

## ANALIZA I MODELOWANIE WAHAŃ PODCIŚNIENIA W APARACIE UDOJOWYM W RELACJI DO ZMIAN POJEMNOŚCI KOMORY MLECZNEJ KOLEKTORA

*Marian Wiercioch, Adam Luberański, Aleksander Krzyś, Danuta Skalska*  
*Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu*

**Streszczenie.** Celem pracy była analiza wahań podciśnienia w cyklu w aparacie udojowym wyposażonym w kolektory o zmiennej pojemności komory mlecznej przy doju przemiennym do rurociągu mlecznego górnego i do bańki w warunkach symulowanego doju mechanicznego oraz opracowanie formuły matematycznej do ich wyznaczania. Pomiar przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych przy zmiennych masowych natężeniach przepływu cieczy (w zakresie  $0-8 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$ ), dla czterech pojemności kolektorów (500, 300, 150 i  $45 \text{ cm}^3$ ) i trzech wartości podciśnień systemowych (44, 46 i 48 kPa). Wykazano stosując analizę statystyczną istotny wpływ zmiennych niezależnych doświadczenia (z wyjątkiem podciśnienia) na wahania podciśnienia w cyklu dp. Najniższe wartości wahań podciśnienia w cyklu zaobserwowano przy stosowaniu kolektora o pojemności  $500 \text{ cm}^3$ . Wykorzystując metodę regresji wielorakiej z krokową eliminacją zmiennych niezależnych zbudowano na podstawie wyników badań model matematyczno-statystyczny do wyznaczania wahań podciśnienia w cyklu, który przyjmuje charakter 3-parametrowego równania empirycznego o postaci  $dp = 4,11 + 0,93Q_m + 1,02H - 0,01V_k$  ze współczynnikiem determinacji  $R^2 = 0,77$ .

**Słowa kluczowe:** aparat udojowy, kolektor, pojemność kolektora, wahania podciśnienia, modelowanie

### Wprowadzenie i cel pracy

Wahania podciśnienia, definiowane jako różnica wartości ekstremalnych w określonym przedziale czasu lub pulsacji, są niekorzystnym zjawiskiem towarzyszącym procesowi doju maszynowego. Właśnie wahania, a nie spadki podciśnienia, wielu autorów wskazuje za główny czynnik wpływający na warunki i przebieg doju (Onley i in., 1983; Szlachta, 1984).

Rozróżnia się dwa rodzaje wahań podciśnienia: regularne i nieregularne. Wahania regularne są efektem ruchu gumy strzykowej oraz przepływu mleka w węzłach i rurociągach. Przy doju suchym (bez przepływu cieczy) wahania podciśnienia mieszczą się w zakresie 0,5-2 kPa a w przypadku pojawienia się przepływu mleka następuje szybki ich wzrost, co

jest spowodowane przyrostem oporów przepływu cieczy oraz zmniejszeniem się objętości biorącej udział w wahaniami (Szlachta, 1986; Kupczyk, 1999). Wahania spowodowane transportem mleka na wyższym poziomie występują zwłaszcza przy podnoszeniu mleka do rurociągu usytuowanego powyżej kolektora aparatu udojowego. Według norm ISO wahania podciśnienia w cyklu, jako miernik wahań, wydają się być najważniejszym parametrem doju (Szlachta, 1999). Krowy dojone przy niestabilnym podciśnieniu częściej chorowały na mastitis. Ponadto wahające się podciśnienie może powodować niedostateczne lub nierówne pobudzenie krowy do doju wydłużając w ten sposób dój mechaniczny, powodując spadanie kubków udojowych oraz niebezpieczeństwo odchylenia się ścianek gumy strzykowej od strzyka (O'Shea i in., 1982; Tolle, 1984).

Jako główne czynniki decydujące o wysokości wahań podciśnienia w cyklu wymienia się: budowę i pojemności aparatu udojowego, typ pulsacji i charakterystyki pulsatora, przyjęty poziom podciśnienia roboczego, natężenia przepływu mleka, wysokość transportu mleka (Kupczyk, 1999; Luberański i in., 2011; Szlachta, 1984; Szlachta, 1986; Szlachta i in., 2000). W literaturze, z uwagi na szerokie spektrum tych czynników, analizę ich wpływu na wahania przeprowadzano w sposób przyczynkowy, a tworzone na ich bazie zależności i formuły matematyczne do ich obliczania nie dawały możliwości stosowania na szerszą skalę (Nordegren, 1980; Danielson za Szlachtą, 1986). Jako przykład tej praktyki może być brak uwzględniania w tych formułach pojemności komory mlecznej kolektora, choć w wielu pracach podkreśla się jej wpływ na stabilizację podciśnienia w aparacie udojowym. Między innymi Nordegren (1980) przy dojarce rurociągowej z pulsacją przemianą stwierdził, że wahania podciśnienia zmniejszają się liniowo z rosnącą objętością kolektora w stosunku ok. 0,01 kPa na  $\text{cm}^3$  przyrostu objętości. Celowym wydaje się więc, kompleksowe podejście do problemu wahań podciśnienia i opracowanie modelu matematycznego do ich wyznaczania, który uwzględniałby najbardziej istotne czynniki nań wpływające, był bardziej uniwersalny a jednocześnie łatwy w stosowaniu.

Celem badań było przeprowadzenie analizy wahań podciśnienia w aparacie udojowym wyposażonym w kolektory o zmiennej pojemności komory mlecznej przy doju przemianym do rurociągu mlecznego górnego i do bańki w warunkach symulowanego doju mechanicznego oraz opracowanie modelu matematycznego do ich wyznaczania.

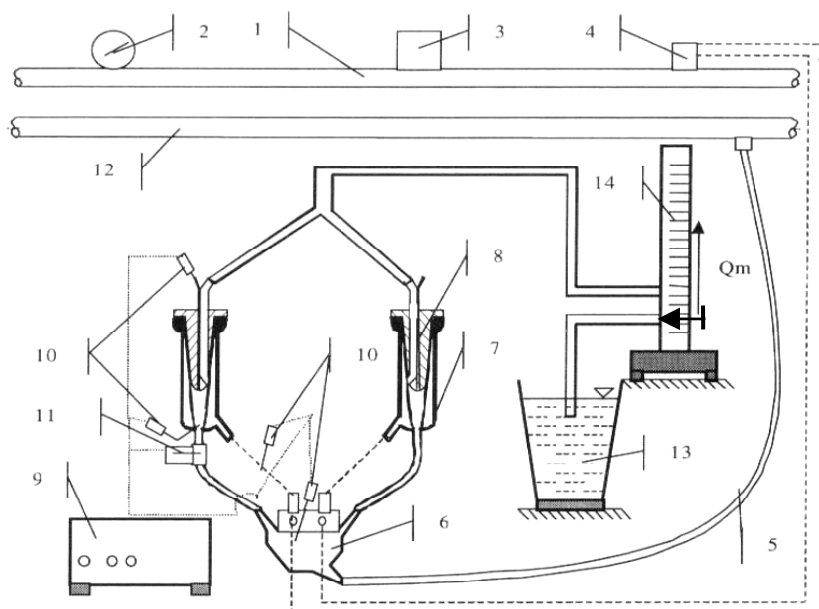
## Przedmiot, zakres i metoda badań

Przedmiotem badań były kolektory o pojemnościach komory mlecznej 500, 300, 150 i  $45 \text{ cm}^3$ , które są aktualnie stosowane (lub były używane) w krajowych dojarkach mechanicznych. Włączenie do badań kolektora o objętości  $45 \text{ cm}^3$ , który nie jest obecnie zalecany do doju krow, podyktowane było głównie potrzebą poszerzenia obszaru eksperymentu oraz możliwości stosowania stworzonego modelu matematycznego do obliczania wahań podciśnienia. Użyte kolektory, pomimo różnej pojemności, charakteryzowały się takim samym sposobem odprowadzenia nadojonego mleka, połączeniem (króćcowym) z gumami strzykowymi oraz zbliżonym poziomem współczynnika kształtu kolektora (stosunek średnicy kolektora do jego wysokości).

Kolektory te połączone z pozostałymi elementami aparatu udojowego tj. przy stosowaniu jednego rodzaju gum strzykowych (gumy FL 7), jednego typu pulsatora oraz

z wykorzystaniem długiego przewodu mlecznego o średnicy 16 mm, badano w warunkach laboratoryjnych na stanowisku (rys. 1; Szlachta i in., 2000) przy doju symulowanym do rurociągu mlecznego górnego (wysokość podnoszenia mleka 1,9 m) i do bańki (wysokość podnoszenia mleka 0,5 m). Pracą aparatu sterował pulsator pneumatyczny doju przemiennej o stosunku pulsacji 60/40, z częstotliwości pulsacji 1 Hz i współczynnika pulsatora 60%.

Przyjęty program badań pozwolił na określenie i opisanie formułą matematyczną wahań podciśnienia w aparatach udojowych stosowanych w oborach uwięziowych przy doju do rurociągu mlecznego górnego i do bańki przy pulsacji najczęściej stosowanej w dojkach tj. przemiennej, z uwzględnieniem dużych chwilowych wypływów mleka, dochodzących do  $8 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$ .



Rysunek 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – rurociąg podciśnieniowy, 2 – wakuometr, 3 – regulator podciśnienia, 4 – pulsator, 5 – długi przewód mleczny, 6 – kolektor, 7 – kubek udojowy, 8 – sztuczny strzyk, 9 – rejestrator, 10 – czujniki podciśnienia, 11 – czujnik przepływu cieczy, 12 – rurociąg mleczny górny, 13 – zbiornik z cieczą mlekozastępczą, 14 – rotometr z regulatorem przepływu

Figure 1. Diagram of the measurement stand: 1 – (under pressure pipeline) pulsator air line, 2 – vacuum gauge, 3 – (under pressure regulator) vacuum regulator, 4 – pulsator, 5 – (long milk pipeline) long milk tube, 6 – (collector) claw, 7 – (milking cup) teatcup, 8 – artificial teat, 9 – recorder, 10 – under pressure sensors (vacuum sensors), 11 – liquid flow sensor, 12 – upper milk pipeline, 13 – tank with milk replacing liquid, 14 – rotameter with the flow regulator

Dla zapewnienia prawidłowej pracy aparatów w instalacji próżniowej wykorzystano pompę z pierścieniem wodnym RPA 21 o wydajności  $51 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Do zmian wartości podciśnienia roboczego (na poziomie 44, 46 i 48 kPa) i jego stabilizowania służył zawór Vacurex 5000. Badania obejmowały pomiary zmian podciśnienia w komorze mlecznej kolektora, krótkim przewodzie pulsacyjnym i w komorze podstrzykowej. Do pomiarów użyto czujniki podciśnienia PS-SM-100 z membranami separującymi. Sygnały z czujników po przetworzeniu były utrwalane na rejestratorze, który zapewniał ich zapis z częstotliwością 100 Hz a następnie przekazywane przez łącza COM do komputera gdzie poddawano je obróbce za pomocą programu „Grafakw” i Excel.

Ciecz mlekozastępczą dozowano sztucznym strzykiem o konstrukcji i wymiarach zgodnych z Normą ISO 6690 (2007) zmienianych regulatorem przepływu w zakresie  $0\text{-}8 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$ , co  $2 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$  na cztery strzyki.

## Wyniki badań

Wykonane w warunkach laboratoryjnych pomiary wahań podciśnienia w cyklu dp pozwoliły na dokładniejsze poznanie wpływu na ich wartość pojemności komory mlecznej kolektora, sposobu transportu mleka i podciśnienia roboczego. Przeprowadzona wieloczynnikowa analiza wariancji (tabela 1) wykonana za pomocą aplikacji pakietu statystycznego Statgraphics 6.0, wykazała istotny wpływ ( $\alpha = 0,00$ ) na wahania podciśnienia dp wszystkich zmiennych niezależnych doświadczenia oprócz zastosowanych podciśnień systemowych ( $\alpha = 0,24$ ).

Tabela 1

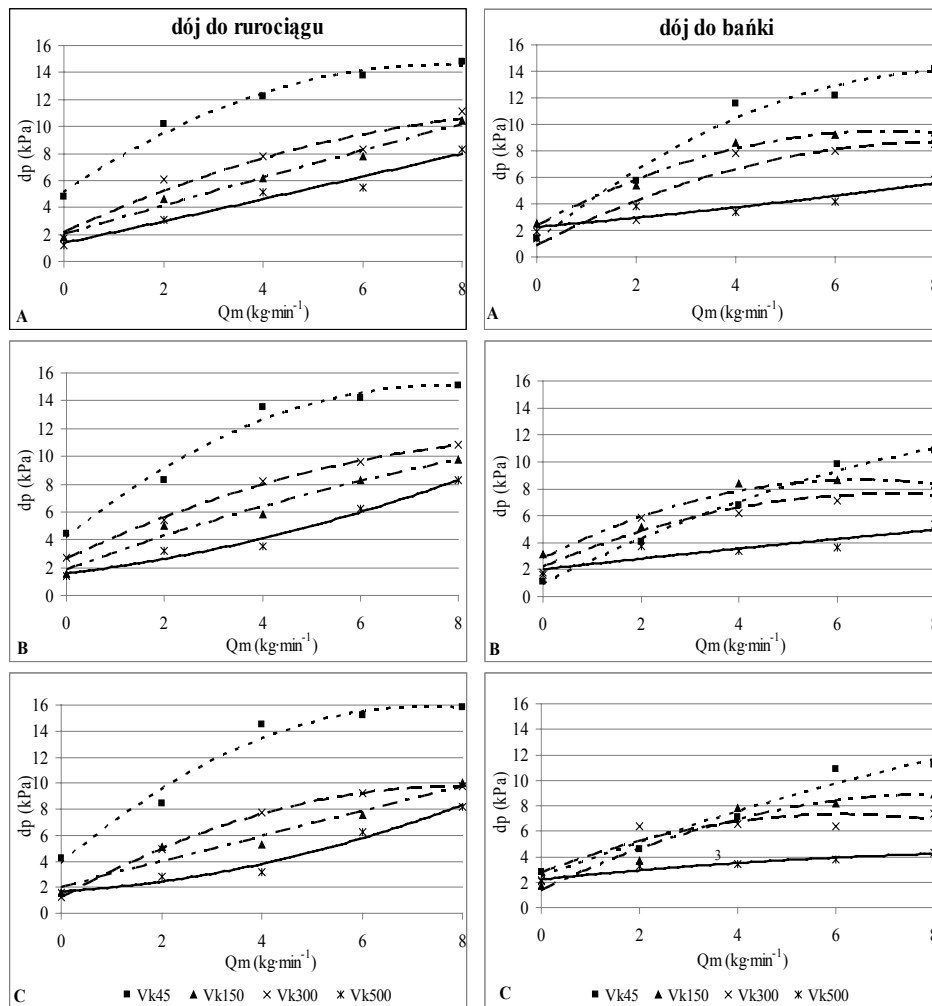
*Wyniki wieloczynnikowej analizy wariancji wpływu zmiennych niezależnych doświadczenia na wahania podciśnienia w cyklu dp*

Table 1

*Results of the multi-factor analysis of variance of the (impact) effect of experiment independent variables on the (under pressure oscillations) vacuum fluctuations within the dp cycle*

Zródło zmienności		Objętość kolektora	Wysokość podnoszenia	Masowe natężenie przepływu cieczy	Podciśnienie systemowe
		$V_k$	$H$	$Q_m$	$P$
Parametr	Liczba stopni swobody	3	1	4	2
Wahania podciśnienia w cyklu dp	Poziom istotności $\alpha$	0,0000	0,0000	0,0000	0,2464
	Wartość testu F	61,867	26,416	94,008	1,419

Na rysunku 2 przedstawiono wyznaczone zależności wahań podciśnienia w funkcji strumienia masy przepływającej przez aparat cieczy  $Q_m$  dla różnych zastosowanych w badaniach systemów doju (dój do rurociągu i do bańki) i związanych z tym różnymi wysokościami podnoszenia mleka, przy wykorzystaniu kolektorów o pojemności 45, 150, 300 i  $450 \text{ cm}^3$  dla podciśnień roboczych 44, 46 i 48 kPa.



Rysunek 2. Wpływ natężenia strumienia masy cieczy  $Q_m$  na wahania podciśnienia w cyklu  $dp$  dla zmiennej pojemności komory mlecznej kolektora  $V_k$  podczas doju do rurociągu i do bańki przy podciśnieniu systemowym: A – 44 kPa, B – 46 kPa, C – 48 kPa

Figure 2. (Impact) Effect of the intensification of the liquid mass stream  $Q_m$  on the (under pressure oscillations) vacuum fluctuations within  $dp$  cycle for variable volume of the milk chamber of the (collector) claw  $V_k$  during milking to the pipeline and to the (bulb) bucket at the system (under pressure) vacuum: A – 44 kPa, B – 46 kPa, C – 48 kPa

Analizując rysunek 2 można zauważyć, porównując przebiegi  $dp$  dla poszczególnych podciśnień roboczych, że wykazany analizą wariancji wieloczynnikowej brak wpływu podciśnienia roboczego na wahania podciśnienia w cyklu  $dp$  jest uzasadniony i głównie

dotyczy to systemu doju do rurociągu. Dokonywane zmiany podciśnień roboczych w zakresie 44-48 kPa, co 2 kPa, nie powodują istotnych różnic w ich przebiegach i wartościach. Nieco inaczej zachowują się badane warianty przy doju do bańki gdzie można zauważyć delikatną tendencję do ograniczenia wahań podciśnienia wraz z wzrastającym podciśnieniem roboczym. Za przykład może posłużyć wariant z kolektorem o pojemności 500 cm<sup>3</sup>, którego przebiegi dp w funkcji Qm wraz z rosnącym podciśnieniem roboczym przyjmują coraz niższe położenie i przy największych przepływach cieczy (Qm=8 kg·min<sup>-1</sup>) osiągają wartości odpowiednio dla podciśnienia 44 kPa – 5,9 kPa, 46 kPa – 5,2 kPa i dla 48 kPa – 4,5 kPa.

Z przedstawionych na tym rysunku zależności wynika, że dla rozpatrywanych sposobów doju tj. do rurociągu lub do bańki w obecności przepływu cieczy Qm wyższe wartości wahań podciśnienia dp występują przy doju do rurociągu. Przy braku lub bardzo małych natężeniach przepływu cieczy, ruchy gumy strzykowej nie wywierają prawie żadnego wpływu na podciśnienia w komorze podstrzykowej a dodatkowo komora mleczna kolektora i przewód odprowadzający mleko mają wystarczającą pojemność, aby skompensować występujące zmiany objętości. Stąd wahania i różnice między dwoma sposobami doju są niewielkie i mieszczą się w zakresie 0,5-2,5 kPa. Jedynie wariant z kolektorem o objętości 45 cm<sup>3</sup>, podczas doju do rurociągu, z racji zbyt małej pojemności całego aparatu nie niwelował zmian ciśnienia wywołanych ruchem gumy strzykowej nawet przy braku przepływu lub śladowych jego ilościach w długim przewodzie mlecznym. Wyznaczone wartości dp są wyższe i dochodzą do 4-4,5 kPa. W momencie pojawienia się większych przepływów dochodzi do znacznych zmian i wzrostu wahań podciśnienia w komorze podstrzykowej w efekcie wzrastającego wypełnienia długiego przewodu, transportującego ciecz do wysoko położonego rurociągu mlecznego. Dla analizowanego wcześniej wariantu, który na wykresach sporządzonych dla stosowanych w badaniach podciśnień roboczych przyjmuje najwyższe położenie, dla maksymalnych przepływów są to wartości dp dochodzące do 14,5-16 kPa. Przebiegi zależności dp w funkcji Qm w przypadku pozostałych kolektorów, przy tym samym systemie doju, są na zdecydowanie niższym poziomie osiągając przy Qm=8 kg·min<sup>-1</sup> wartości ok. 8-10,5 kPa. Dla porównania z przebiegami wyznaczonymi dla badanych wariantów w takich samych warunkach przy doju do bańki są one wyższe o ok. 2 kPa.

Analizując wpływ wzrastającej pojemności kolektora na wahania podciśnienia dp, podobnie jak podaje to literatura przedmiotu (Nordegren, 1980; Szlachta, 1984), stwierdzono jej wysoce stabilizującą (ograniczającą wahań) rolę w pracy aparatu. Niezależnie od stosowanego systemu doju oraz przyjętego podciśnienia roboczego na każdym z prezentowanych wykresów najniższe położenie przyjmują przebiegi wariantu aparatu z kolektorem o pojemności komory mlecznej 500 cm<sup>3</sup>. Podczas doju do rurociągu jej wpływ na ograniczenie wahań podciśnienia dp z wzrastającym natężeniem przepływu cieczy Qm jest zdecydowanie słabsze niż dla takich samych warunków w przypadku doju do bańki. Dla porównania przy największych przepływach cieczy (Qm=8 kg·min<sup>-1</sup>) przy podciśnieniu systemowym 48 kPa, podczas doju do rurociągu, dp wynosiło 8,2 kPa a przy doju do bańki tylko 4,2 kPa, czyli daje to różnicę 4 kPa. Przy niższych podciśnieniach udojowych różnica ta wynosi ok. 2-3 kPa. Użycie do doju kolektorów o mniejszej pojemności (300 i 150 cm<sup>3</sup>) skutkuje wzrostem wahań podciśnienia, przy czym ich wpływ nie jest w pełni jednoznaczny. Generalnie można stwierdzić, że użycie kolektorów o pojemności 300 i 150 cm<sup>3</sup> generowało wahania podciśnienia o 20 do 30% wyższe niż kolektor o największej pojemności.

Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań wahań podciśnienia  $dp$  stanowią bazę danych do opisu tego zjawiska za pomocą modelu matematycznego i stworzenia formuły pozwalającej na obliczanie ich wartości.

Forma wyjściowa modelu matematycznego, opisującego wahania podciśnienia w cyklu  $dp$ , w którym odpowiednio pogrupowano parametry na sterujące – zakłócające ( $P$  i  $Q_m$ ) oraz uwzględniające budowę aparatu udojowego i system doju ( $V_k$  i  $H$ ) przyjmuje postać:

$$dp = (P, Q_m) (V_k, H) \quad (1)$$

gdzie:

- $P$  – podciśnienie robocze (kPa),
- $Q_m$  – natężenie przepływu mleka ( $\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ ),
- $V_k$  – pojemność kolektora ( $\text{cm}^3$ ),
- $H$  – wysokość podnoszenia mleka (m).

W celu uzyskania opisu ilościowego wpływu tych parametrów na wahania podciśnienia w cyklu  $dp$  zastosowano metodę regresji wielorakiej z krokową eliminacją zmiennych niezależnych z modelu matematycznego.

Obliczenia przeprowadzono w oparciu o pakiet statystyczny Statgraphics 6. Kryterium eliminacji zmiennej niezależnej z modelu była wartość krytyczna t-v statystyki t-Studenta przy założonym poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . W przypadku, kiedy wartość t-v statystyki t-Studenta była mniejsza od wartości krytycznej – co potwierdza hipotezę o braku istotnego wpływu danego parametru na zmienną zależną  $dp$  – wówczas parametr ten nie był uwzględniany w modelu. W wyniku zastosowania powyższych procedur w modelu pozostały jako istotne trzy zmienne niezależne a jego zapis przyjął postać:

$$dp = a + b Q_m + c H + d V_k \quad (2)$$

Wyniki regresji wielorakiej, zamieszczone w tabeli 2, pozwalają zauważyć, że z ogólnego modelu zostało wyeliminowane podciśnienie robocze  $P$ , choć w literaturze wskazuje się ten parametr za istotny czynnik wpływający na wahania podciśnienia (Nordegren, 1980). Należy przypuszczać, że w przypadku przeprowadzonych badań jest to efekt przyjętych zamian jego wartości w zbyt małym zakresie (44-48 kPa). Pozostałe parametry, tj. masowe natężenie przepływu cieczy  $Q_m$  – jako parametr zakłócający, objętość kolektora  $V_k$ , która charakteryzuje budowę aparatu udojowego oraz wysokość podnoszenia mleka  $H$  charakteryzująca system doju mają istotny (na poziomie  $\alpha=0,00$ ) wpływ na wahania podciśnienia w cyklu  $dp$ .

Wysoki poziom istotności dla stałej oraz pozostałych parametrów tej formuły (tabela 2) wskazują, że każdy element tego równania odgrywa istotną funkcję rozpatrywanej zależności. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że wyznaczony w równaniu efekt działania pojemności komory mlecznej kolektora na ograniczenie wahań podciśnienia  $dp$ , wynoszący 0,01 kPa na każdy  $\text{cm}^3$  jest identyczny z tym, jaki podaje w swej pracy Nordegren (1984).

Tabela 2

*Wyniki regresji wielokrotnej z krokową eliminacją zmiennych dla wahań podciśnienia w cyklu  $dp$*

Table 2

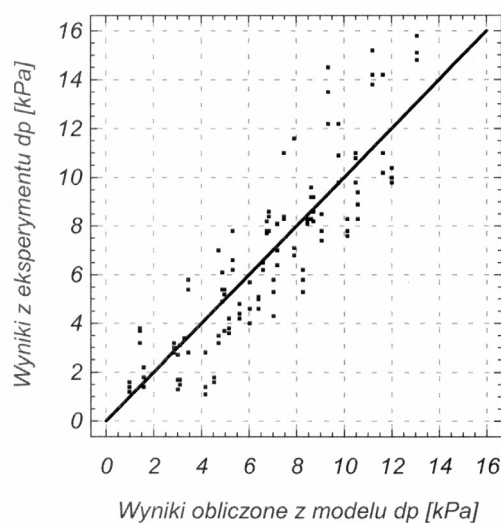
*Results of the multiple regression with the step elimination of variables for (under pressure oscillations) vacuum fluctuations in the  $dp$  cycle*

Zmienna niezależna	Współczynnik	Błąd standardowy	Wartość testu - t	Poziom istotności
Stała a	4,11	0,46219	8,8892	0,0000
Masowe natężenie przepływu cieczy $Q_m$	0,93	0,05758	16,2237	0,0000
Wysokość podnoszenie mleka H	1,02	0,23265	4,3953	0,0000
Pojemność kolektora $V_k$	-0,01	0,00095	-0,6457	0,0000

Ostatecznie model matematyczny opisujący wahania podciśnienia w cyklu  $dp$  w komorze podstrzykowej przyjmuje postać 3-parametrowego równania empirycznego:

$$dp = 4,11 + 0,93Q_m + 1,02H - 0,01V_k \quad (3)$$

dla 120 pomiarów przy współczynniku determinacji  $R^2=0,77$ , a jego graficzny obraz weryfikacji przedstawia rysunek 3.



Rysunek 3. Wyniki weryfikacji modelu matematycznego do wyznaczenia wahań podciśnienia  $dp$

Figure 3. Results of the mathematical model verification for determination of  $dp$  (under pressure oscillations) vacuum fluctuations



## Wnioski

1. Wieloczynnikowa analiza wariancji wykazała istotny, na poziomie  $\alpha=0,00$ , wpływ objętości komory mlecznej kolektora oraz wysokości podnoszenia i natężenia przepływu mleka na wahania podciśnienia w cyklu dp. Zależność ta nie dotyczy podciśnienia roboczego.
2. Najniższe wartości wahań podciśnienia w cyklu dla masowego natężenia przepływu mleka powyżej  $1,0 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$ , generował kolektor o objętości komory mlecznej  $500 \text{ cm}^3$  i to zarówno podczas doju do rurociągu mlecznego górnego jak i przy doju do bańki. W przypadku zastosowania kolektorów z komorą mleczną  $300$  i  $150 \text{ cm}^3$  wyznaczone wartości dp były o ok. 20-30% wyższe.
3. Opracowana na podstawie wyników badań empiryczna formuła matematyczna do wyznaczania wahań podciśnienia w cyklu dp dla pulsacji przemiennej przy doju do bańki i rurociągu mlecznego górnego przyjmuje postać  $dp = 4,11 + 0,93Q_m + 1,02H - 0,01V_k$  o wysokim współczynnik determinacji ( $R^2=0,77$ ) i pozwala na obliczenie ich wartości z zadowalającą dokładnością.

## Literatura

- ISO 6690: 2007. Milking machine installations - Mechanical tests.
- Kupczyk, A. (1999). Doskonalenie warunków doju mechanicznego ze szczególnym uwzględnieniem podciśnienia w aparacie udojowym. Rozprawa habilitacyjna. *Inżynieria Rolnicza*, 3(9), 114.
- Luberański, A.; Wiercioch, M.; Krzyś, A.; Szlachta, J. (2011). Wahania podciśnienia w aparatach udojowych przy obniżonym podciśnieniu systemowym w dojarni typu „rybia ość”. *Inżynieria Rolnicza*, 8(133), 189-196.
- Nordegren, S.A. (1980). *Cyclic vacuum fluctuations in milking machines*. Dissertation. Hohenheim.
- Onley, G.R.; Scott, G.W.; Mitchell, R.K. (1983). Effect of milking machine factors on the somatic cell count of milk from cows free of intra mammary infection. I. Vacuum fluctuations. *Journal of Dairy Research*, 50, 2, 135-140.
- O’Shea, J.; O’Callghan, E.; Meaney, W. J. (1982). *The effect of liner slip on mastitis infection rates*. Proc. Sem. Milk. Prod. Pasture, Hamilton N.Z., 77-79.
- Szlachta, J. (1984). Analiza cyklicznych wahań podciśnienia w komorze podstrzykowej kubka udojowego. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*, 11, 15-19.
- Szlachta, J. (1986). Studia nad wybranymi elementami budowy i użytkowania aparatu udojowego. *Zeszyty Naukowe AR Wrocław*, Rozprawy, 58, ISSN 0209-1321.
- Szlachta, J. (1999). Normy międzynarodowe ISO a sprzęt udojowy. *Poradnik Hodowcy*, 5, 1.
- Szlachta, J.; Luberański, A.; Krzyś, A. (2000). Wpływ typu i pojemności kolektora na podstawowe parametry ciśnieniowe aparatu udojowego w warunkach dużego natężenia wypływu cieczy. *Inżynieria Rolnicza*, 2(13), 109-114.
- Tolle, A. (1984). *New developments in milking practices with a special view to udder health*. 35-th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, The Hague, 6-9.

## **ANALYSIS AND MODELLING OF (UNDER PRESSURE OSCILLATIONS) VACUUM FLUCTUATIONS IN THE MILKING APPARATUS IN RELATION TO THE VOLUME CHANGES OF THE MILK CHAMBER OF A (COLLECTOR) CLAW**

**Abstract.** The objective of the paper was to analyse (under pressure oscillations) vacuum fluctuations within the cycle in the milking apparatus equipped with (collectors) claws with a variable volume of the milk chamber at the alternative milking to the upper (milk pipeline) milkline and to the (bulb) bucket in the conditions of simulated mechanical milking and to develop a mathematical formula for their determination. Measurements were carried out in the laboratory conditions at variable mass intensities of liquid flow (within  $0-8 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$ ), for four volumes of (collectors) claws ( $500, 300, 150$  and  $45 \text{ cm}^3$ ) and three values of system (under pressures) vacuums ( $44, 46$  and  $48 \text{ kPa}$ ). With the use of statistical analysis a significant (impact) effect of independent variables of experience (except for (under pressure) ) on the (under pressure oscillations) vacuum fluctuations within the dp cycle was proved. The lowest values of (under pressure oscillations) vacuum fluctuations within the cycle were reported at the use of the (collector) claw with  $500\text{cm}^3$  volume. Using the multiple regression method with step elimination of independent variables based on the research results a mathematical and statistical model was constructed for determination of the (under pressure oscillation) vacuum fluctuation within the cycle, which takes a character of 3-parameters empirical equation in the form of  $dp = 4.11 + 0.93Q_m + 1.02H - 0.01V_k$  with coefficient of determination  $R^2 = 0.77$ .

**Key words:** milking apparatus, (collector) claw, volume of the (collector) claw, (under pressure oscillation) vacuum fluctuation, modelling

### **Adres do korespondencji:**

Marian Wiercioch; marian.wiercioch@up.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chelmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław