

Analiza wpływu obciążenia cieczą rurociągu mlecznego dojarki przewodowej na stopień jego wypełnienia

Streszczenie

Analizowano stopień wypełnienia rurociągu mlecznego dojarki przewodowej w konfiguracji rurociągu mlecznego odnoga i odnoga z rurociągiem wspomagającym mycie, przy różnym jego obciążeniu cieczą. W badaniach stosowano dwa sposoby podłączania sześciu aparatów udojowych do instalacji dojarki uwzględniające kolejność podłączania aparatów a to: rozpoczynając podłączanie aparatów udojowych raz od pierwszego kurka stanowiskowego (znajdującego się najbliżej jednostki końcowej) drugim razem zaczynając podłączanie od najdalszego kurka stanowiskowego względem jednostki końcowej. Wykazano istotny wpływ całkowitego strumienia przepływu cieczy w rurociągu mlecznym Q_{mr} , średniej prędkości tej cieczy $v_{cśr}$ i konfiguracji rurociągu mlecznego na stopień wypełnienia rurociągu mlecznego w . Przy pełnym obciążeniu instalacji udojowej, przy pracy sześciu aparatów udojowych o maksymalnym zadanym strumieniu wypływu cieczy z aparatu $Q_m = 8 \text{ l min}^{-1}$, zmiana stopnia wypełnienia w wynosiła, około 0,4, co wskazuje na 40% wypełnienie rurociągu mlecznego.

Słowa kluczowe: dojarka przewodowa, konfiguracja rurociągu mlecznego, stopień wypełnienia rurociągu mlecznego

Wstęp i cel badań

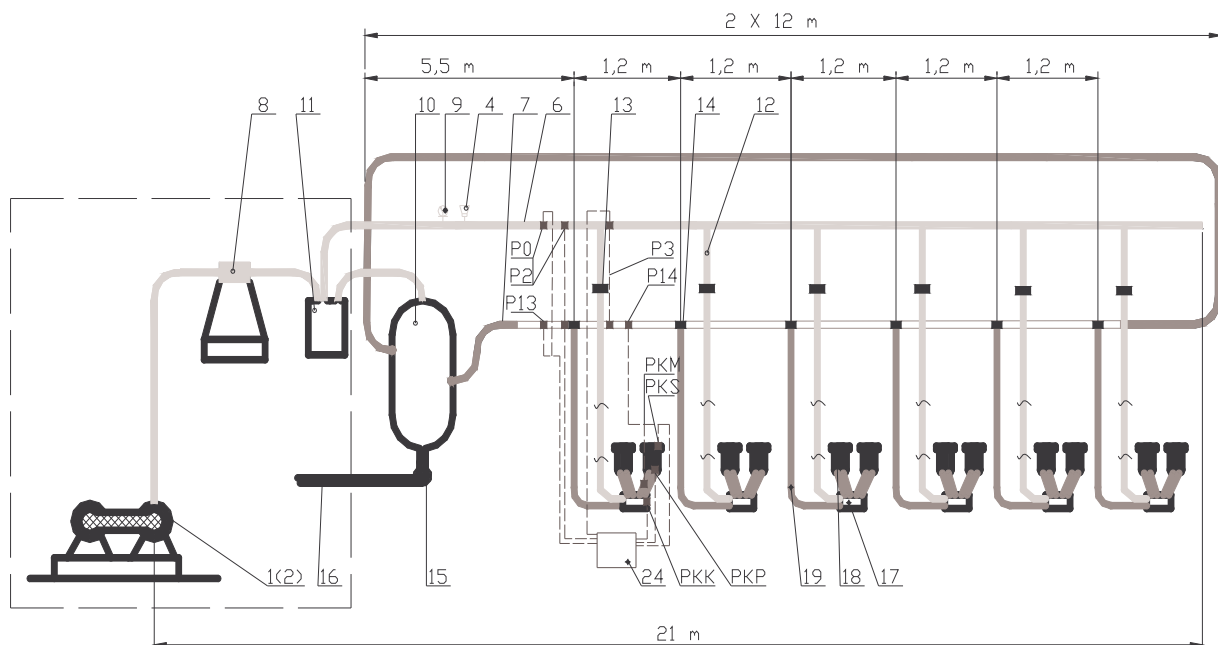
Dojarki przewodowe różnią się między sobą. Jest wiele typów, ale podstawowymi czynnikami charakteryzującymi dojarke przewodową, które je różnicują to: usytuowanie rurociągu mlecznego, jego spadek, jego średnica i długość oraz średnica rurociągu podciśnienia. Dojarki przewodowe wyposażone w rurociąg mleczny położony poniżej poziomu kolektorów aparatów udojowych mogą pracować przy obniżonym podciśnieniu systemowym do wartości $38 \div 42 \text{ kPa}$. Dój dojarke przewodową wyposażoną w rurociąg mleczny usytuowany wysoko, około 2 m nad poziomem stanowisk wymaga dodatkowego zapasu podciśnienia systemowego, który jest potrzebny do transportowania mleka na tę wysokość i dalej do jednostki końcowej. Poczynione rozważania wskazują na ścisłe powiązanie pomiędzy parametrami pracy aparatu udojowego a sposobem wytwarzania, regulowania i

rozprowadzania podciśnienia systemowego. Szczególnie ważną funkcję odgrywa zarówno układ podciśnienia jak i układ mleczny. Relacje te są istotne przy wysoko położonym rurowciągu mlecznym i doju krów o dużej wydajności mlecznej, kiedy znacznie wzrastają opory energetyczne przepływu cieczy i powietrza w całym układzie mlecznym. Równoczesna praca wielu aparatów udojowych jest przyczyną dużego „obciążenia” układu mlecznego cieczą – duże wypełnienie rurowciągu mlecznego przepływającym mlekiem [Szlachta 2000].

Mając na uwadze wzrastające wymagania wobec parametrów doju dojarki przewodowej, zwłaszcza przy wzrastającej wydajności mlecznej krów, celem pracy była analiza wpływu zadanego całkowitego strumienia cieczy i jej prędkości na zmiany stopnia wypełnienia rurowciągu mlecznego w dojarce przewodowej przy pracy sześciu aparatów udojowych (dla dwóch metod podłączania aparatów i dwóch konfiguracji rurowciągu mlecznego).

Zakres i metodyka badań

Badania przeprowadzono w Laboratorium Urządzeń Udojowych Instytutu Inżynierii Rolniczej AR we Wrocławiu. Stanowisko pomiarowe zbudowano w oparciu o dojarkę przewodową (rys. 1).



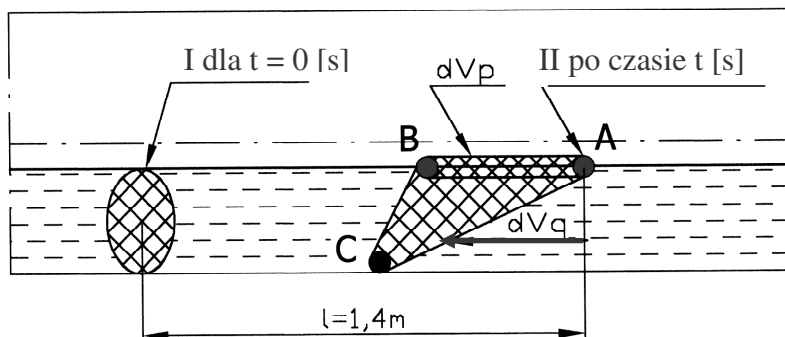
Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego do wyznaczenia parametrów ciśnieniowych i przepływowych - instalacja dojarki przewodowej: 1 – agregat próżniowy, 4 - regulator VRM 900, 6 – rurowciąg podciśnienia, 7 – rurowciąg mleczny, 8 – zbiornik wyrównawczy 20 l, 9 – wakuometr, 10 – zbiornik jk, 11 – osadnik sanitarny, 12 – przewód pulsowy długi,

13 – pulsator pneumatyczny przemienny, 14 – kurek mleczny stanowiskowy, 15 – pompa mleczna, 16 – system zadawania strumienia przepływu cieczy, 17 – kolektor HARMONY 450 cm³, 18 – aparat udojowy HARMONY, 19 – przewód długi mleczny, 24 – rejestrator, PO, P2, P3, P13, P14, PKS, PKK, PKP, PKM – czujniki podciśnienia

Fig. 1. Scheme of the measuring stand to set vacuum parameters: 1 – vacuum pump, 4 - regulator VRM 900, 6 – milking vacuum line, 7 – milk transfer line, 8 – interceptor 20 l, 9 – vacuum gauge, 10 – recorder jar, 11 – sanitary trap, 12 – long pulse tube, 13 – pulsator, 14 – milk tap, 15 – releaser milk pump, 16 – delivery line, 17 – claw HARMONY 450 cm³, 18 – milking unit HARMONY, 19 – long milk tube, 24 – recording; PO, P2, P3, P13, P14, PKS, PKK, PKP, PKM – vacuum sensor

Pomiary prędkości cieczy mlekopodobnej realizowano na odcinku rurociągu mlecznego o długości 1,4 m w odległości 5,5 m od jednostki końcowej. Na odcinku pomiarowym mierzono czas przepływu znacznika doprowadzonego do rurociągu mlecznego. Znacznikiem pomiarowym był wodny roztwór silnego barwnika, który był wstrzykiwany w porcjach (od 2,0 do 4,0) ml do przepływającej cieczy w rurociągu. Proces był rejestrowany przy pomocy kamery – video, a do odtwarzania wykorzystano magnetowid, który umożliwiał odtwarzanie „klatka po klatce”, w dowolnie zwolnionym tempie zarejestrowanych zjawisk.

W momencie doprowadzenia barwnika do rurociągu mlecznego z przepływającą cieczą mlekopodobną, zajmował on w niej zwartą przestrzeń (rys. 2 I dla $t = 0$).



Rys. 2. Uproszczony rozkład prędkości cieczy przyjęty w modelu operacyjnym
Fig. 2. Simplified representation of liquid velocity distribution assumed in operational model

Po przebyciu drogi 1,4 m przestrzeń zajmowana przez barwnik przyjmowała profil (rys. 2 II po czasie t) rozmyty bardziej niż na początku (w miejscu wpuszczenia), a jego wymiary dały się bez problemu odczytać na zarejestrowanym obrazie. Punkty A, B, C (rys. 2) określają prędkości cieczy: A – największa prędkość cieczy na powierzchni, B – prędkość cieczy przy

ściance na powierzchni styku powietrze – ciecz, C – najmniejsza prędkość cieczy w najniższym miejscu rurociągu mlecznego. Natomiast dv_q – określa przyrost prędkości między warstwami najgłębszymi i warstwami na powierzchni cieczy, dv_p – określa przyrost prędkości na powierzchni od brzegu do środka cieciwy. Dla uproszczenia przyjęto liniowy rozkład prędkości między punktami A, B, C. W celu obliczenia wypełnienia rurociągu mlecznego przyjęto następujący tok rozumowania:

- znana jest ilość doprowadzonej cieczy do rurociągu mlecznego w $l \text{ min}^{-1}$, ponieważ każdy dołączony aparat udojowy miał określony wydatek w $l \text{ min}^{-1}$,
- przy przepływie niepełnym rurociągiem (jak w badaniach) całkowity zadany strumień przepływu cieczy jest funkcją wypełnienia i prędkości przepływającej cieczy.

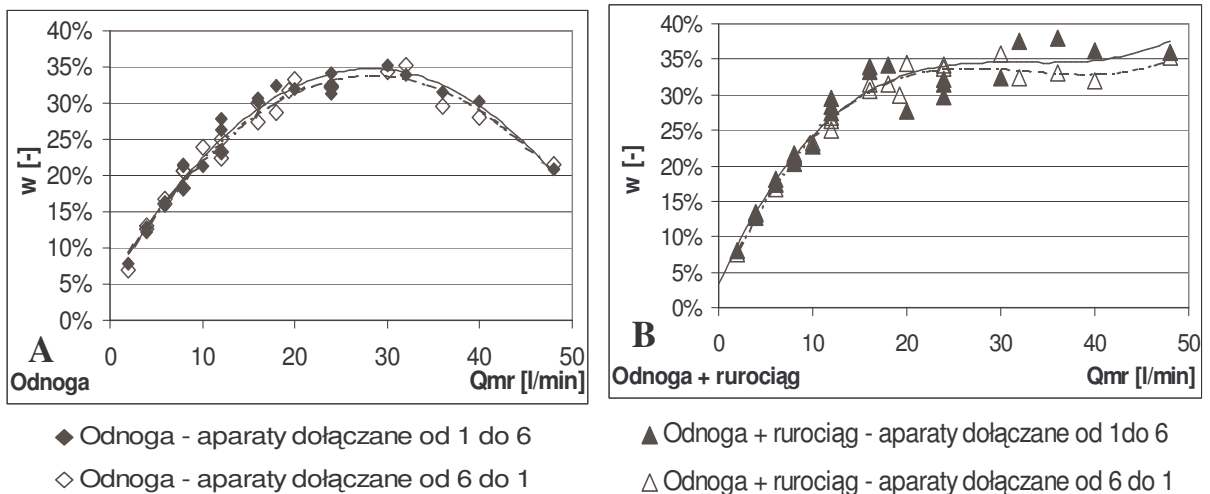
Współczynnikiem wypełnienia w [-] nazwano stosunek przekroju zastępczego do przekroju rurociągu mlecznego. Przekrój zastępczy zdefiniowano jako przekrój rurociągu, którego pełnym przekrojem płynęłaby ta sama ilość cieczy, z takim samym rozkładem prędkości wzdłuż promienia, jak w rurociągu mlecznym. Tak obliczony współczynnik wypełnienia w jest w przybliżeniu równy stosunkowi przekroju poprzecznego strugi cieczy płynącej rurociągiem mlecznym do przekroju poprzecznego rurociągu mlecznego. Do obliczenia współczynnika wypełnienia w zastosowano metodę iteracyjną (krok po kroku) z odpowiednio dobranym krokiem. Wykorzystano do tego narzędzia programu Excel – Solver. Przyjęto zmienność Q_{mr} w przedziale od 0 do 48 $l \text{ min}^{-1}$.

Wyniki badań i dyskusja

Według Orzechowskiego [1990] przyjęto założenia dotyczące przepływu współprądowego z rozdzieleniem faz. W pracy nie analizowano przyczyn powstawania prędkości przepływu cieczy (teoria przepływów dwufazowych), lecz mierzono jej prędkość i analizowano rozkład prędkości. Znając rozkład prędkości i jej wartość średnią oraz strumień cieczy doprowadzonej do rurociągu mlecznego, powstała możliwość określenia wypełnienia rurociągu. Wypełnienie rurociągu mlecznego zależy od zadanego całkowitego przepływu cieczy oraz od jej prędkości przepływu. Wypełnienie w w zależności od ilości wpływającej cieczy do rurociągu mlecznego Q_{mr} przedstawia rysunek 3 A i B. Dwie krzywe (rys. 3 A) reprezentują dwa sposoby podłączenia aparatów udojowych do rurociągu mlecznego (odnoga), zaczynając raz podłączanie od pierwszego kurka stanowiskowego (umieszczonego najbliżej jednostki końcowej na rurociągu) a drugim razem zaczynając od szóstego kurka (umieszczonego najdalej od jednostki końcowej) na rurociągu mlecznym. Przebieg tych zmian ma swoje maksima dla Q_{mr} równego około 25 $l \text{ min}^{-1}$. Od $Q_{mr} = 2 \text{ l min}^{-1}$ do około 12 $l \text{ min}^{-1}$ wypełnienie rośnie w przybliżeniu liniowo ze zmianą Q_{mr} . Natomiast od około 12 $l \text{ min}^{-1}$ do około 25 $l \text{ min}^{-1}$ przyrosty

wypełnienia są coraz mniejsze, co jest spowodowane wzrostem prędkości przepływającej cieczy (rys. 4). Przy przepływie cieczy od 25 l min^{-1} do 48 l min^{-1} stopień wypełnienia w spada, mimo, że wzrasta ilość cieczy doprowadzonej do rurociągu mlecznego. Pozostaje to w zgodzie z poglądem, że prędkość cieczy jest powiązana z prędkością powietrza przepływającego nad nią – przekazywanie pędu [Gryboś R., 1989, Trokoleński A T., 1962]. Prędkość powietrza wzrasta wraz ze zmniejszeniem (dostępnego dla niego) przekroju w rurociągu mlecznym. Według Orzechowskiego [1990] muszą być spełnione warunki: *bilans pędu*, *bilans energii* i *bilans masy*. Aby spełnić warunek bilansu pędu, powietrze transportujące ciecz musi mieć pęd większy od cieczy. Przy różnicy mas powietrza i cieczy płynących w rurociągu mlecznym, w tym samym kierunku, prędkość powietrza musi być wielokrotnie większa niż prędkość cieczy, aby zapewnić transport płynącej cieczy.

Rys. 3. Wpływ całkowitego zadanego strumienia przepływu cieczy Q_{mr} na wypełnienie rurociągu mlecznego w dla konfiguracji rurociągu mlecznego: A - odnoga i B - odnoga z rurociągiem wspomagającym

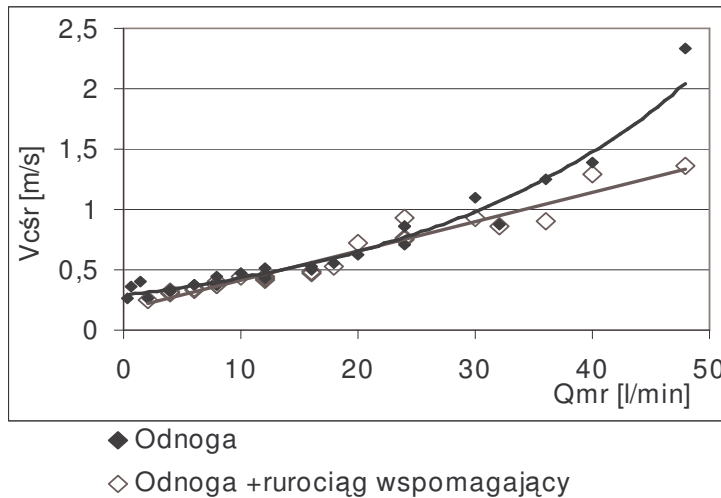


mycie dla dwóch sposobach podłączenia sześciu aparatów udojowych do rurociągu mlecznego zaczynając raz od pierwszego kurka stanowiskowego drugim razem od szóstego kurka

Fig. 3. Effect of total liquid stream in milk line Q_{mr} on milk line fulfilment *w* for configuration of milk line: A – arm and B – arm with milk line wash supporting for two methods of connecting of six clusters to installation were applied: first starting from the tape close to final unit and second from the tape at the largest distant to final unit

Przekazywanie pędu zależy nie tylko od prędkości powietrza, ale i od powierzchni styku z masą cieczy oraz od charakteru przepływu powietrza (laminarny – turbulentny). Po przekroczeniu prędkości krytycznej powietrza następuje zaburzenie powierzchni styku powietrze – ciecz (sfalowanie

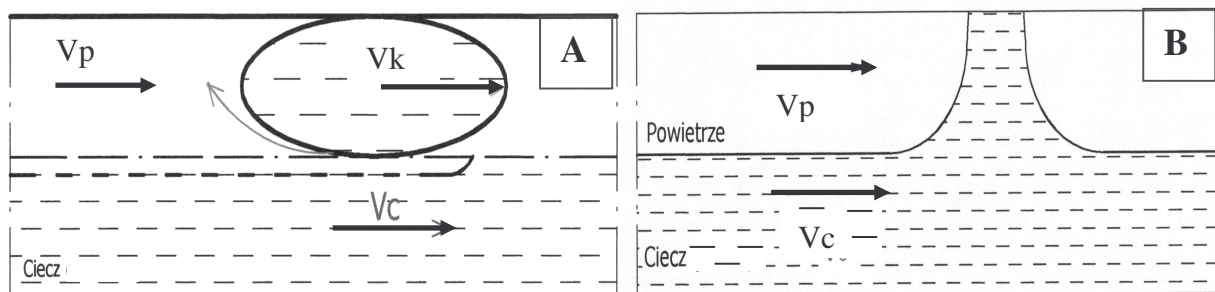
powierzchni cieczy) i zwiększenie przekazywania pędu powietrze – ciecz. Rośnie średnia prędkość cieczy, co wyjaśnia wzrost prędkości cieczy (rys. 4) i spadek wypełnienia rurociągu mlecznego (rys. 3 A). Innym powodem wzrostu średniej prędkości cieczy jest zaobserwowane zjawisko powstawania „korka” cieczy w rurociągu. Zjawisko to występuje dla $Q_{mr} > 36$ l/min i nasila się wraz ze wzrostem Q_{mr} . Mechanizm działania takiego „korka” jest następujący; powstaje on prawdopodobnie z silnego zafalowania cieczy, które w pewnym momencie zamknie cały przekrój na krótkim odcinku rurociągu mlecznego (kilkanaście centymetrów).



Rys. 4. Wpływ całkowitego zadanego strumienia przepływu cieczy Q_{mr} na średnią prędkość płynącej cieczy $v_{cśr}$ w rurociągu mlecznym dojarki przewodowej dla konfiguracji rurociągu mlecznego: - odnoga i odnoga z rurociągiem wspomagającym mycie

Fig. 4. Effect of total liquid stream in milk line Q_{mr} on average velocity of liquid $v_{cśr}$ for configuration of milk line: – arm and – arm with milk line wash supporting

Po obu stronach „korka” wytworzy się różnica ciśnień, która wraz z pędem powietrza przesuwając „korek” po powierzchni płynącej cieczy w rurociągu (rys. 5 A). W powyższym przypadku prędkość „korka” zrównuje się z prędkością powietrza. Na skutek różnicy oporów przepływu przy szklanej ścianie rurociągu i przy cieczy płynącej w rurociągu „korek” zaczyna się obracać podrywając część cieczy płynącej w rurociągu (rys. 5 A). Część swego pędu przekazuje płynącej pod nim cieczy, zwiększając jej prędkość, obniża się też nieco poziom cieczy za korkiem w rurociągu mlecznym. Zjawisko powyższe opisano na podstawie analizy zapisu procesu za pomocą kamery.



Rys. 5. Przepływ cieczy w rurociągu zamkniętym: A – przepływ „korka” w rurociągu o średnicy $\phi=50$ mm, B – struktura „przerywana” przepływu dwufazowego ciecz – powietrze w poziomym rurociągu wg Troškolański[1962]

Fig. 5. Liquid flow in the closed pipeline: A – liquid “trap flow” in pipeline $\phi=50$ mm, B - structure “intermittent” of two-phase liquid - air flow in horizontal pipeline

Zgodnie z literaturą [Orzechowski 1990; Gryboś 1989; Józefowicz 1981; Troškolański 1962] przepływ o strukturze przerywanej wygląda jak pokazano na rysunku 5 B. Przy założeniu, że w rurociągu zachodzi powietrzny transport cieczy we współprądowym ruchu poziomym, istnienie tak zdefiniowanego przepływu w rurociągu mlecznym jest niemożliwe, ponieważ naruszony jest przynajmniej jeden z warunków bilansu – bilans „zachowania pędu”. Dlatego też powstające zamknięcie przekroju rurociągu w postaci korka będzie musiało się przesuwac i poruszać z prędkością zbliżoną do prędkości powietrza. Oszacowano ją na podstawie wykonanych pomiarów, prędkość „korków” zmieniała się (od 4,5 do 5,5) m/s. Prędkości powietrza przy zerowym przepływie ($Q_{mr} = 0$ l/min) dla różnej ilości aparatów i konfiguracji rurociągu mlecznego odnogi zmieniała się (od 0,6 do 7) m/s. Zjawisko „korka” można zaobserwować tylko na zwolnionym filmie i przy odpowiednim barwieniu cieczy. Korek jest np. zabarwiony a ciecz płynąca pod nim nie i odwrotnie. Jeżeli cała ciecz jest przezroczysta lub jednolicie zabarwiona (np. mleczna) opisanie zjawiska jest praktycznie nie możliwe z powodu trudności w określeniu prędkości poszczególnych części cieczy.

Zmianę wypełnienia rurociągu mlecznego w konfiguracji odnoga z podłączonym rurociągiem wspomagającym mycie (rys. 3 B) przedstawiono dla Q_{mr} (od 2 do 48 l min⁻¹). Krzywe reprezentują również dwa sposoby podłączenia aparatów udojowych do rurociągu mlecznego. Przebieg zmian wypełnienia w , w przedziale zmienności Q_{mr} (od 2 do 30 l min⁻¹) nie różni się dla konfiguracji odnoga i dla odnogi z rurociągiem wspomagającym mycie (rys. 3 A i B). Natomiast powyżej 30 l min⁻¹ widać stabilizację wypełnienia z tendencją wzrostową dla konfiguracji rurociągu - odnoga z rurociągiem wspomagającym mycie. Powodem tego jest to, że coraz więcej powietrza płynie przez niewypełnioną cieczą część rurociągu wspomagającego mycie i nie bierze udziału w transporcie cieczy. Powietrze, które ze strefy pracujących

aparatów płynie do niewypełnionej cieczą części rurociągu, wstrzymuje przepływ cieczy w kierunku jednostki końcowej.

W tabeli 1 przedstawiono współczynniki kierunkowe linii trendów opisujące kształtowanie się współczynnika wypełnienia w i prędkości przepływu cieczy $v_{cśr}$, w rurociągu mlecznym (dla dwóch sposobów podłączania aparatów udojowych i dwóch konfiguracji rurociągu mlecznego: odnoga i odnoga z rurociągiem wspomagającym mycie).

Tabela 1 Wpływ całkowitego strumienia przepływu Q_{mr} w rurociągu mlecznym na wypełnienie rurociągu w i prędkość cieczy $v_{cśr}$

Table 1 Effect of total liquid stream in milk line Q_{mr} on milk line fulfilment w and average velocity of liquid $v_{cśr}$

Kolejność podłączania aparatów	Konfiguracja rurociągu mlecznego	Parametr	Równanie	R^2
Od 1 do 6	Odnoga	w	$w = -0,0004*Q_{mr}^2 + 0,0204*Q_{mr} + 0,0554$	$R^2 = 0,91$
	Odnoga	$v_{cśr}$	$v_{cśr} = 0,2887e^{0,0408Q_{mr}}$	$R^2 = 0,95$
Od 1 do 6	Odnoga+rurociąg	w	$w = 0,00001*Q_{mr}^3 - 0,00083*Q_{mr}^2 + 0,02785*Q_{mr} + 0,03750$	$R^2 = 0,91$
	Odnoga+rurociąg	$v_{cśr}$	$v_{cśr} = 0,0242*Q_{mr} + 0,1781$	$R^2 = 0,94$
Od 6 do 1	Odnoga	w	$w = -0,0003*Q_{mr}^2 + 0,0192*Q_{mr} + 0,0628$	$R^2 = 0,93$
	Odnoga	$v_{cśr}$	$v_{cśr} = 0,2967e^{0,0405Q_{mr}}$	$R^2 = 0,93$
Od 6 do 1	Odnoga+rurociąg	w	$w = 0,00001*Q_{mr}^3 - 0,00096*Q_{mr}^2 + 0,03079*Q_{mr} + 0,02002$	$R^2 = 0,94$
	Odnoga+rurociąg	$v_{cśr}$	$v_{cśr} = 0,0287*Q_{mr} + 0,1326$	$R^2 = 0,87$

Zmiany stopnia wypełnienia w w zależności od całkowitego zadanego strumienia przepływu cieczy Q_{mr} (rys. 3) wskazują, że obydwie zależności nie są w całym swoim przedziale jednoznacznie rosnące ani malejące. Stwarza to trudności w uzależnianiu innych parametrów doju od stopnia wypełnienia rurociągu mlecznego, co ma znaczenie przy doju krów o dużej wydajności mlecznej. W literaturze można spotkać sugestie, które uzależniają pogorszenie parametrów doju od stopnia wypełnienia rurociągu mlecznego. Wyjaśnienie tych relacji będzie przedmiotem odrębnej publikacji.

Wnioski

1. Stopień wypełnienia przekroju rurociągu mlecznego zmienia się nieliniowo w zależności od całkowitego zadanego strumienia przepływu cieczy Q_{mr} w rurociągu i jest różny dla konfiguracji: odnoga i dla odnogi z rurociągiem

wspomagającym mycie. W skrajnych przypadkach osiąga wartość około 40%.

- Średnia prędkość płynącej cieczy $v_{cśr}$ w zależności od Q_{mr} zmienia się w sposób liniowy od 0,25 do 1,25 m/s dla konfiguracji rurociągu mlecznego odnogą z rurociągiem wspomagającym mycie i w sposób nieliniowy dla konfiguracji odnoga od 0,25 do 2,25 m/s.

Bibliografia

Gryboś R. 1989. Podstawy mechaniki płynów, PWN, Warszawa

Józefowicz E. 1981. Modelowanie cyfrowe przepływu mleka i powietrza w rurociągu mlecznym dojarki przewodowej. Praca doktorska, AR, Poznań

Orzechowski Z. 1990. Przepływu dwufazowe, PWN, Warszawa

Szlachta J. 2000. Wpływ typu aparatu udojowego oraz wielkości i rozwiązanie konstrukcyjnego kolektora na kształtowanie się parametrów doju maszynowego krów o dużej wydajności mlecznej, Sprawozdanie merytoryczne z projektu badań, KBN 5P06F 003 14, Wrocław

Troskoleński A T. 1962. Hydromechanika techniczna, Tom I i II, PWT, Warszawa

Analysis of the influence of milk line load on milk line filling in pipeline milking machine

Summary

Changes of vacuum drop and vacuum ranges in milk line of pipeline milking machine were analyzed. Two methods of connecting the six clusters to the installation were applied: first starting from the tap close to final unit and second from the tap at the largest distance from final unit. There were also taken into consideration two configurations of milk line: arm and arm with wash supporting line and three systems of vacuum control. A significant effect of total liquid stream from clusters Q_{mr} , average velocity of liquid v_{csr} and configuration of milk line on filling the transport milk line was described. Filling the transport milk line of installation for configuration of arm was of 35% and for configuration of arm with wash supporting line of 40%.

Key words: pipeline milking machine, configuration of milk line, milk line filling