

Dr inż. Joanna PIEPIÓRKA-STEPUK

Prof. dr hab. inż. Jarosław DIAKUN

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Wydział Mechaniczny  
Politechnika Koszalińska

## ENERGETYCZNE ASPEKTY PROCESU I SKUTECZNOŚCI MYCIA PŁYTOWEGO WYMIENNIKA CIEPŁA®

### Electrical energy aspects and cleanliness in the cleaning process in CIP system a plate heat exchanger®

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

**Słowa kluczowe:** mycie, CIP, skuteczność mycia, zużycie energii.

*W pracy zaprezentowanej w artykule podjęto próbę określenia zależności pomiędzy skutecznością mycia płyt płytowego wymiennika ciepła a ilością energii elektrycznej potrzebną do przeprowadzenia procesu. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci graficznej wyznaczając korzystne i niekorzystne warunki mycia w aspekcie energetycznym.*

**Key words:** cleaning, CIP, efficiency of cleaning, energy consumed.

*The paper attempts to define the relationship between the degree of cleaning plates the heat exchanger and the amount of energy needed to carry out the process. The results in graphical form, determining positive and negative conditions for cleaning in the aspect of energy consumed was shown at the figures.*

## WPROWADZENIE

Wzrost efektywności energetycznej jest jednym z zadań zakładów przemysłu spożywczego. Podejmowane działania są nieodzownym elementem doskonalenia produkcji, zmierzającym do uzyskania ekonomicznych korzyści [13, 16]. Pawełas [8, 9] podkreśla, że działania te powinny być rozpatrywane w trzech obszarach, uwzględnionych już w fazie projektowania zakładu, m.in. dotyczą one całości zakładu w tym instalacji i układów technologicznych z uwzględnieniem sezonowości ich pracy, następnie instalacji energetycznych i warunków dostaw energii oraz urządzeń i ich zapotrzebowania na energię [19]. Istnieją specyficzne uwarunkowania energochłonności produkcji zakładów przemysłu spożywczego wynikające z technologii produkcji. Realizowane operacje technologiczne związane z wymianą ciepła stanowią ok. 45% całkowitego zużycia energii w zakładach produkcyjnych, z czego 29% energii potrzebnej jest na pokrycie zapotrzebowania na procesy związane z ogrzewaniem, zaś 16% na procesy związane z chłodzeniem. W ujęciu branżowym sytuacja ta może kształtować się w odmienny sposób, m.in. w zakładach owocowo-warzywnych udział chłodnictwa może sięgać nawet 50%, podczas gdy w piekarnictwie jest nieznaczny [16, 17]. Zużycie energii elektrycznej w zakładach przetwórstwa rolno-spożywczego zależy od wielu czynników, spośród których podstawowymi są: właściwości termofizyczne surowców, wymagania stawiane produktowi, technologia produkcji, wielkość i struktura produkcji, wyposażenie techniczne, stopień zmechanizowania operacji produkcyjnych, stopień wykorzystania zdolności przerobowej oraz organizacja produkcji. Zagadnienia te oraz wskaźniki efektywności energetycznej dla zakładów wybranych branż przetwórstwa rolno-spożywczego

szeroko omówili Wojdalski i Drózd [16]. Procesy mycia i dezynfekcji maszyn i urządzeń produkcyjnych, są procesami energochłonnymi i dla przemysłu spożywczego średnio stanowią, aż 13,5% całości zapotrzebowania energetycznego [1, 7]. Zużycie to wynika głównie z warunków eksploatacji stacji mycia CIP w zakładach, konieczności podgrzewania mediów myjących w tankach magazynowych oraz ich utrzymaniem w określonej temperaturze przez czas wykorzystywania. Podwyższona temperatura roztworów myjących jest niezbędna w procesach mycia gdyż wspomaga usuwanie zanieczyszczeń. Ułatwia m.in. rozpuszczenie osadów poprodukcyjnych, obniża napięcie powierzchniowe i umożliwia penetrację osadów. Wysokość temperatury powinna być dostosowana do rodzaju usuwanych z powierzchni osadów, materiałów konstrukcyjnych, z których wykonane są myte urządzenia oraz do stosowanych substancji aktywnych zawartych w środkach myjących [4, 13, 15]. Wojdalski i in. [18] wykazali, że zarówno kamień mleczny jak i kotłowy, powstający w wyniku podgrzewania mleka i odpowiednio wody, prowadzą do zmniejszenia strumienia ciepła i obniżenia efektywności wymiennika. Istotne jest zatem zapobieganie ich powstawaniu przez odpowiedni dobór warunków mycia w przepływie. Najczęściej mycie zasadnicze odbywa się w temperaturze 95°C. Określenie zależności pomiędzy skutecznością mycia w przepływie instalacji produkcyjnych a energochłonnością tego procesu może wpłynąć na poszerzenie wiedzy dotyczącej oszczędności energii przy zachowaniu wymaganych standardów mycia. Rozwiązanie zadania umożliwiłoby minimalizację jednostkowych kosztów produkcji związanych ze zużyciem przez zakłady przemysłu spożywczego energii elektrycznej. Problem ten należy jednak rozpatrywać dla każdego urządzenia i powstającego na nim osadu indywidualnie [7, 18]. Usuwaniu zanieczyszczeń z powierzchni wymienników

ciepła poświęcone są także prace: Changani i in. [2], Kukulka i Devgun [3], Nema i Datta [5, 6], Rosmaninho i in. [11], Sahoo i in. [12] oraz Tomaszewska i Białończyk [14].

Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań dotyczących zależności pomiędzy skutecznością mycia płytowego wymiennika ciepła zanieczyszczonego pełnym mlekiem a ilością energii potrzebną do przeprowadzenia procesu mycia w obiegu zamkniętym.

## MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

Badania przeprowadzono stosując laboratoryjną instalację mycia w systemie CIP, która składała się z dwóch zbiorników o pojemności 0,3 m<sup>3</sup>, pompy, systemu rur i zaworów (rys. 1).

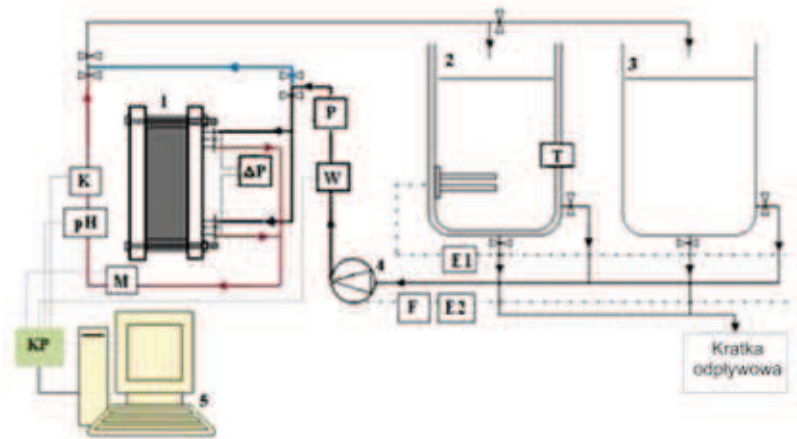
Jeden ze zbiorników magazynujących roztwory (2) posiadał wbudowaną grzałkę o mocy 3 kW i izolację cieplną, co umożliwiło przygotowanie roztworów myjących o określonej temperaturze oraz ograniczało straty ciepła do otoczenia. Zasilanie grzałki następowało przez termostatyczny układ regulacji, umożliwiający nagrzanie i stabilizację temperatury cieczy w zbiorniku. Drugi zbiornik zawierał wodę zwrotną (3). Stacja wyposażona była w trzyatory pomiarowe, mierzące:

- parametry cieczy myjącej – temperatura ( $T$ ), mętność ( $M$ ), przewodność ( $K$ ) i pH ( $pH$ );
- wielkości charakteryzujące przepływ – prędkość przepływu ( $W$ ), ciśnienie ( $P$ ), różnicę ciśnień ( $\Delta P$ );
- parametry zasilania energetycznego – energia potrzebna do podgrzania cieczy myjącej ( $E_1$  – miernik PM 390 firmy Elektro-Trading) i energia do zasilania pompy ( $E_2$  – trójfazowy licznik energii elektrycznej C-52 firmy Inventor).

Wszystkie dane procesowe były zbierane za pomocą karty pomiarowej (KP) i rejestrowane w stacji komputerowej (5). Na potrzeby niniejszego opracowania proces mycia monitorowano pod kątem uzyskiwanej czystości płyt  $J_M$  oraz całkowitego zużycia energii  $E_C$  (wzór 1) na które składały się:  $E_{Gi}$  – energia elektryczna potrzebna na podgrzanie i utrzymanie temperatury czynników myjących oraz  $E_{Pi}$  – energia do napędu pompy. Suma pomierzonych składowych stanowiła całkowitą energochłonność procesu mycia płytowego wymiennika ciepła (1), którą poddano analizie.

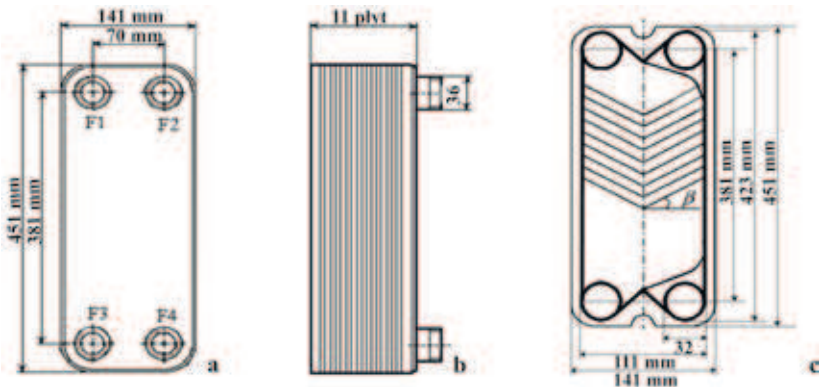
$$E_C = E_{Gi} + E_{Pi} \text{ [kW} \cdot \text{h]} \quad (1)$$

Do instalacji mycia podłączono płytowy wymiennik ciepła typu S4 IT PN 10 (1) firmy Sondex, którego dane techniczne zaprezentowano



Rys. 1. Schemat laboratoryjnej stacji mycia CIP.  
Fig. 1. Scheme of the laboratory station CIP cleaning.

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 2. Schemat płytowego wymiennika ciepła: a – płyta czołowa z czterema przyłączami, b – pakiet płyt, c – pojedyncza płyta.

Fig. 2. Scheme of a plate heat exchanger: a – front panel with four terminals, b – a package of plates, c – a single plate.

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 1. Wielkości charakterystyczne badanego, modelowego płytowego wymiennika ciepła

Table 1. Capacity characteristic of the studies plate heat exchanger

| Charakterystyczna wielkość dla płytowego wymiennika ciepła  | Wartość |
|---|---------|
| Długość efektywna płyty $L_w$ [m]   | 0,381   |
| Szerokość efektywna płyty $L_s$ [m]   | 0,11    |
| Pole powierzchni czynnej pojedynczej płyty $A$ [m <sup>2</sup> ]  | 0,042   |
| Całkowita powierzchnia wymiany ciepła $A_c$ [m <sup>2</sup> ]   | 0,46    |
| Największa odległość między płytami $b$ [m]   | 0,009   |
| Średnia odległość między płytami $c=(b/2)$ [m]  | 0,0045  |
| Pole powierzchni poprzecznego strumienia cieczy $P_{str} = cL_s$ [m <sup>2</sup> ]                        | 0,0005  |
| Całkowity obwód zwilżony $Ob_c = 2c + 2L_s$ [m]   | 0,23    |
| Liczba płyt w wymienniku $N_p$ [szt.]   | 11      |
| Liczba kanałów przepływowych po obu stronach w płytowym wymienniku ciepła<br>$N_c = (N_p - 1) / 2$ [szt.] | 5       |
| Odległość pomiędzy płytami wymiennika przyjęty do obliczeń liczby $Re$<br>$d_c$ [m]                       | 0,009   |

Źródło: Badania własne

w tabeli 1. Wymiennik realizował przepływ w przeciwnym kierunku i zbudowany był z płyt typu *straight flow* (rys. 2).

Proces mycia prowadzono czystą wodą przeznaczoną do picia, co odpowiadało wstępnemu płukaniu instalacji. Plan badań obejmował przeprowadzenie procesu z uwzględnieniem czynników mycia, których przedziały zmienności mieściły się w zakresie:

- czas mycia  $t = 10 \div 120$  [min],
- średnia prędkość przepływu między płytami wymiennika ciepła  $u_c = 0,35 \div 0,75$  [ $m \times s^{-1}$ ],
- temperatura cieczy myjącej  $T = 10 \div 80$  [ $^{\circ}C$ ].

Program badań opracowano wg planu statystycznego 5-poziomowego  $2^3+2 \times 3+6$ , na podstawie którego uzyskano macierz eksperymentu zaprezentowaną w tabeli 2.

Pojedynczy cykl pomiarowy obejmował testowe zanieczyszczanie płyt mlekiem i ich wygrzewanie, montaż wymiennika ciepła, mycie w przepływie, demontaż oraz ocenę stopnia umycia płyt, której dokonywano testami wymazowymi *Clean-Trace™ Surface Protein Plus*, standardowo stosowanymi w zakładach produkcyjnych. Polegały one na przetarciu wyznaczonego obszaru powierzchni płyt jałową tzw. wymazówką. W wyniku barwnej reakcji  $Cu^{2+}$  i kompleksów białkowych uzyskiwano informacje o poziomie pozostałości zanieczyszczeń białkowych. Stężenie powstającego kompleksu barwnego jest proporcjonalne do liczby wiązań peptydowych zawartych w badanym roztworze [10]. Ocenę prowadzono w skali od 0 do 10 pkt, gdzie 0 pkt oznaczało pierwotny stan zabrudzenia a 10 pkt powierzchnię całkowicie czystą. Ocenie poddawano wszystkie płyty w wymienniku, w pięciu jednakowych obszarach: O1 – napływ, O2 – obszar obok napływu, O3 – środek, O4 – odpływ oraz O5 – obszar obok odpływu. Każdy z badanych obszarów wynosił 5,0 cm na 5,0 cm. Na podstawie uzyskanych wyników testowych obliczono ogólną średnią czystość płyt wymiennika ciepła ( $J_M$ ), zgodnie z równaniem (2).

$$J_M = \frac{\sum (J_{MOi})}{m} \text{ [pkt.]} \quad (2)$$

w którym:  $J_{MOi}$  – czystość poszczególnych obszarów na kolejnych płytach wymiennika ciepła;

$m$  – liczebność próbek (iloczyn ilości badanych obszarów na pojedynczej płycie i ilości płyt poddawanych ocenie):  
 $m = 25$ .

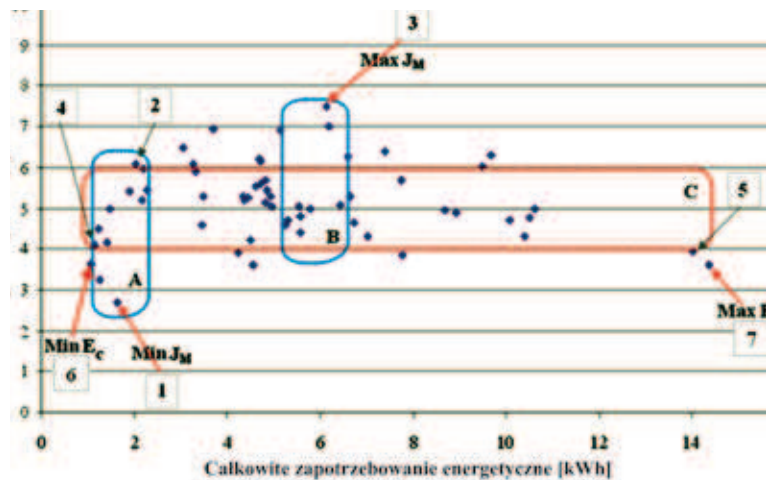
Badania prowadzono w trzech powtórzeniach dla każdego zestawu wartości czynników (tab. 2), zgodnie z zaprezentowanym harmonogramem badań stanowiącym część projektu badawczego. Uzyskane wyniki zestawiono na rysunkach 3 i 4, w postaci pól punktów, o współrzędnych  $x, y$ . Stopień umycia opisano na osi rzędnych, natomiast całkowite zapotrzebowanie energetyczne na osi odciętych oraz w tabeli 3.

Tabela 2. Programy mycia stosowane w badaniach

Table 2. Washing programs used in the research

| Poziom planu | Zmienne rzeczywiste procesu mycia |                                    |  |
|--------------|-----------------------------------|------------------------------------|--|
|              | Czas $t$<br>[min]                 | Temperatura $T$<br>[ $^{\circ}C$ ] | Prędkość przepływu cieczy $V$<br>[m/s] |
| 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                                   |

Źródło: Badania własne



Rys. 3. Uwarunkowania usunięcia zanieczyszczeń z płyt wymiennika ciepła w zależności od energochłonności procesu.

Fig. 3. Determination of remove the contaminants from plate heat exchanger depending on of energy requirement of the process.

Źródło: Opracowanie własne

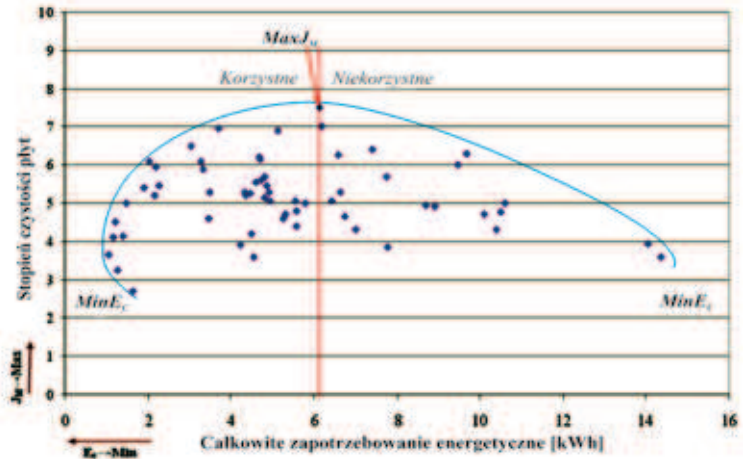
## OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Na rysunku 3 przedstawiono zależności stopnia umycia płyt wymiennika ciepła od całkowitego zapotrzebowania procesu na energię elektryczną.

Na rysunku 3 wyróżniono trzy obszary uzyskanych wyników badań. Dla stałych wartości zapotrzebowania energetycznego uzyskano różny stopień czystości płyt – zbioru wyników w obszarach A i B. Obszar C obejmuje wyniki pomiarów, w których dla różnych wartości zapotrzebowania

energetycznego energii uzyskano zbliżony stopień czystości płyt. Zaznaczono również wyniki, dla których uzyskano maksymalne oraz minimalne wartości, zarówno dla stopnia umycia, jak i dla całkowitego zapotrzebowania energetycznego energii. W obszarze A, w którym średnie zapotrzebowanie na energię wynosi  $E_c \approx 2 \text{ kW}\cdot\text{h}$  wyróżniono dwa punkty. Punkt 1, określa najgorszą skuteczność mycia ( $MinJ_M = 2,70$ ) oraz punkt 6, w którym uzyskano najmniejsze zapotrzebowanie energetyczne energii dla wszystkich analizowanych wyników ( $MinE_c = 1,06 \text{ kW}\cdot\text{h}$ ). W obu punktach zastosowano różne wartości badanych zmiennych procesowych, które w punkcie 1 odpowiadały wartościom:  $t = 32 \text{ min}$ ,  $T = 24^\circ\text{C}$  oraz  $u_c = 0,45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , natomiast w punkcie 6:  $t = 65 \text{ min}$ ,  $T = 10^\circ\text{C}$  oraz  $u_c = 0,55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . W analizowanym obszarze wyznaczono również punkt 2 (rys. 3.), w którym uzyskano najlepszą skuteczność mycia, na poziomie  $J_M = 6,08$  (program mycia o parametrach  $t = 32 \text{ min}$ ,  $T = 24^\circ\text{C}$  oraz  $u_c = 0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). W punkcie tym uzyskano stosunkowo dobrą skuteczność mycia przy niewielkim wzroście zapotrzebowania energetycznego w stosunku do punktu 1, z wartości  $E_{c1} = 1,63 \text{ kW}\cdot\text{h}$  do  $E_{c2} = 2,03 \text{ kW}\cdot\text{h}$ . Było to spowodowane zwiększeniem prędkości przepływu czynnika myjącego w przestrzeni między płytami wymiennika ciepła, z wartości  $u_c = 0,45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  do wartości  $u_c = 0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Wzmożenie mechanicznych oddziaływań w procesie mycia kosztem niewielkiego wzrostu zużycia energii elektrycznej poprawia więc znacząco końcowy stopień umycia instalacji. W obszarze B (rys. 3) zamieszczono wyniki badań, dla których energochłonność procesu  $E_c$  mieści się w zakresie  $5 \div 7 \text{ kW}\cdot\text{h}$ . W obszarze tym znajduje się punkt, oznaczony numerem 3. Spośród wszystkich przeprowadzonych pomiarów, uzyskano dla niego najlepszą jakość mycia, wynoszącą  $MaxJ_M = 7,5$ . Wartości czynników zmiennych procesowych dla tego programu mycia wynosiły:  $t = 65 \text{ min}$ ,  $T = 45^\circ\text{C}$  oraz  $u_c = 0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Dobra jakość mycia, jaką uzyskano stosując parametry określone w tym punkcie, spowodowana była dużą prędkością przepływu cieczy myjącej wynoszącą  $0,75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  oraz korzystną dla tego rodzaju zanieczyszczeń temperaturą mycia wynoszącą  $45^\circ\text{C}$ . Uzyskane zapotrzebowanie na energię dla punktu 3 ( $E_c = 6,14 \text{ kW}\cdot\text{h}$ ) wynika z konieczności podgrzania cieczy myjącej do zadanej temperatury i jej utrzymaniu przez czas 65 minut.

W obszarze C (rys. 3) znajdują się wyniki pomiarów, w których uzyskano zbliżony stopień umycia, na poziomie  $4 \div 6$  punktów czystości dla różnych wartości całkowitego zapotrzebowania energetycznego. W obszarze tym wyszczególniono dwa punkty. Punkt 4, o najmniejszym zapotrzebowaniu energetycznym  $E_{c4} = 1,16 \text{ kW}\cdot\text{h}$ .



Rys. 4. Optymalizacja zależności stopnia umycia płyt wymiennika ciepła od zapotrzebowania procesu na energię.

Fig. 4. Optimization depending degree of cleaning plate heat exchanger by the energy requirement of the process.

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 3. Wyniki eksperymentu

Table 3. Results of tests

| Program mycia | Zmienne rzeczywiste |      |       | Całkowita energochłonność procesu mycia |          |          |          | Ogólna średnia czystość płyt wymiennika ciepła |          |                                 |          |
|---------------|---------------------|------|-------|---|----------|----------|----------|--|----------|---------------------------------|----------|
|               | t                   | T    | V     | $E_c$                                   |          |          |          | $J_M$  |          |                                 |          |
|               | [min]               | [°C] | [m/s] | $E_{c1}$                                | $E_{c2}$ | $E_{c3}$ | $E_{c4}$ | $J_{M1}$                                       | $J_{M2}$ | $J_{M3}$                        | $J_{M4}$ |
|               |                     |      |       | [kW·h]                                  |          |          |          | [pkt.]   |          |                                 |          |
| 1             | 32                  | 24   | 0,45  | 1,63                                    | 1,27     | 1,41     | 1,40     | 2,70<br><i>MinJ<sub>M</sub></i>                | 3,25     | 4,15                            | 3,60     |
| 2             | 98                  | 24   | 0,45  | 2,16                                    | 2,28     | 2,19     | 2,20     | 5,20   | 5,45     | 5,96                            | 5,67     |
| 3             | 32                  | 66   | 0,45  | 7,78                                    | 7,01     | 6,74     | 7,20     | 3,85   | 4,30     | 4,66                            | 4,49     |
| 4             | 98                  | 66   | 0,45  | 14,03                                   | 10,39    | 10,09    | 11,5     | 3,95   | 4,30     | 4,72                            | 4,51     |
| 5             | 32                  | 24   | 0,65  | 1,48                                    | 1,90     | 2,03     | 1,80     | 5,00   | 5,40     | 6,08                            | 5,83     |
| 6             | 98                  | 24   | 0,65  | 3,33                                    | 3,05     | 3,70     | 3,40     | 5,90   | 6,49     | 6,95                            | 6,68     |
| 7             | 32                  | 66   | 0,65  | 6,42                                    | 6,64     | 7,40     | 6,80     | 5,07   | 5,30     | 6,40                            | 5,81     |
| 8             | 98                  | 66   | 0,65  | 8,92                                    | 9,48     | 9,68     | 9,40     | 4,90   | 6,02     | 6,30                            | 6,04     |
| 9             | 120                 | 45   | 0,55  | 8,69                                    | 7,74     | 6,58     | 7,70     | 4,95   | 5,70     | 6,26                            | 5,82     |
| 10            | 10                  | 45   | 0,55  | 3,47                                    | 3,48     | 3,28     | 3,40     | 4,60   | 5,30     | 6,10                            | 5,53     |
| 11            | 65                  | 80   | 0,55  | 14,36<br><i>MaxE<sub>c</sub></i>        | 10,50    | 10,60    | 11,8     | 3,60   | 4,78     | 5,00                            | 4,66     |
| 12            | 65                  | 10   | 0,55  | 1,06<br><i>MinE<sub>c</sub></i>         | 1,16     | 1,22     | 1,10     | 3,65   | 4,10     | 4,51                            | 4,30     |
| 13            | 65                  | 45   | 0,75  | 5,14                                    | 6,18     | 6,14     | 5,80     | 6,90   | 7,02     | 7,50<br><i>MaxJ<sub>M</sub></i> | 7,24     |
| 14            | 65                  | 45   | 0,35  | 4,56                                    | 4,23     | 4,49     | 4,40     | 3,6  | 3,9      | 4,21                            | 4,30     |
| 15            | 65                  | 45   | 0,55  | 5,25                                    | 4,82     | 4,92     | 5,00     | 4,6  | 5,15     | 5,30                            | 5,35     |
| 16            | 65                  | 45   | 0,55  | 5,56                                    | 4,35     | 4,73     | 4,90     | 5,06   | 5,3      | 5,60                            | 5,54     |
| 17            | 65                  | 45   | 0,55  | 5,57                                    | 4,36     | 4,61     | 4,80     | 4,8  | 5,2      | 5,55                            | 5,45     |
| 18            | 65                  | 45   | 0,55  | 5,78                                    | 4,46     | 4,82     | 5,00     | 5,00   | 5,25     | 5,70                            | 5,58     |
| 19            | 65                  | 45   | 0,55  | 5,31                                    | 4,95     | 4,72     | 5,00     | 4,70   | 5,05     | 6,15                            | 5,40     |
| 20            | 65                  | 45   | 0,55  | 5,58                                    | 4,86     | 4,69     | 5,00     | 4,40   | 5,45     | 6,20                            | 5,62     |

Źródło: Badania własne

Wartości czynników procesu mycia dla tego punktu wynoszą  $t = 65 \text{ min}$ ,  $T = 10^\circ\text{C}$  oraz  $u_c = 0,55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , oraz punkt 5, w którym zapotrzebowanie energetyczne jest bardzo duże  $E_{c5} = 14,36 \text{ kW}\cdot\text{h}$ . Wartości czynników procesu dla punktu 5 odpowiadały  $t = 65 \text{ min}$ ,  $T = 80^\circ\text{C}$  oraz  $u_c = 0,55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Niewielkie

zapotrzebowanie energetyczne na energię w punkcie 4 związane jest z brakiem konieczności podgrzewania cieczy myjącej, jednak stopień umycia powierzchni płyt w tym punkcie nie jest zadawalający, gdyż wynosi zaledwie  $J_M = 4,1$ . W punkcie 5 zapotrzebowanie energetyczne wynika z konieczności podgrzania cieczy myjącej do temperatury  $T = 80^\circ\text{C}$  oraz utrzymania jej przez czas 65 minut, jednak również nie poprawia to stopnia czystości płyt, który oceniono na poziomie  $J_M = 4$ . Poniżej obszaru C, znajduje się punkt, który oznaczono jako  $MaxE_c$ . Punkt ten odpowiada programowi mycia o parametrach przedstawionych powyżej (punkt 5) i jest jednym z powtórzeń.

Na rysunku 4, przedstawiono wyniki wyrażające zależność stopnia umycia płyt wymiennika ciepła od energochłonności procesu, obrysowane obwiednią, która stanowi ograniczenie obszaru badanej zależności.

Spośród analizowanych wyników wydzielono obszary: korzystny i niekorzystny. W obszarze korzystnym znajduje się zbiór punktów dotyczących programów mycia, dla których zwiększając zużycie energii elektrycznej uzyskuje się lepszą skuteczność procesu mycia. W obszarze niekorzystnym zwiększanie nakładu energetycznego nie podnosi efektywności mycia. Zużycie energii w procesie mycia związane jest głównie z podgrzewaniem stosowanej cieczy do mycia oraz jej utrzymaniem na określonym poziomie temperatury. Z uzyskanych wyników badań wynika, że nie zawsze jest to zasadne. Ponieważ prowadzone badania dotyczyły wyłącznie mycia czystą wodą to problem ten należy również rozpatrzyć dla mycia z wykorzystaniem chemicznych roztworów myjących, na co zwracają uwagę również inni badacze [3, 18].

## PODSUMOWANIE

Na podstawie rozkładu punktów wykazano korzystne i niekorzystne warunki mycia. Zakreślono polioptymalny obszar, w którym występowała maksymalizacja jakości mycia i minimalizacja zapotrzebowania energetycznego związanego z przeprowadzeniem tego procesu. Wykonane analizy, dotyczące jakości mycia płyt wymiennika ciepła, w zależności od zapotrzebowania energetycznego w postaci zakresu optymalnego pola, są rozwiązaniem intuicyjnym. Zasadne jest więc przeprowadzenie wielokryterialnej optymalizacji w sposób obliczeniowy. W zadaniu optymalizacyjnym, funkcję regresji jakości mycia oraz funkcję całkowitego zapotrzebowania energetycznego można traktować, jako funkcje kryterialne optymalizacji – poszukiwanie najlepszych warunków mycia w aspekcie minimalizacji zapotrzebowania energetycznego oraz maksymalizacji jakości mycia. Jako zmienne decyzyjne optymalizacji należałoby przyjąć temperaturę ( $T$ ), prędkość przepływu cieczy myjącej przez płyty wymiennik ciepła ( $u_c$ ) oraz czas procesu mycia ( $t$ ). Rozwiązanie zadania wielokryterialnej polioptymalizacji umożliwiłoby określenie zbioru korzystnych czynników procesu mycia. Należy prowadzić dalsze badania w tym zakresie poszerzając je również o chemiczne aspekty procesu mycia.

## WNIOSKI

Na podstawie badań, stwierdzono, że płukanie wstępne gorącą wodą, płytowych wymienników ciepła zanieczyszczonych mlekiem, jest niezasadne, gdyż nie wpływa na poprawę

wę efektu mycia. Najlepsze wyniki na tym etapie uzyskuje się dla temperatury  $T = 45^\circ\text{C}$  przy dużych prędkościach przepływu. Zastosowanie odpowiednich warunków procesu pozwala zminimalizować koszty związane ze zużyciem energii oraz poprawić końcowy efekt mycia.

Najmniejsze zapotrzebowanie na energię związane jest z wymuszeniem przepływu o określonej prędkości. Wraz ze wzrostem prędkości następuje poprawa jakości mycia, co wykazano w badaniach. W aspekcie ekologicznym oraz bezpieczeństwa mikrobiologicznego produkowanej żywności, wskazane jest stosowanie możliwie wysokich prędkości przepływu mediów myjących, kosztem temperatury i długiego czasu mycia.

Przeprowadzone badania potwierdzają, że mycie w przepływie w systemie CIP, jest procesem energochłonnym. Uzyskanie czystości powierzchni płyt na poziomie  $J_M = 7,5$  wymagało dostarczenia energii elektrycznej o wartości  $E_{csr} = 5,80$  kWh. Związane jest to głównie z podgrzewaniem mediów myjących do temperatury  $T = 45^\circ\text{C}$  i jej utrzymaniem przez 65 minut.

## LITERATURA

- [1] BREF – Zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich ograniczanie. Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik w przemyśle spożywczym, dostęp 2014. [http://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/BREF\\_spozy%281%29.pdf](http://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/BREF_spozy%281%29.pdf)
- [2] CHANGANI S. D., BELMAR-BEINY M. T., FRYER P. J. 1997. *Engineering and chemical factors associated with fouling and cleaning in milk processing*. Experimental Thermal and Fluid Science 14: 392-406.
- [3] KUKULKA D. J., DEVGUN M. 2007. *Fluid temperature and velocity effect on fouling*. Applied Thermal Engineering 27, 2732-2744.
- [4] LELIEVELD H.L.M., MOSTERT M.A., HOLAH J., WHITE B. 2010. *Hygiene in food processing*, Woodhead publishing limited, England, 197-230.
- [5] NEMA P. K., DATTA A. K. 2005. *A computer based solution to check the drop in milk outlet temperature due to fouling in a tubular heat exchanger*. Journal of Food Engineering 71, 133-142.
- [6] NEMA P. K., DATTA A. K. 2006. *Improved milk fouling simulation in a helical triple tube heat exchanger*. International Journal of Heat and Mass Transfer 49: 3360-3370.
- [7] NERYNG A., WOJDALSKI J., BUDNY J., KRASOWSKI E. 1990. *Energia i woda w przemyśle rolno-spożywczym*. WNT, Warszawa, 103-106, 189-194.
- [8] PAWEŁAS A. 2010. *Efektywność energetyczna w przemyśle spożywczym na przykładzie browarów Carlsberg Polska*. Prezentacja na Konferencji Naukowo-Technicznej, Efektywność energetyczna. Gospodarka mediami w przemyśle spożywczym, 17-18 maja 2010, Zakopane.
- [9] PAWEŁAS A. 2010. *Efektywność energetyczna na przykładzie browaru, Agro Przemysł 3-4*: 44-47; [http://e-bmp.pl/File/bmp\\_4bfe701af31b9.pdf](http://e-bmp.pl/File/bmp_4bfe701af31b9.pdf)

- [10] **PIEPIÓRKA-STEPUK J. 2012.** *Porównanie metod oceny stopnia umycia powierzchni produkcyjnych w systemie CIP.* Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego 2/4(2), 23-26.
- [11] **ROSMANINHO R., SANTOS O., NYLANDER T., PAULSSON M., BEUF M., BENEZECH T., YIANTSIOS S., ANDRITSOS N., KARABELAS A., RIZZO G., MÜLLER-STEINHAGEN H., MELO L. F. 2007.** *Modified stainless steel surfaces targeted to reduce fouling – Evaluation of fouling by milk components.* Journal of Food Engineering 80, 1176-1187.
- [12] **SAHOO P. K., ANSARI I. A., DATTA A. K. 2005.** *Milk fouling simulation in helical triple tube heat exchanger.* Journal of Food Engineering 69, 235-244.
- [13] **TAMIME A. 2008.** *Cleaning in Place Dairy, Food and Beverage Operations,* Blackwell Publishing Ltd., 156-180.
- [14] **TOMASZEWSKA M., BIAŁOŃCZYK L. 2012.** *The chemical cleaning of ceramic membrane used in UF.* Polish Journal of Chemical Technology 14(3), 105-109.
- [15] **WILSON D. I. 2003.** *Challenges in Cleaning: Recent Developments and Future Prospects,* Heat Exchanger Fouling and Cleaning: Fundamentals and Applications 21, 148-157.
- [16] **WOJDALSKI J., DRÓŹDŹ B. 2012.** *Energy efficiency of food processing plants. Key issues and definitions.* Polish Journal of Food Engineering, 3/4(3): 37-49.
- [17] **WOJDALSKI J., DRÓŹDŹ B., LUBACH M. 2007.** *Factors influencing energy consumption in fruit and vegetable processing plants.* TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN, 7, 277-285.
- [18] **WOJDALSKI J., KALETA A., DRÓŹDŹ B., CHOJNACKA A. 2012.** *Factors influencing the energy efficiency in dairy processing plants.* TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 12(1), 307-313.
- [19] **ZANDER L., ZANDER Z. 2003.** *Projektowanie płytowych wymienników ciepła.* Instalacje Sanitarne, 2(7), 27-30.