

Michał Gedymin
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie,
Oddział Poznań

WPLYW ILOŚCI I SZYBKOŚCI WYPŁYWAJĄCEGO MLEKA ZE STRZYKA NA WAHANIA PODCIŚNIENIA W KOMORZE PODSTRZYKOWEJ

Streszczenie

Przeprowadzone badania wahań podciśnienia pod strzykiem w pojedynczym kubku udojowym (bez kolektora) na sztucznym wymieniu przy użyciu krótkich przewodów mlecznych o średnicach wewnętrznych 8, 10 i 13 mm z różnymi końcówkami wylotowymi pochylanymi względem poziomu pod kątem 0 – 90° i dla przepływów cieczy 0,5 – 2 l/min. wykazały, że przy największych przepływach w przewodach 8 i 10 mm powstają korki z cieczy wywołujące istotne wahania podciśnienia (odpowiednio do 28 kPa i 16 kPa) mało zależne od kąta pochylenia i rodzaju końcówki (różnice do 7 kPa) a które w ogóle nie występują przy średnicy 13 mm. Ponadto zaobserwowano w przewodach 8 i 10 mm zjawisko strumienicy (eżektora) odpowiedzialne za oblewanie strzyków mlekiem w czasie doju i zwiększające średnie podciśnienie w trakcie ssania nawet o 4 kPa (przy wypływie 2 l/min.) oraz nakładające się odpowiednio na wahania tego podciśnienia.

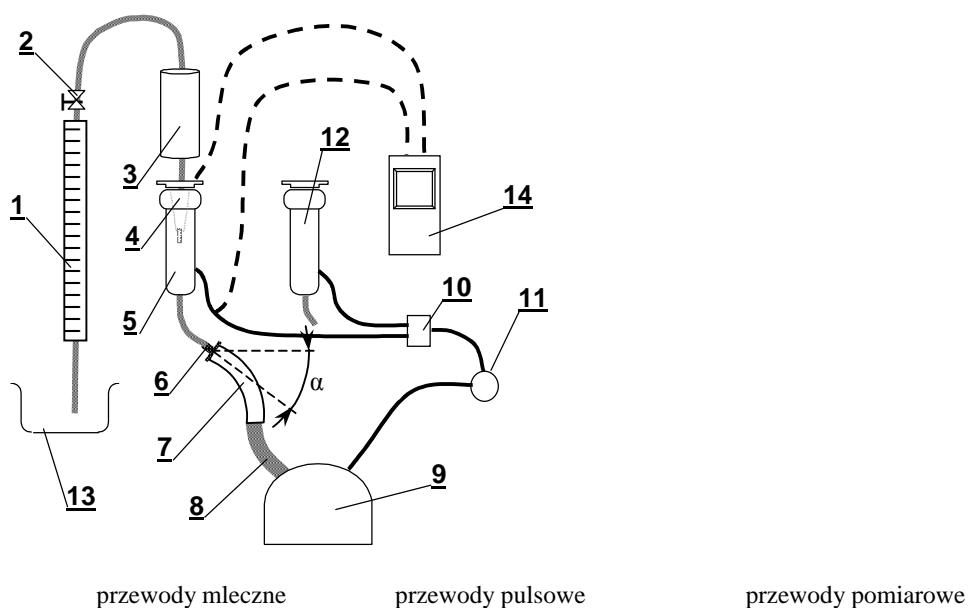
Słowa kluczowe: dój krów, wahania podciśnienia w kubku udojowym, strumienica - eżektor

Wstęp

Powstawanie wahań podciśnienia w komorze podstrzykowej oraz ich amplituda zależą między innymi od ilości wypływającego ze strzyka mleka oraz od średnicy, ułożenia i sposobu mocowania krótkiego przewodu mlecznego do kolektora. Zbyt mała średnica tego przewodu przy dużym wypływie mleka ze strzyka powoduje wypełnienie całego przekroju poprzecznego mlekiem, cofanie się mleka w kierunku strzyka w momencie otwierania się gumy strzykowej i oblewanie go przyczyniając się w ten sposób do przenoszenia infekcji. Nowym zagadnieniem dotychczas nie omawianym w literaturze, jest oddziaływanie pędu wytryskującego mleka ze strzyka na podciśnienie w komorze podstrzykowej. Można bowiem potraktować strzyk, gumę strzykową i krótki przewód mleczny jako strumienicę (eżektor) i zastosować wzory tam obowiązujące do określania niektórych zmian podciśnienia pod strzykiem.

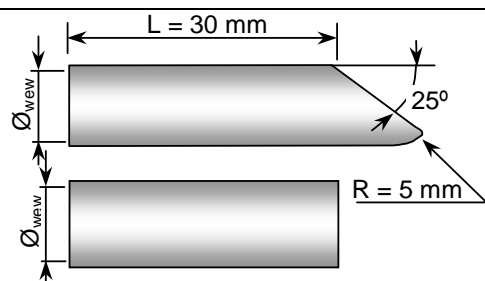
Metodyka

Badania przeprowadzano na stanowisku, którego schemat rys. 1. Wpływ z sztucznego strzyka 4 w granicach 0,5 - 2 l/min. nastawiano za pomocą zaworu 2 i rotametu 1 z dokładnością 0,02 l/min. Przebiegi podciśnienia pod strzykiem oraz w komorze pulsacyjnej rejestrowano przy użyciu Pulsatorstera 14 z dokładnością 0,5 kPa i częstotliwością próbkowania 200 Hz. W celu wyeliminowania jakiegokolwiek wpływu na zmiany podciśnienia ze strony kolektora i długiego przewodu mlecznego elementy te zastąpiono: kolektor – rurą szklaną z korkiem i wymiennymi końcówkami (rys. 2, 3) naśladującymi mocowanie krótkiego przewodu mlecznego na kolektorze z możliwością zmiany kąta nachylenia 0 - 90°, a długi przewód mleczny – elastycznym przewodem o średnicy wewnętrznej 26 mm i spadku minimum 10%. Wymiary króćców i osadzenia w otworze odpowiadały najczęściej spotykanym w Polsce kolektorom: HCC, Interpuls, Harmony.



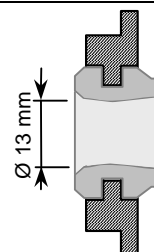
Rys. 1. Schemat stanowiska do badań wahań podciśnienia pod strzykiem

Fig. 1. Scheme of stand for investigations of vacuum hesitations under artificial teat



Rys. 2. Króciec: a) skośnie ścięty ($\varnothing_{wew}=8$); b) prosty ($\varnothing_{wew}=10$)

Fig. 2. Nozzle with: a) askew trim ($\varnothing_{wew}=8$); b) simple trim ($\varnothing_{wew}=10$)



Rys. 3. Końcówka do osadzania krótkich przewodów mlecznych o średnicy wewnętrznej 13 mm

Fig. 3. Ending to fit up short milk tubes of internal diameter 13 mm

Wyniki pomiarów

Przykładowe wyniki pomiarów wahań podciśnienia dla krótkich przewodów mlecznych o średnicach wewnętrznych 8, 10 i 13 mm przedstawiono na wykresach – rys. 4. Badania wykazały, że mała średnica i skośne ścięcie króćca zwiększają wielkość zatoru (korka) z cieczy co przejawia się zwiększonymi wahaniami podciśnienia w obrębie jednego cyklu pulsacji nawet do 28 kPa dla średnicy 8 mm i 14 kPa dla 10 mm. Dla średnicy 13 mm żadnych istotnych wahań nie stwierdzono co jest zgodne z obserwacjami Kupczyka [1996]. Skośne ścięcie króćca w stosunku do prostego oraz zmiana jego kąta pochylenia i związanego z tym ugięcia krótkiego przewodu mlecznego wywołuje zróżnicowanie wahań o nie więcej niż 7 kPa. Gdy wspomniany korek z cieczy nie zostanie całkowicie usunięty z krótkiego przewodu mlecznego to w momencie otwierania się gumy nastąpi chwilowy wzrost podciśnienia ponad nominalne. Jednak na wykresie rys. 4b widać, że zwiększone podciśnienie o około 2 kPa utrzymało się przez całą fazę ssania, co jest dowodem na wystąpienie w tym przypadku zjawiska strumienicy (eżektora).

Omówienie wyników badań

Dotychczas do obliczeń spadków ciśnienia w przewodzie mlecznym najczęściej wykorzystywano wzór Bernoulliego [Wiercioch 1994; Kupczyk 1995] traktując przepływającą ciecz jako mieszaninę mleka i powietrza wypełniającą całkowicie przewody. Jednak z porównania wykresów - rys. 4a, b z wykresem – rys. 4c wynika, że dużych wahań podciśnienia należy spodziewać się tylko wtedy, gdy na pewnej długości krótki przewód mleczny wypełni się całkowicie, czyli powstanie korek z cieczy. Różnica ciśnień potrzebna do rozpędzenia lub zatrzymania takiego

korka w typowych warunkach doju występujących w tym przewodzie jest wielokrotnie większa niż spadki ciśnienia wyznaczone ze wzoru Bernoulliego i w związku z tym do obliczeń wahań podciśnienia wywołanych zmianami prędkości należy stosować wzór Michauda [Czetwertyński, Utrysko 1969]:

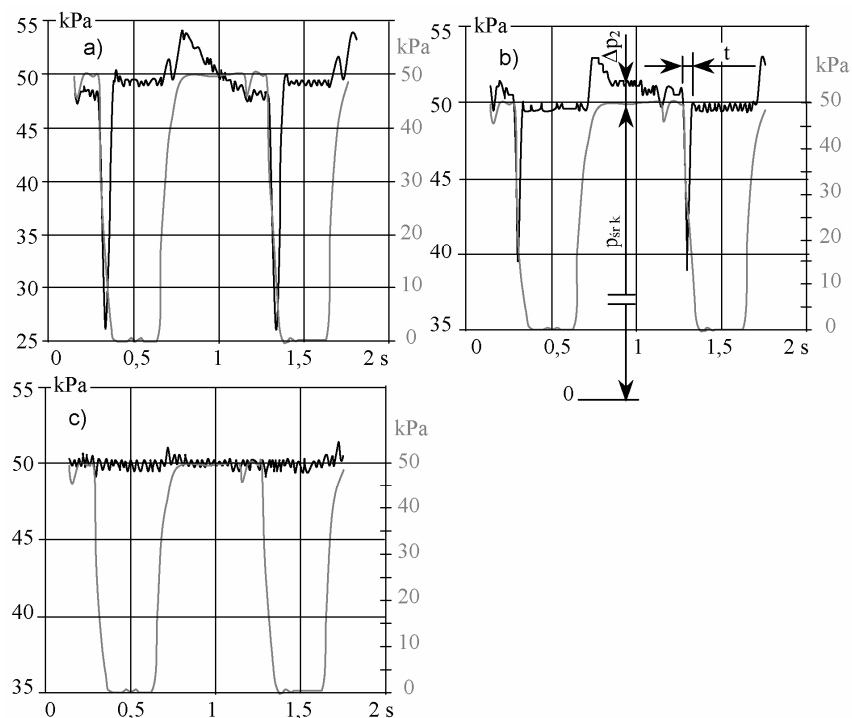
$$\Delta p = \frac{2 \cdot \rho_{sr} \cdot L_k \cdot v_{sr}}{t} \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

gdzie:

L_k – długość korka z cieczy [m],

t – czas przepływu korka [s] (rys.4b),

v_{sr} – prędkość średnia korka [m/s] - można przyjąć że $v_{sr} = \frac{L_k}{t}$.



Rys. 4. Przebiegi zmian podciśnienia pod strzykiem dla wypływu 2 l/min i krótkich przewodów mlecznych z króćcami skośnie ściętymi (-wylotem) usytuowanymi poziomo (0°) o średnicach: a) 8 mm, b) 10 mm, c) 13 mm

Fig. 4. Courses of vacuum changes under teat for outflow 2 l/min and short milk tubes with nozzles of askew trim (or simply outlet) situated horizontally (0°) and diameters / a) 8 mm, b) 10 mm, c) 13 mm

Wahania podciśnienia opisane wzorem (1) są widoczne na wykresach (rys. 4a i b) w postaci krótkich, ostrych skoków podciśnienia. Czas ich trwania odpowiada czasowi t , natomiast praktyczne jak i teoretyczne wyznaczenie długości L_k jest dużo trudniejsze. Do opisu zachowań cieczy spływającej pod własnym ciężarem należy stosować zmodyfikowane wzory Chezygo [Czterwertyński, Utrysko 1969] np.:

$$\text{Manninga } Q = 111 \cdot A \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (2)$$

$$\text{lub Bazina } Q = \frac{87 \cdot A \cdot R_h \cdot \sqrt{I}}{0,06 + \sqrt{R_h}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (3)$$

gdzie:

$$R_h = \frac{A}{l_{zw}} \quad [\text{m}]; \quad I = \frac{\Delta H}{L}; \quad A - \text{pole przekroju poprzecznego strumienia} \quad [\text{m}^2];$$

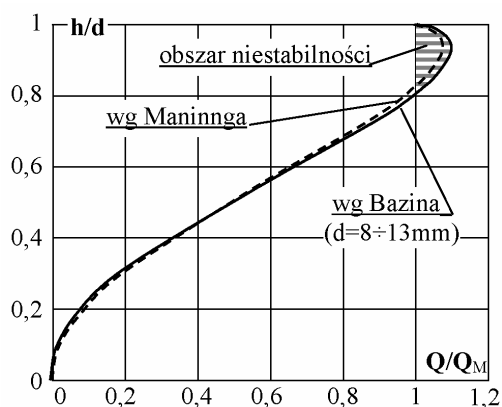
l_{zw} – długość obwodu zwilżonego [m];

ΔH – różnica poziomów cieczy;

L – odległość pozioma miejsc pomiaru ΔH ;

współczynniki 111 i 0,06 określają powierzchnie bardzo gładkie.

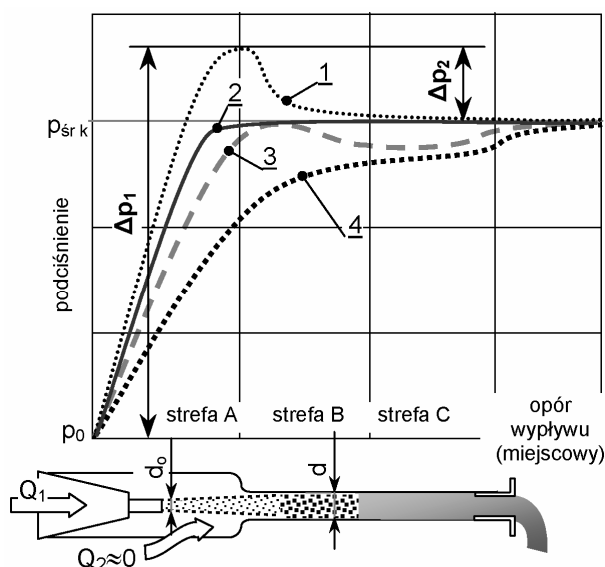
Jednoznaczne wyznaczenie momentu jak i miejsca całkowitego wypełnienia cieczą przekroju wewnętrznego krótkiego przewodu mlecznego nie jest możliwe – po przekroczeniu przez lustro cieczy poziomu $h = 0,8 d$ (średnica rury) może nastąpić gwałtowne skokowe wypełnienie całego przekroju jak również sytuacja odwrotna czyli spadek z maksimum do tego poziomu. Sytuację tę ilustruje wykres – rys. 5.



Rys. 5. Teoretyczny przebieg wypełniania przekroju rury w zależności od przepływu względnej cieczy Q/Q_M

Fig. 5. Theoretical course of filling the pipe cross-section in dependence from liquid relative flow Q/Q_M

Widoczne zaś na wykresie (rys. 4b) zjawisko strumienicy, gdzie podciśnienie w fazie ssania utrzymało się na poziomie wyższym do nominalnego o co najmniej 2 kPa przez cały czas, a także sytuacje występujące na rys. 4a i 4c zastały hipotetycznie objaśnione na rys. 6.



Rys. 6. Prawdopodobny przebieg podciśnienia wzdłuż osi gumy strzykowej
 Fig. 6. Probable course of vacuum pressure along liner axis

Tak więc za powstanie, umiejscowienie i rozmiar korka z cieczy w krótkim przewodzie mlecznym a także w komorze podstrzykowej odpowiedzialna jest zjawisko strumienicy, a ściślej strefa mieszania uderzeniowego, która powstaje w sprzyjających warunkach i przemieszcza się wskutek odsysania powietrza w kierunku strzyka. Jednakże korek z cieczy może też powstawać u wylotu krótkiego przewodu mlecznego z powodu lokalnych oporów wypływu powstających np. w króćcu. Korek ten narasta jednak dużo wolniej z powodu braku odsysania powietrza z przestrzeni pod strzykiem, a jednocześnie utrudnia lub uniemożliwia powstawanie zjawiska strumienicy na wlocie do krótkiego przewodu mlecznego. Jednak gdy strumień cieczy wpada wprost do otworu krótkiego przewodu mlecznego przy braku istotnego oporu na wylocie, to wzór (1) musi być uzupełniony o składnik uwzględniający wzrost podciśnienia wywołany zasysaniem strumienicowym, a co można wyliczyć z ogólnego równania strumienicy (eżektora) [Paliwoda 1971]:

$$\frac{d_0^2}{d^2} = f \cdot \frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1} + 1 \right) \quad (4)$$

gdzie (rys. 6):

- d_0 – średnica strugi wtryskującej ze strzyka (średnica kanału strzyka) [mm],
- d – średnica krótkiego przewodu mlecznego [mm],
- Δp_2 – wzrost podciśnienia wywołany zjawiskiem strumienicowym [kPa],
- Δp_1 – różnica ciśnień między wnętrzem strzyka a komorą podstrzykową [kPa] $\Delta p_1 = p_{sr.k} + \Delta p_2$,
- $p_{sr.k}$ – średnie podciśnienie kolektorze w fazie ssania [kPa],
- Q_2 – strumień powietrza wnikający do gumy strzykowej [l/min],
- Q_1 – chwilowy strumień mleka wypływający ze strzyka [l/min],
- f – współczynnik oporów wyznaczany doświadczalnie.

Ponieważ ustalenie rzeczywistej średnicy d_0 w czasie doju jest bardzo trudne proponuje się wykorzystanie wzoru Torricellego:

$$v = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_1}{\rho}} \quad [\text{m/s}] \quad (5)$$

który można przekształcić do postaci: $d_0 = 0,95 \cdot \sqrt{\frac{Q_1}{\mu \cdot w_p}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\rho}{\Delta p_1}}$ [m] (6)

Po podstawieniu współczynnika wypływu $\mu = 0,3$ (przyjęto połowę wartości stosowanej dla otworów ostrobrzeżnych); współczynnika gumy strzykowej $w_p = 0,574$ odpowiadającemu najczęściej spotykanemu współczynnikowi pulsacji 0,65 [Spencer 2004] gęstości cieczy (mleka) $\rho = 1031 \text{ kg/m}^3$; różnicy ciśnień (podciśnienia) obejmującej większość przypadków $\Delta p_1 = 50 \div 30 \text{ kPa}$ otrzymamy wzór empiryczny:

$$d_0 = \frac{8,8 \cdot \sqrt{Q}}{\sqrt[4]{\Delta p_1}} = (3,3 \div 3,8) \cdot \sqrt{Q} \quad [\text{mm}; Q - \text{l/min}, \Delta p - \text{kPa}] \quad (7)$$

stąd: $[\text{kPa}] \Delta p_2 = \frac{8,8^2 \cdot Q_1 \cdot \sqrt{p_{sr.k} + \Delta p_2}}{f \cdot d^2 \cdot \left(1 + \frac{Q_1}{Q_2}\right)^2} = \frac{p_{sr.k}}{\sqrt{\frac{p_{sr.k} \cdot f^2 \cdot d^4}{8,8^4 \cdot Q_1^2} \cdot \left(1 + \frac{Q_2}{Q_1}\right)^4 + 0,25 - 0,5}}$ (8)

Jeśli przyjąć, że $\Delta p_{sr.k}$ zawierać się będzie w przedziale 35 – 50 kPa, a Δp_2 nie przekroczy odpowiednio 5 – 10 kPa, to nie popełniając błędu większego niż 2 % można wzór (8) uproszczyć do postaci:

Michał Gedymin

$$\Delta p_2 \approx \frac{\sqrt{p_{\text{sr.k}}}}{\frac{f_1 \cdot d^2}{Q_1} \cdot \left(1 + \frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 - 0,08} \quad [\text{kPa}; p - \text{kPa}, d - \text{mm}, Q - \text{l/min}] \quad (9)$$

gdzie f_1 na podstawie niniejszych badań oszacowany został w granicach $f_1 = \frac{1 \div 4}{\sqrt{\rho_{\text{ml}}}} = 0,031 \div 0,125$ i zawiera w sobie wszystkie wcześniej wymienione współczynniki, przeliczniki oraz gęstość mleka [kg/m^3].

Warto też zauważyć, że krótkie przewody mleczone o zwiększonych średnicach są sztywniejsze, więc dla zapewnienia niezmiennego swobody sytuowania się kubków udojowych na wymieniu korzystniejsze jest osadzanie ich w otworze (rys. 3) a nie na króćcu.

Wnioski

Dla wypływu mleka ze strzyka nie większego niż 2 l/min.:

1. Krótkie przewody mleczone o średnicy wewnętrznej 13 mm lub większej zapewniają eliminację korków z cieczy i brak istotnych wahań podciśnienia wywołanych z tego powodu przy czym wyznaczenie granicznego wypływu cieczy ze strzyka dla danej średnicy wewnętrznej krótkiego przewodu mleczonego przy którym nie powstaną te korki jest obarczone błędem co najmniej 10%.
2. W skrajnych przypadkach zjawisko strumienicowe może zwiększyć podciśnienie pod strzykiem nawet o 4 kPa, jest to bardziej prawdopodobne dla przewodów i króćców o średnicy wewnętrznej 10 mm które mają mniejsze opory hydrauliczne niż te o średnicy wewnętrznej 8 mm ze skośnie ściętymi króćcami.
3. Skośnie ścięte króćce wylotowe o średnicy wewnętrznej 8 mm dają o 7 kPa większe wahania podciśnienia w obrębie 1 taktu niż prosto ścięte z powodu większych oporów hydraulicznych.

Bibliografia

Czterwertyński E., Utrysko B. 1969. Hydraulika i hydromechanika. PWN Warszawa.

Kupczyk A. 1995. Spadek podciśnienia w przewodzie mlecznym dojarki obliczony wg teorii przepływu korkowego. Problemy Inżynierii Rolniczej 3, s. 67-77.

Kupczyk A. 1996. Analiza cyklicznych wahań podciśnienia w aparacie udojowym w kontekście poprawy warunków doju mechanicznego. Cz. II. Wpływ budowy

konwencjonalnego aparatu udojowego na cykliczne wahania podciśnienia. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 3(13): 55-74.

Paliwoda A. 1971. Urządzenia chłodnicze strumienicowe. PWN Warszawa.

Spencer S.B. 2004. Defining the wave form of liner-wall movement. *Bulletin of the International Dairy Federation*, 388: 96-97.

Wiercioch M. 1994. Przepływy w kubku udojowym dojarki mechanicznej. AR Wrocław. Rozprawa habilitacyjna.

THE INFLUENCE OF MILK QUANTITY AND VELOCITY FROM TEAT END ON VACUUM HESITATION IN THE TEAT END CHAMBER (IN THE TEAT CUP)

Summary

A research of vacuum hesitation in a single teat cup – without a cluster, with different internal diameter of short milk tube (8 to 13 mm), with different type of outlets inclined at angle 0 to 90°, with employment an artificial udder – prove that for a great flow rate in the tube of diameter 8 and 10 mm has been formed a water congestion which generated crucial vacuum hesitations (properly max. 28 kPa and 14 kPa) weakly dependent on a type or inclination of outlet (max. diversified 7 kPa). In the tube of diameter 13 mm appeared any vacuum hesitation. Moreover has been observed an effect of injector in the teat cup with tube of diameter 8 or 10 mm, which increased average vacuum about 2 kPa at derive phase.

Key words: cow milking, vacuum hesitations in the teat cup, injector