



BADANIA SYMULACYJNE PRZEPŁYWU CIECZY W ELEMENTACH RUROCIĄGÓW¹

Joanna Piepiórka-Stepuk*, Sylwia Mierzejewska

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Politechnika Koszalińska

* Adres do korespondencji: ul. Racławicka 15-17, 75-620 Koszalin, e-mail: joanna.piepiorka@tu.koszalin.pl

INFORMACJE O ARTYKULE

Historia artykułu:
Wpłynął: grudzień 2013
Zrecenzowany: styczeń 2014
Zaakceptowany: luty 2014

Słowa kluczowe:
rurociągi
mycie w systemie CIP
obliczenia CFD

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące wykorzystania komercyjnych aplikacji komputerowych stosowanych do obliczeń w mechanice płynów. Za pomocą numerycznych metod CFD, w wybranych elementach instalacji rurowych, przedstawiono rozkłady ciśnienia, prędkości i naprężeń ścinających na ich ścianach i poddano je analizie w aspekcie warunków mycia w systemie CIP (czyszczenie na miejscu). Przeprowadzone badania stanowią część badań dotyczących warunków mycia instalacji produkcyjnych finansowanych w ramach grantu badawczego. Uzyskane wyniki badań mają charakter interdyscyplinarny, natomiast ich interpretacja w odniesieniu do warunków mycia potwierdza słuszność stosowania metod CFD do prognozowania i higienicznego modelowania urządzeń przemysłu spożywczego.

Wstęp

Mycie w systemie CIP (Clean In Place) jest procesem zautomatyzowanym, niewymagającym demontażu mytych elementów i polegającym na przepuszczeniu przez myte instalacje odpowiednich roztworów myjących, które podczas przepływu powodują zwilżanie i zrywanie zanieczyszczeń poprodukcyjnych. Myciu w systemie CIP podlegają urządzenia oraz całe linie produkcyjne, biorące udział w produkcji płynnej lub półpłynnej żywności wraz z rurociągami, służącymi przetransportowaniu surowca w celu wykonania kolejnej operacji technologicznej (Diakun, 2013). Konstrukcja rurociągów może być przyczyną wtórnego zakażenia produkowanej żywności, szczególnie wówczas gdy wyposażona jest w liczne zakrzywienia (kolanka), trójniki, ślepe końcówki i dodatkowe zawory (Lelievre i in., 2002b, Jensen i in., 2005; Mierzejewska i in., 2013). Są to elementy o zmiennym przekroju kanału przepływowego, co ma wpływ na warunki przepływu. Te natomiast stanowią najważniejszy

¹ Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2011 jako projekt badawczy Nr N N313 136838

czynnik w procesie mycia w przepływie, decydujący o uzyskaniu czystych powierzchni. Hydromechaniczne oddziaływania płynu na ścianki mytych elementów, gwarantują mechaniczny efekt mycia, sprzyjają odrywaniu się cząsteczek osadu od mytych powierzchni, ich rozproszeniu w całej objętości płynu oraz przetransportowaniu i usunięciu. Wykazano również, że wpływają one na zmniejszenie liczby mikroorganizmów już w trakcie samego procesu mycia (Grasshoff, 1992; Lelievre i in., 2002a) oraz, że odłączenie komórki bakteryjnej od mytej powierzchni, następuje wówczas, gdy hydrauliczne naprężenia ścinające są większe od sił adhezji odpowiedzialnych za przyleganie bakterii (Hermanowicz i in., 1989; de Jong i in., 2002). Wielu badaczy wykazało, że kinetyka usuwania zanieczyszczeń jest funkcją prędkości przepływu detergentów myjących, liczby Reynoldsa (1) i tworzących się na ściankach mytych elementów naprężeń ścinających (2) (Lelievre i in., 2002a; Jensen i in., 2005; Blé i in., 2007; Diakun i in., 2010), gdzie naprężenia ścinające τ_w definiowane są jako iloczyn lepkości dynamicznej μ i prędkości przepływu u na określonej odległości od ściany elementu y (2).

$$Re = \frac{g \cdot u \cdot d}{\nu} \quad (1)$$

gdzie:

- Re – liczba Reynoldsa
- g – przyspieszenie ziemskie, ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
- u – prędkość przepływu, ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- d – wymiar charakterystyczny (średnica), (m)
- ν – kinematyczny współczynnik lepkości, ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)

$$\tau_w = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0} \quad (2)$$

gdzie:

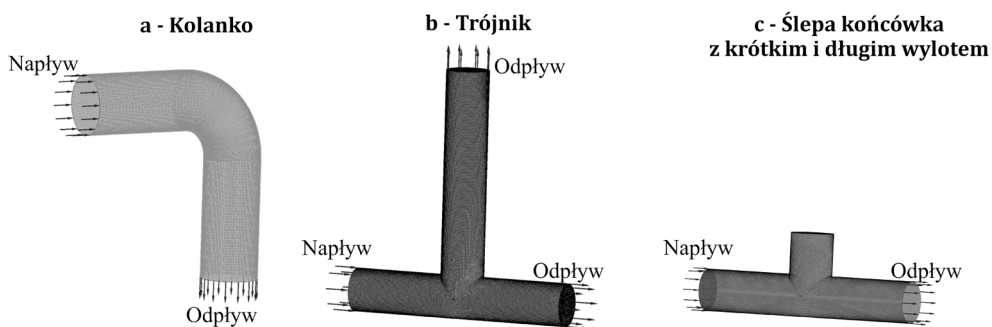
- τ_w – naprężenia ścinające, (Pa)
- μ – dynamiczny współczynnik lepkości, ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$)
- u – prędkość przepływu, ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- y – odległość warstwy płynu od ściany elementu, (m)

Prędkość i burzliwość przepływu ($Re > 10000$) oraz całkowite zwilżenie wszystkich powierzchni wchodzących w kontakt z produktem mają ogromny wpływ na warunki usuwania osadów i są warunkiem podstawowym w uzyskaniu czystych powierzchni rurociągów (Bansal i Chen, 2005; Piepiórka i Mierzejewska, 2009). Aby wyznaczyć warunki przepływu występujące w wybranych elementach rurociągów, zastosowano obliczenia numeryczne, wykorzystujące kod CFD (Lelievre i in., 2002a; Lelievre i in., 2002b; Jensen i in., 2005; Rahaman i in., 2007). Jest to narzędzie szeroko wykorzystane w modelowaniu i prognozowaniu warunków przepływu w zamkniętych instalacjach przemysłowych, szczególnie wówczas gdy jest to trudne do zrealizowania w warunkach laboratoryjnych.

Cel badań i metoda badań

Celem badań było:

- Określenie warunków przepływu płynu w wybranych elementach rurociągów, tj.: kolanka, trójniki, ślepe końcówki, za pomocą obliczeń numerycznych wykorzystujących kod CFD;
- Wskazanie, na podstawie wyników badań numerycznych w ww. elementach obszarów trudnych do umycia w przepływie.



Rysunek 1. Warunki brzegowe dla przepływu a – w kolanku rurociągu, b – w trójniku, c – ślepych końcówkach

Figure 1. Boundary conditions for flow a – in the pipeline elbow; b – in the T-connector, c – in blind endings

$$u_x = 0; u_y = 0; u_z = 0; \quad (3)$$

$$\dot{m}_{in} \geq 0; \dot{m}_{out} \geq 0; \quad (4)$$

Do analizy ruchu płynu w rurociągach zastosowano półempiryczny model turbulencji $\kappa - \varepsilon$. Jest to model odpowiednio przystosowany do przepływów o wysokim poziomie turbulencji, z którego wynika twierdzenie, że energia kinetyczna turbulencji jest kaskadowo przekazywana od wirów dużej skali do wirów małej skali, gdzie następuje jej dyssypacja.

W koncepcji tego modelu wykorzystano zamknięcie układu równań (N-S) dwoma dodatkowymi równaniami różniczkowymi transportu (Elsner, 1987; Bogusławski i in., 2008).

Równanie dla energii kinetycznej κ

$$\rho u_x \frac{\partial \kappa}{\partial x} + \rho u_y \frac{\partial \kappa}{\partial y} + \rho u_z \frac{\partial \kappa}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

Równanie dla prędkości dyssypacji ε

$$\rho u_x \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \rho u_y \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \rho u_z \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

gdzie:

κ – energia kinetyczna turbulencji,

ε – szybkość dyssypacji energii kinetycznej turbulencji.

Równania w przyjętym modelu turbulencji $\kappa - \varepsilon$, przedstawiają ewolucję parametrów określających turbulencję (Gryboś, 1989; Kazimierski, 2004).

Obliczenia prowadzono metodą objętości skończonych FVM (Finite Volume Method), na której bazuje program CFX, stanowiący jeden z modułów pakietu do obliczeń numerycznych o nazwie ANSYS. Idea metody objętości skończonej polega na aproksymacji geometrii drogi przepływowej małymi obszarami kontrolnymi zwanymi komórkami. Z badanych elementów rurociągów o średnicy $d=0,038$ m, wyodrębniono przestrzenie tworzące kanały przepływowe, które zdyskretyzowano siatką symetryczną o wielkości elementu 0,001 m. Dla tej wielkości komórek nie stwierdzono znaczącego wpływu na wynik końcowy. Siatka numeryczna posiadała komórki o kształcie czworobocznym, które stanowiły one obszary obliczeniowe. Warunki brzegowe i początkowe w pierwszym kroku pierwszej iteracji, zdefiniowano w postaci zerowych wartości prędkości na ścianach badanego obszaru obliczeniowego, zerowych wartości energii kinetycznej i dyssypacji turbulencji oraz masowego natężenia przepływu na wlocie i wylocie z badanych modeli na poziomie $\rho=1,95 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. Chropowatość powierzchni przyjęto na poziomie $R_a=0,4 \text{ }\mu\text{m}$. Przyjęte wartości do obliczeń numerycznych były wyznaczone na podstawie eksperymentalnych pomiarów prędkości przepływu w rzeczywistym kanale rurociągu, dla których prędkość przepływu wynosiła $u=1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Przepływ ustalono jako turbulentny, natomiast ciecz przepływającą ustalono jako wodę o lepkości i gęstości, odpowiadającej wodzie o temperaturze $T=45^\circ\text{C}$. Warunki prowadzenia badań numerycznych określono jako izotermiczne i niezmiennie w czasie. Na podstawie uzyskanych map pól prędkości przepływu, linii prądu, wektorów prędkości oraz rozkładów ciśnień wyznaczono miejsca, w których przepływ może być korzystny lub niekorzystny dla procesów mycia w przepływie kolanek trójkątów i ślepych końcówek w rurociągach.

Wyniki badań

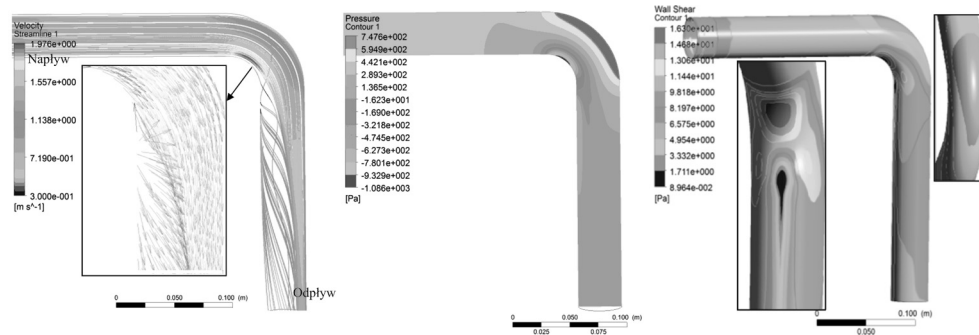
Opracowano geometryczny model do obliczeń numerycznych (rys. 1.) i zamodelowano warunki przepływu w wybranych elementach rurociągów. Na podstawie uzyskanych w badaniach numerycznych rozkładów prędkości oraz naprężeń ścinających określono obszary w ww. elementach, w których występują potencjalnie niekorzystne warunki dla procesu mycia w przepływie. W pierwszej kolejności zaprezentowano wyniki badań numerycznych dla kolanek rurociągów, trójkątów i ślepych końcówek (rys. 2, 3, 4, 5), a następnie wskazano w powyższych elementach obszary mogące nie domywać się w standardowej procedurze mycia w CIP (rys. 6).

Kolanka rurociągu

Rozkład linii prądu
i wektorów prędkości

Rozkład ciśnień

Rozkład naprężeń ścinających

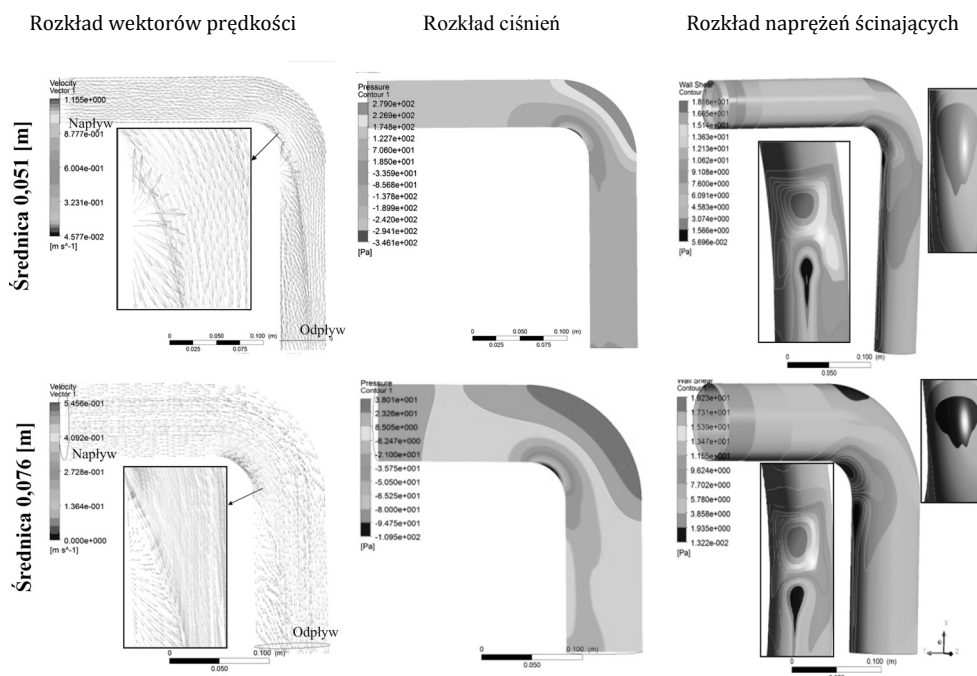


Rysunek 2. Wyniki badań numerycznych dla kolanek rurociągów
Figure 2. Results of numerical tests for pipelines elbows

Z przeprowadzonych badań numerycznych dla kolanek, wynika, że największe prędkości przepływu i duży gradient prędkości występują na wewnętrznym promieniu kolanka. Najmniejsze prędkości występują poniżej zakrzywienia oraz na promieniu zewnętrznym. W tych miejscach występują też małe gradienty prędkości. Analiza wektorów prędkości przepływu oraz linii prądu pozwala twierdzić, że najbardziej niekorzystnym obszarem jest powierzchnia rury poniżej wewnętrznego zakrzywienia. Następuje tu oderwanie strumienia płynu, zmiany kierunku przepływu i tworzą się zawirowania niesprzyjające procesom mycia. Prędkości przepływu w tych miejscach spadają do wartości bliskiej $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, spadają również naprężenia ścinające, których wartość wynosi $\approx 0,009 \text{ Pa}$. Rozkład ciśnień w badanym modelu wskazuje, że największe wartości ciśnienia występują na zewnętrznej krawędzi kolanka i maleją wraz ze zbliżaniem się do wewnętrznej krawędzi kolanka. Ciśnienia należy odczytywać jako przyrosty w odniesieniu do ciśnienia referencyjnego wynoszącego $P_r = 1 \text{ atm}$.

Kolejne badania prowadzono dla kolanek o średnicy przekroju $d=0,051 \text{ m}$ oraz $d=0,076 \text{ m}$. Wyniki obliczeń symulacyjnych przedstawiono na rysunku 3.

Wyniki obliczeń numerycznych przepływu, w postaci rozkładu pól prędkości, dla kolejnych modeli obrazują, że największe prędkości uzyskiwane są na wewnętrznym promieniu kolanka. Przy założonych wartościach natężenia przepływu cieczy widać zmianę wartości prędkości wynikającą ze zwiększonej średnicy. I tak, podczas gdy dla kolanka o średnicy $d=0,038 \text{ m}$ maksymalne wartości prędkości przepływu na wewnętrzny zakrzywieniu przyjmowały wartość $u=1,97 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ to dla średnicy $d=0,051 \text{ m}$ przyjmują wartość $u=1,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a dla średnicy $d=0,076 \text{ m}$ wynoszą już tylko $u=0,54 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



Rysunek 3. Wyniki badań numerycznych dla kolanek rurociągów o różnej średnicy
 Figure 3. Results of numerical tests for pipelines elbows of various diameter

Dla tych samych modeli przeprowadzono symulacje zwiększając początkowe masowe natężenia przepływu do $m=3 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ $m=6 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. Uzyskane wyniki nie wniosły jednak nic nowego. Nie zaobserwowano istotnych zmian charakteru przepływu w analizowanych modelach, poza wynikowymi wartościami prędkości przepływu. Relatywnie dla wartości o większym masowym natężeniu przepływu uzyskano większe wartości prędkości przepływu – dla mniejszych, wartości mniejsze. Dlatego też w dalszych badaniach nie uwzględniano już tego czynnika i skupiono się wyłącznie na geometrii badanego elementu.

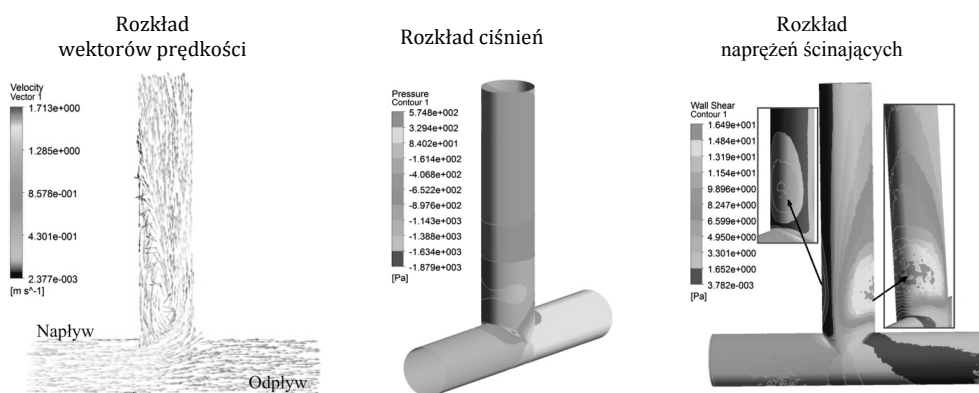
Na podstawie uzyskanych wyników badań numerycznych w kolanku wskazano dwa obszary o najgorszych warunkach mycia. Są to: powierzchnia poniżej wewnętrznego łuku kolanka oraz powierzchnia na łuku zewnętrznym (rys. 6).

Trójkniki

Wyniki obliczeń numerycznych dla trójkników wskazują, że największe prędkości przepływu uzyskiwane są na ścianie zewnętrznej, znajdującej się prostopadle do kierunku napływu cieczy. Gwałtowna zmiana kierunku ruchu przepływającej cieczy powoduje powstawanie niekorzystnych zawirowań na ścianie trójknika przy napływie. W tym miejscu, na skutek obniżonych wartości prędkości przepływu ($u \approx 0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), należy spodziewać się zalegania warstw zanieczyszczeń i niekorzystnych warunków mycia. Obniżone wartości prędkości przepływu w analizowanym trójkniku następują również na wylotach z rurociągu. Z początkowej wartości $u=1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ prędkość przepływu spada do wartości ok. $u=0,1\div 0,3$

$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Wynika to z rozdzielenia cieczy. Nie następują tu zawirowania płynu, ale podstawowy warunek procesu mycia w przepływie, czyli ruch turbulentny, jest spełniony tylko w minimalnym stopniu. Dla prędkości przepływu na wylocie liczba Re wynosi $Re \approx 6000 \div 19\,000$, a więc występuje laminarny charakter przepływu. Powoduje to znaczne obniżenie naprężeń ścinających.

Największe wartości naprężeń ścinających dla trójnika uzyskano w miejscach, gdzie występują największe wartości prędkości przepływu, czyli na prawej ścianie rozgałęzienia. Na tej podstawie w trójniku wyznaczono trzy miejsca mogące nie domywać się w czasie mycia w przepływie. Są to lewa ściana rozgałęzienia trójnika i górna powierzchnia rurociągu za rozgałęzieniem (rys. 6).

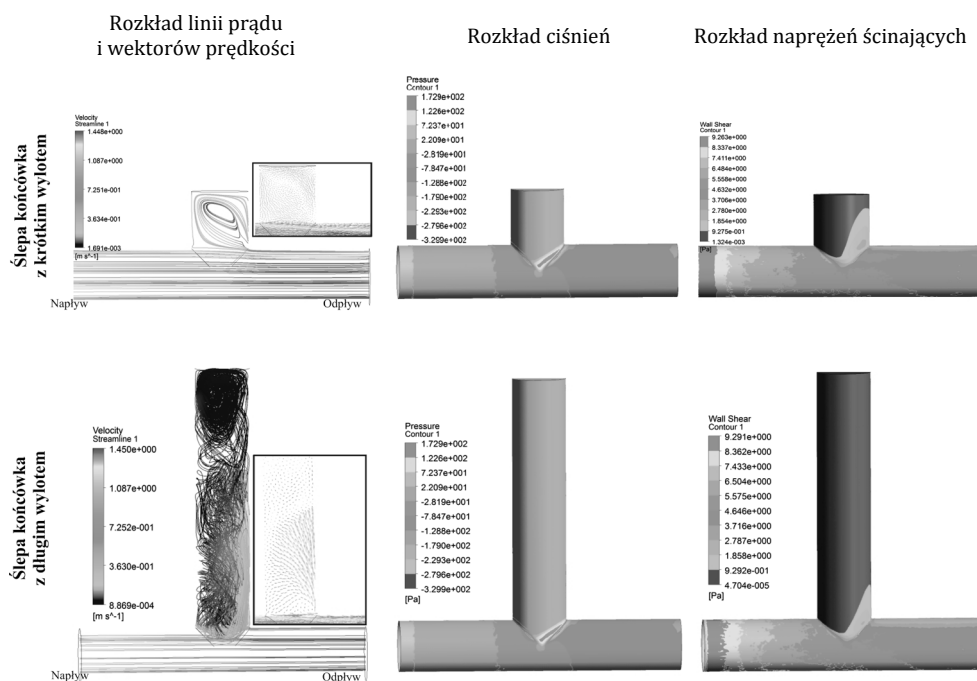


Rysunek 4. Rozkład torów przepływu i wektorów prędkości przepływu, ciśnień i naprężeń ścinających w trójniku

Figure 4. Distribution of flow tracks and flow velocity, pressures and shear stress vectors in a T-connector

Ślepe końcówki

W przypadku ślepych końcówek następują zawirowania cieczy wynikające z jej napływu do wolnych przestrzeni. Z badań numerycznych wynika, że w długich zaślepionych rurociągach występują nawet zastoiny. Spadek prędkości przepływu mediów w powstałych kieszeniach jest przyczyną zalegania w nich zarówno produktów, jak i mediów myjących, szczególnie wówczas gdy są one skierowane do dołu. Należy zatem szczególnie unikać takich rozwiązań. Natomiast w ślepych końcówkach skierowanych do góry należy spodziewać się utrudnionego dostępu środków myjących, co będzie powodować, że nagromadzone tam osady nie będą wmywane i będą stanowić idealne miejsce dla rozwoju mikroflory. Obecność ślepej końcówki powoduje również, że na przedłużeniu rurociągu (prawa strona rury), na jej górnej krawędzi, następuje spadek prędkości przepływu do wartości $u=0,5\div0,7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, czyli o połowę. Miejsce to również może być niedomywane. Największe wartości naprężeń ścinających w ślepych końcówkach występują przy napływie cieczy. Wyniki badań numerycznych wskazują również, że korzystniej jest stosować krótkie ślepe końcówki. Obszary uznane za potencjalne zagrożenie w procesach mycia w przepływie (rys. 6).

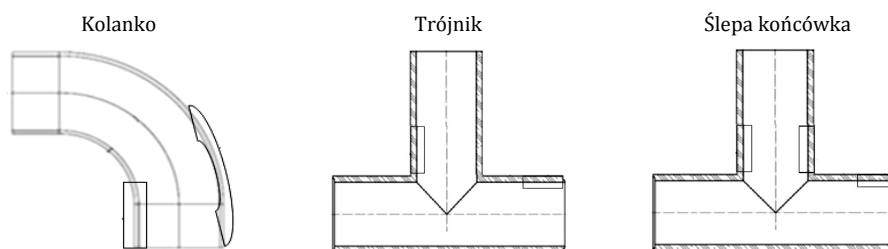


Rysunek 5. Rozkład torów przepływu i wektorów prędkości przepływu, ciśnień i naprężeń ścinających w ślepych końcówkach rurociągu

Figure 5. Distribution of flow tracks and flow velocity, pressures and shear stress vectors in blind endings of pipelines

Wyniki analiz badań numerycznych w postaci miejsc w wybranych elementach rurociągów, w których wykazano zmienne i niekorzystne warunki przepływu na procesie mycia w systemie CIP, przedstawiono na rysunku 6.

Miejsca narażone na niedomycie



Rysunek 6. Miejsca w badanych elementach rurociągów narażone na niedomycie

Figure 6. Spots in the tested elements of pipelines exposed to undercleaning

Podsumowanie

Przekrój kanału przepływowego danego urządzenia czy instalacji ma istotny wpływ na hydrodynamiczne warunki przepływu cieczy, a tym samym – na warunki mycia w systemie CIP. W zależności od jego kształtu zaobserwowano występowanie zmiennych profili prędkości oraz rozkładów ciśnień, a co za tym idzie, zmiennych lokalnych naprężeń ścinających. W odniesieniu do warunków mycia może to wpłynąć na zróżnicowany stopień czystości poszczególnych powierzchni tych elementów w standardowej procedurze CIP.

Przepływ cieczy w przemysłowych instalacjach transportujących w układzie zamkniętym uniemożliwia zlokalizowanie w rurach obszarów narażonych na niedomycie. Przeprowadzenie numerycznych obliczeń komputerowych pozwala na wyznaczenie tych newralgicznych obszarów instalacji. Uzyskane rozkłady prędkości wskazują, że istnieje wyraźne zróżnicowanie wartości prędkości przepływu w analizowanych modelach, jak również zróżnicowanie prędkości przepływu w poszczególnych obszarach elementów rurociągów. Biorąc pod uwagę wartość prędkości początkowej, różnice w prędkościach przepływu sięgają $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ w przypadku kolanek, a nawet blisko $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, co ma miejsce przypadku ślepych końcówek. Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że powierzchnie kolanek i trójników najtrudniej myją się na wewnętrznych łukach. Natomiast ślepe końcówki stanowią kieszenie, w których występują zastoiny cieczy i jeśli istnieje konieczność ich stosowania, to należy używać możliwie krótkich ślepych końcówek. Ponadto ilość tego typu elementów w instalacjach transportujących powinna być możliwie jak najmniejsza.

Obliczenia CFD są innowacyjnym narzędziem stosowanym do rozwiązywania zagadnień inżynierskich. W przypadku przeprowadzonych badań pozwoliły one uzyskać informacje na temat rozkładów prędkości przepływającej cieczy w przestrzeniach rurowych o różnym ukształtowaniu powierzchni. Uzyskane rozkłady prędkości, ciśnienia i naprężeń ścinających, wskazują na zmienny charakter przepływu w tych elementach, w wyniku czego w kanałach przepływowych następuje nierównomierne rozprowadzenie cieczy.

Literatura

- Bansal, B.; Chen, X.D. (2005). Fouling of heat exchangers by dairy fluids – a review. *Heat Exchanger Fouling and Cleaning - Challenges and Opportunities* RP2 (23).
- Blél, W.; Benezech, T.; Legentilhomme, P.; Legrand, J.; Le Gentil-Lelievre, C. (2007). Effect of flow arrangement on the removal of *Bacillus* spores from stainless steel equipment surfaces during a Cleaning In Place procedure. *Chemical Engineering Science*, 62, 3798-3808.
- Bogusławski, A.; Drobnik, S.; Tyliczek, A., (2008). Turbulencja – od losowości do determinizmu. *Modelowanie Inżynierskie*, (5)T.36, 41-48.
- de Jong, P.; Te Giffel, M. C.; Straatsma, H.; Vissers, M. M. M. (2002). Reduction of fouling and contamination by predictive kinetic models. *International Dairy Journal*, 12, 285-292.
- Diakun, J. (2013) Review, scheme and cleaning methods analysis. *Polish Journal of Food Engineering* 1/4-2013(5), 5-10. <http://ips.wm.tu.koszalin.pl/>
- Diakun, J.; Piepiórka, J.; Bil, T. (2010). Polioptymalizacja warunków mycia rurociągów. *Postęp w Inżynierii Żywności*, 546, 69-76.
- Elsner, J.W., (1987). *Turbulencja przepływów*. Warszawa, Wydawnictwo PWN, ISBN: 83-01-0613-4
- Grasshoff, A., (1992). Hygienic design: the basis for computer controlled automation. *Food and Bioprocesses Processing. Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, C 70, 69-77.

- Gryboś, R. (1989). *Podstawy mechaniki płynów*. PWN, Warszawa, ISBN: 83-01-08037-X
- Hermanowicz, S.W., Danielson, R.E., Cooper, R.C. (1989). Bacterial deposition on and detachment from surfaces in turbulent flow. *Biotechnology and Bioengineering*, 33, 157-163.
- Jensen, B.B.B; Friis, A.; Bénézec, T.; Legentilhomme, P.; Lelièvre, C. (2005). Local wall shear stress variations predicted by computational fluid dynamics for hygienic design. *Food and Bioprocess Processing. Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, C 83(1), 1-8, DOI.10.1205/fbp.04021.
- Kazimierski, Z., (2004). *Podstawy mechaniki płynów i metod komputerowej symulacji przepływów*. Łódź, Politechnika Łódzka, ISBN: 8372831335.
- Lelievre, C.; Legentilhomme, P.; Gaucher, C.; Legrand, J.; Faille, C.; Bénézec, T. (2002a). Cleaning in place: effect of local wall shear stress variation on bacterial removal from stainless steel equipment. *Chemical Engineering Science*, 57(8), 1287-1297, DOI 10.1016/S0009-2509(02)00019-2.
- Lelievre, C.; Antonini, G.; Faille, C.; Bénézec, T. (2002b). Cleaning-in-place, modeling of cleaning kinetics of pipes soiled by Bacillus spores assuming a process combining removal and deposition. *Food and Bioprocess Processing, Transactions of The Institution of Chemical Engineers*, C 80(4), 305-311, DOI.10.1205/096030802321154826
- Mierzejewska, S.; Diakun, J.; Piepiórka-Stepuk J.; Zając M. (2013). Skuteczność mycia w systemie CIP wybranych elementów instalacji przesyłowych. *Nauki Inżynierskie i Technologie*, 3, 70-79.
- Piepiórka, J.; Mierzejewska, S. (2009). Instalacje rurowe – mycie w obiegu zamkniętym. *Przemysł Spożywczy*, 11, 29-32.
- Rahaman, M.F.; Bari, S.; Veale, D. (2008). Flow investigation of the product fill valve of filling machine for packaging liquid products. *Journal of Food Engineering*, 85, 252-258.

SIMULATION TESTS OF LIQUID FLOW IN THE PIPELINE ELEMENTS

Abstract. The paper presents research results concerning the use of commercial software used for calculations in the fluid mechanics. With the use of numerical methods of CFD in the selected elements of pipe installations, pressure, speed and shear stress distribution on their walls were presented and analysed in the aspect of cleaning conditions in the CIP system. The tests which were carried out constitute part of the tests concerning conditions of cleaning installations of production installations financed from the research subsidy. The obtained research results have an interdisciplinary character whereas their interpretation with reference to the cleaning conditions confirms rightness of using the CFD method for forecasting and hygienic modelling of food industry devices.

Key words: pipelines, cleaning in the CIP system, CFD calculations