. Stopień umycia wymiennika ciepła w zależności od kierunku przepływu czynnika myjącego

Figure 2. Cleanliness degree of the heat exchanger from the flow direction of the washing factor

Uzyskane na wykresie wyniki (rys. 2) wskazują, że płyty myte w przepływie z dołu do góry uzyskują mniejszy stopień czystości niż płyty myte w kierunku przeciwnym.

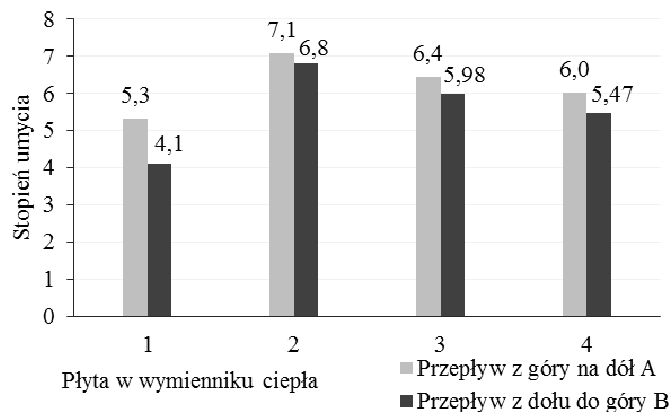
Tabela 2
Analiza stopnia umycia płyt wymiennika ciepła mytych w różnych kierunkach przepływu
 Table 2
Analysis of the cleanliness degree of heat exchanger plates washed in different flow directions

Test dla prób niezależnych										
Grupa 1 vs Grupa 2	Średnia grupa A	Średnia grupa B	Wartość testu t	$p/p_{\text{dwustronny}}$	Wartość testu F	p F	Wartość testu Levene'a	p Levene'a	Wartość testu Browna i Forsythe'a	p Browna i Forsythe'a
Przepływ A vs przepływ B	4,445	4,05	1,33	0,1915/ 0,1917	1,305	0,567	0,303	0,585	0,291	0,592

Hipotezę jednorodności (równości) wariancji o braku różnic pomiędzy czystością płyt mytych w przepływie z góry na dół a czystością płyt mytych w kierunku przeciwnym zweryfikowano potrójnie, testem F Levene'a oraz testem Browna i Forsythe'a. Wyliczone wartości tych testów oraz ich poziomy istotności przedstawiono w tabeli 2. Jak widać z uzyskanych wyników dla wszystkich 3 testów, wartość istotności p przekracza 0,05. Nie ma zatem podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o jednorodności wariancji i można przyjąć, że założenie równości jest spełnione. Wyniki testu t dla jednorodnych wariancji oraz poziomy istotności p i $p_{\text{dwustronny}}$ również wskazują, że nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej o równości skuteczności mycia płytowego wymiennika ciepła dla różnych kierunków przepływających mediów myjących. Można zatem wnioskować, że płyty myte w przepływie z góry na dół i płyty myte z dołu do góry myją się w sposób jednakowy przy poziomie istotności wynoszącym 0,05.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki stopnia umycia poszczególnych płyt w wymienniku ciepła, jako średnie z pięciu obszarów na płycie, oceniane w trzech powtórzeniach.

Uzyskane wyniki na wykresie (rys. 3) wskazują, że w najmniejszym stopniu myją się pierwsze płyty wymienników ciepła. Powodem tego może być inercja przepływu cieczy myjącej, powodująca omijanie pierwszych kanałów międzypłytowych, w wyniku czego są one najslabiej zasilane. Przepływ czynnika myjącego o małych wartościach prędkości przepływu w tych kanałach powoduje niekorzystne warunki mycia płyt, co w rezultacie wpływa na ich niedomywanie. Najlepszy stopień czystości uzyskano dla płyty tworzącej drugą szczelinę przepływową, co oznacza, że tam występują najlepsze warunki przepływu. Natomiast na kolejnych płytach zaobserwowano pogarszający się stopień ich czystości. Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej, która na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ wykazała istotne różnice w stopniu umycia poszczególnych płyt w wymienniku (tab. 3).



Rysunek 3. Stopień umycia poszczególnych płyt wymiennika ciepła
 Figure 3. Cleanliness degree of particular plates of the heat exchanger

Tabela 3

Analiza stopnia umycia poszczególnych płyt wymiennika ciepła mytych z góry na dół (A) i z dołu do góry (B)

Table 3

Analysis of cleanliness degree of particular plates of heat exchanger washed from the top to the bottom A and from the bottom to the top B

Źródło zmienności	Liczba stopni swobody	Suma kwadratów odchyleń	Średni kwadrat	$F_{obliczone}; F_{calculate}$	$F_{(α=0,05; k-1=3; n-k=8)}$	$F_{(α=0,01; k-1=3; n-k=8)}$
Między obiektami (T)	3	4,83 ^A /11,45 ^B	1,61 ^A /3,82 ^B	15,02 ^{A*} 11,9 ^{B*}	6,59	16,69
Wewnątrz obiektów Błąd (E)	8	0,86 ^A /2,57 ^B	0,107 ^A /0,32 ^B	-	-	-
Całkowite	11	5,67 ^A /14,01 ^B	-	-	-	-

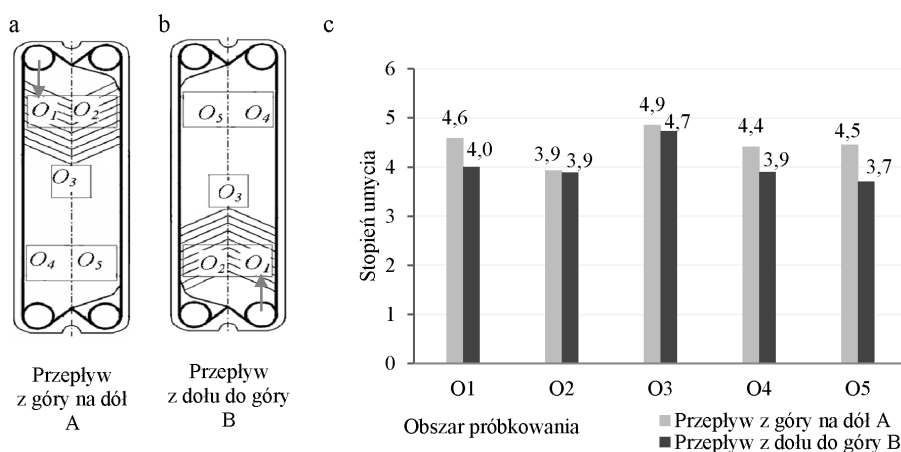
Zarówno dla płyt mytych w przepływie z góry na dół (A), jak i z dołu do góry (B) zachodzi nierówność $F_{obliczone} > F_{(α=0,05; k-1=3; n-k=8)}$. Zatem hipoteza o istnieniu zróżnicowania pomiędzy stopniem umycia poszczególnych płyt w wymienniku jest prawdziwa. W dalszej części analizy wyniki poddano testowi NIR z wykorzystaniem testu t – Studenta w celu wykrycia najmniejszych istotnych różnic pomiędzy badanymi obiektami. W badaniach mamy do czynienia z trzema parami średnich dla każdego z przepływów.

$$A - |\bar{x}_{p2} - \bar{x}_{p3}| = 0,63^* ; |\bar{x}_{p3} - \bar{x}_{p4}| = 0,42 ; |\bar{x}_{p4} - \bar{x}_{p1}| = 0,69^* ;$$

$$B - |\bar{x}_{p2} - \bar{x}_{p3}| = 0,79 ; |\bar{x}_{p3} - \bar{x}_{p4}| = 0,51 ; |\bar{x}_{p4} - \bar{x}_{p1}| = 1,37^* .$$

Dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$ wartość NIR wynosi $0,616^A/1,067^B$. W przypadku mycia wymienników ciepła z przepływem cieczy myjącej z góry na dół (A), wykazano istotne różnice pomiędzy stopniem umycia płyt 2 i 3 oraz 1 i 4. Natomiast w przypadku przepływu cieczy myjącej z dołu do góry (B), wykazano, że płyty 1 i 4 myją się w sposób istotnie różniący się od siebie. Na tej podstawie można stwierdzić, że pierwsze płyty w wymienniku ciepła, spośród wszystkich badanych, są najtrudniejszymi do umycia, natomiast najlepiej myją się płyty drugie. W celu dokładniejszej analizy mycia poszczególnych płyt, a nawet sekcji w wymienniku, konieczne jest przeprowadzenie badań na wielosekcyjnym wymienniku ciepła.

Kolejne badania dotyczyły porównania stopnia umycia poszczególnych obszarów na płytach wymienników ciepła. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań stanowiące średnie z trzech powtórzeń.



Rysunek 4. Wyniki dotyczące porównania stopnia umycia poszczególnych obszarów na płytach wymiennika ciepła: a – płyta myta w przepływie z góry na dół, b – płyta myta w przepływie z dołu do góry, c – stopień umycia poszczególnych obszarów na powierzchniach analizowanych płyt

Figure 4. Results concerning comparison of cleanliness degree of particular areas on the heat exchanger plates: a – plate washed in the flow from the top to the bottom, b – plate washed in the flow from the bottom to the top, c – cleanliness degree of particular areas on the surface of the analysed plates

Z wykresu wynika, że dla obu realizowanych przepływów czynnika myjącego najlepiej myty jest środkowy obszar płyt (O_3). Ponadto zaobserwowano, że dla przepływu realizowanego z góry do dołu najgorzej myje się obszar (O_2) – przeciwległy do napływu cieczy, natomiast dla przepływu realizowanego z dołu do góry – obszar (O_5), znajdujący się po przeciwległej stronie od odpływu cieczy myjącej (rys. 4). Oznacza to, że w tych miejscach występują niekorzystne warunki przepływu cieczy myjącej, decydujące o skuteczności procesu mycia. Wymienione obszary można uznać za najtrudniejsze do umycia. Jun i Puri

(2006) wykazują, że w tych miejscach gromadzi się najwięcej zanieczyszczeń. Zatem zachowując ten sam kierunek przepływu dla produktu i czynnika myjącego, można powiedzieć, że są to najbardziej niebezpieczne dla higieny produkcji miejsca w płytowych wymiennikach ciepła, w których następuje narastanie zanieczyszczeń oraz ich niedomywanie w trakcie standardowych procedur mycia prowadzonych w systemie CIP.

Tabela 4

Analiza stopnia umycia poszczególnych obszarów na płycie wymiennika ciepła mytych z góry na dół (A) i z dołu do góry (B)

Table 4

Analysis of cleanliness degree of particular areas on the plate of the heat exchanger washed from the top to the bottom (A) and from the bottom to the top (B)

Źródło zmienności;	Liczba stopni swobody;	Suma kwadratów odchyień;	Średni kwadrat;	$F_{obliczone}; F_{calculate}$	$F_{(\alpha=0,05; k-1=4; n-k=10)}$	$F_{(\alpha=0,01; k-1=4; n-k=10)}$
Między obiektami; (T)	4	1,33 ^A /1,85 ^B	0,33 ^A /0,46 ^B	3,06 ^A 12,08 ^{B*}	5,96	14,54
Wewnątrz obiektów (E)	10	1,09 ^A /0,38 ^B	0,109 ^A /0,038 ^B	-	-	-
Całkowite;	14	2,43 ^A /2,23 ^B	-	-	-	-

Analiza wariancji testem *F Fischera-Snedecorna* na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ wykazała, że wyłącznie dla przepływu realizowanego z dołu do góry (B) występują istotne różnice w stopniu umycia poszczególnych obszarów na płytach wymiennika ciepła (tab. 4). Natomiast dla przepływu realizowanego w kierunku przeciwnym należy przyjąć hipotezę o braku różnicowania stopnia umycia badanych obszarów. W analogiczny sposób jak poprzednio przeprowadzono test NIR z wykorzystaniem testu *t – Studenta*. W tym przypadku mamy do czynienia z czterema parami średnich dla każdego z przepływów.

$$A - |\bar{x}_{O3} - \bar{x}_{O1}| = 0,27; |\bar{x}_{O1} - \bar{x}_{O5}| = 0,13; |\bar{x}_{O5} - \bar{x}_{O4}| = 0,03 \text{ i } |\bar{x}_{O4} - \bar{x}_{O2}| = 0,49;$$

$$B - |\bar{x}_{O3} - \bar{x}_{O1}| = 0,73^*; |\bar{x}_{O1} - \bar{x}_{O4}| = 0,08; |\bar{x}_{O4} - \bar{x}_{O2}| = 0,04 \text{ i } |\bar{x}_{O2} - \bar{x}_{O5}| = 0,15.$$

Dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$, wartość NIR wynosi 0,601^A/0,355^B. Dla wyników czystości uzyskanych dla mycia w przepływie z góry na dół, we wszystkich przypadkach zachodzi nierówność $|\bar{x}_{O_n} - \bar{x}_{O_{n-1}}| < NIR$, co oznacza, że pomiędzy uzyskanymi wynikami czystości dla poszczególnych obszarów na płytach nie występują istotne statystycznie różnice. Potwierdza to analizę wariancji. Natomiast dla wyników czystości uzyskanych w przepływie z dołu do góry wykazano istotne różnice pomiędzy stopniem umycia obszarów (O₃) i (O₁). Świadczy to o tym, że obszar środkowy płyty istotnie lepiej myje się od wszystkich pozostałych obszarów na płycie.

Na podstawie uzyskanych wyników można przypuszczać, że najlepszy poziom higieny płytowych wymienników ciepła można by było uzyskać w momencie, gdy produkt poddawany obróbce termicznej byłby podawany w przepływie z dołu do góry, a przepływ mediów myjących – w kierunku przeciwnym. Wówczas prawdopodobnie najwięcej zanie-

czyszczeń będzie się gromadzić w obszarze O_5 (rys. 4b), co jest zgodne z doniesieniem Jun i Puri (2006), a ich usuwanie będzie znacznie skuteczniejsze, analogicznie do wyników uzyskanych dla obszaru O_1 (rys. 4a). Pozostaje jednak pytanie, czy tworzące się osady dla obu przepływów będą narastać w podobnym tempie i czy będą jednakowo mocno związane z powierzchnią. W celu sprawdzenia postawionych hipotez badania należałoby przeprowadzić w warunkach przemysłowych, przy długotrwałym użytkowaniu wymienników.

Wnioski

Uzyskane wyniki badań i ich analiza pozwalają jasno potwierdzić duże zróżnicowanie stopnia umycia płytowych wymienników ciepła. Nie wykazano natomiast, iż występuje zróżnicowanie pomiędzy stopniem umycia płyt wymiennika ciepła, uwarunkowane kierunkiem przepływu czynników myjących. Stwierdzono, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ istnieje zróżnicowanie skuteczności mycia zarówno poszczególnych płyt w wymienniku, jak i obszarów na płycie. W odniesieniu do rozmieszczenia płyt wykazano, że pierwsze płyty w wymienniku ciepła są mniej skutecznie myte niż płyty ostatnie, natomiast najlepiej myją się płyty drugie. Analiza uzyskanych wyników badań dotyczących skuteczności mycia wybranych obszarów na płycie wykazała natomiast, iż w przypadku przepływu z dołu do góry środkowa część płyty myje się najlepiej w stosunku do pozostałych. Dla przepływu realizowanego w kierunku przeciwnym nie wykazano zróżnicowania stopnia umycia badanych obszarów na płycie.

Literatura

- Bansal, B.; Chen, X. D. (2005). Fouling of heat exchangers by dairy fluids – a review. *Heat Exchanger Fouling and Cleaning - Challenges and Opportunities*, 23, 149-157.
- Diakun, J. (2011). Analiza oddziaływania czynników w procesie mycia instalacji i urządzeń. *Inżynieria Rolnicza*, 1(126).
- Diakun, J. (2013). Przegląd, systematyka i analiza metod mycia. *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego*, 1/4(5), 5-10.
- 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.
- Jun, S.; Puri, V. M. (2006). 2D dynamic model for fouling performance of plate heat exchangers. *Journal of Food Engineering*, 75, 364-374.
- Lelieveld, H.L.M.; Mostert, M.A.; Holah, J.; White, B. (2003). *Higiene in food processing*. Woodhead publishing limited, England, 197-230.
- Lewicki, P.P. (2005). Mycia maszyn i urządzeń w przemyśle spożywczym. *Przemysł Spożywczy*, 2, 24-27.
- Merheb, B.; Nassar, G.; Nongaillard, B.; Delaplace, G.; Leuliet, J.C. (2007). Design and performance of a low-frequency non-intrusive acoustic technique for monitoring fouling in plate heat exchangers. *Journal of Food Engineering*, 82, 518-527.
- Piepiórka, J.; Diakun, J. (2011). Nierównomierność mycia powierzchni płyt wymienników ciepła. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 1.
- Piepiórka-Stepuk, J. (2012). Porównanie metod oceny stopnia umycia powierzchni produkcyjnych w systemie CIP. *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego* 2/4(2), 23-26.

- Tamime, A. (2008). *Cleaning in Place Dairy, Food and Beverage Operations*. Blackwell Publishing Ltd, ISBN 978-1-405-15503-8.
- Wang, L.; Sundén, B.; Manglik, R.M. (2007). *Plate heat exchangers: design, applications and performance*. WIT Press, United Kingdom, ISBN 978-1-85312-737-3.

ASSESSMENT OF WASHING EFFICIENCY IN THE CLOSED CIRCULATION OF THE SELECTED AREA IN PLATE HEAT EXCHANGERS

Abstract. The paper is related to the issue of maintaining cleanliness in plate heat exchangers operating as milk pasteurizers. A washing method of exchangers, factors of efficiency of this treatment and issues related to not complete washing of the plates surface were presented. The basic objective of the analyses which were carried out was to indicate areas on the plate and plates in the exchanger, which are the most difficult for washing. The cleanliness degree of the plate heat exchanger was additionally varied with the flow directions of the washing liquid. The research was carried out experimentally on the heat exchanger, which was joined to the washing circulation to the laboratory station CIP. Washing took place in 20 different programmes which differed between them with washing conditions and was repeated three times. Cleanliness degree of plates was determined with Pro-Clean smear test. All plates in the exchanger in five selected areas were subjected to evaluation. The obtained results, at the conventionally used significance levels $\alpha = 0.01$ and $\alpha = 0.05$, differed between each other significantly.

Key words: washing in a flow, plate heat exchanger, degree of cleanliness

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