

JAROSŁAW DIAKUN  
JOANNA PIEPIÓRKA

Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska, Koszalin

## Warunki mycia metodą CIP kolanek rurociągu instalacji produkcyjnej

### Wstęp

Systemy rurociągów są niezbędne w procesach przetwórstwa spożywczego. Służą one do transportu płynnych produktów pomiędzy poszczególnymi urządzeniami produkcyjnymi. Instalacje transportowe cieczy to sieć rur, często z dużą ilością łuków, przewężeń, rozgałęzień oraz zaworów. Ich obecność powoduje zawirovania płynącego medium oraz spadki ciśnienia wynikające z miejscowych oporów i tarcia [1, 3]. Występujące odchylenia od prostoliniowego przepływu strumienia nie mają istotnego znaczenia dla procesu produkcji, jednak negatywnie wpływają na skuteczność procesów mycia. Warunkiem decydującym o skuteczności mycia rurociągów jest całkowite wypełnienie mytego przewodu medium myjącym oraz przepływ turbulentny. Nie bez znaczenia jest również temperatura medium myjącego, substancja aktywna zawarta w środkach chemicznych oraz czas mycia. W odpowiednio dobranych warunkach następuje odrywanie cząsteczek zanieczyszczeń od mytej powierzchni i ich odprowadzenie z nośnikiem poza mytą instalację [5]. Kolanka rurociągów są jednym z miejsc, które stanowią krytyczny punkt kontrolny w procesie higienizacji przewodów transportujących.

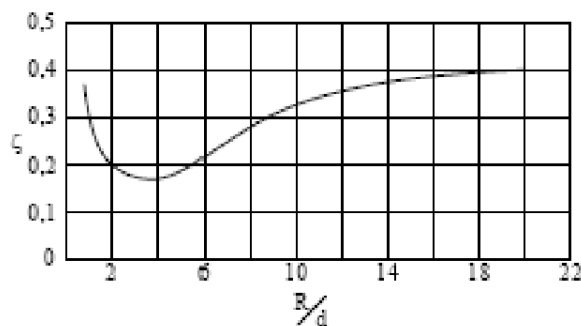
### Cel badań

Prowadzone badania mają określić poszukiwanie warunków oddziaływania czynników mechanicznych w procesie mycia rurociągów. Celem pracy jest analiza warstwy przyściennej płynu, rozkład prędkości i ciśnienia przepływu w zakrzywionym przewodzie rurowym oraz zdefiniowanie miejsc stanowiących zagrożenie dla skutecznego mycia.

### Metodyka badań

Badania symulacyjne przeprowadzono metodą elementów skończonych (MES) w środowisku ANSYS FLOTRAN dla kolanek o różnym promieniu zakrzywienia i jednakowej średnicy 35 mm. Stosunek promienia krzywizny  $R$  do średnicy  $d$  po osi rurociągu dla trzech przypadków wyniósł 1)  $R_1/d = 2,49$ , 2)  $R_2/d = 1,49$ , 3)  $R_3/d = 0,5$ . Z doniesień literatury wynika, że najmniejsze straty wywołane oderwaniem płynu od ścianek przewodu występują dla kolanek o stosunku  $R/d \approx 2,8$  (Rys. 1) [2]. Założono prędkość przepływu medium 2,5 m/s. Nośnik stanowiła woda o temp. 50°C i lepkości dynamicznej 0,00056 kg/ms. Objętościowe natężenie przepływu wyniosło 2,5 l/s natomiast liczba *Reynoldsa* 79657,5, co określa turbulentny charakter zjawiska. Przyjęto chropowatość powierzchni  $Ra = 0,4 \mu\text{m}$ .

Na stanowisku badawczym, przeprowadzono obserwację skuteczności mycia dla kolanka nr1, poddając je procesowi mycia w systemie CIP. Stanowisko badawcze (Rys. 2) wyposażone jest w urządzenia kontrolno-pomiarowe, umożliwiające pomiar: ciśnienia, temperatury, prędkości przepływu,



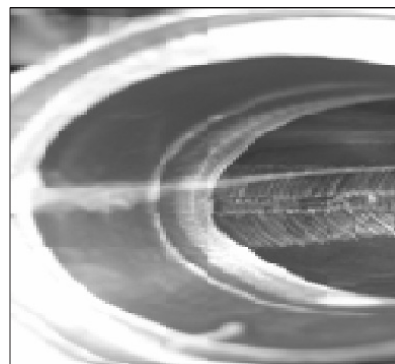
Rys. 1. Zależność współczynnika strat  $\zeta$  od  $R/d$  w przepływie przez kolanko [2]



Rys. 2. Stanowisko do mycia w systemie CIP

przewodności, zmętnienia a także zużycia energii przez cały układ myjący [4].

Kolanko rurociągu brudzono poprzez zanurzenie do połowy w gorącym mleku o temp bliskiej 80°C i przez ok. 20 min. Na granicy zabrudzenia powstał widoczny osad kompleksu białkowo-tłuszczowego zwany powszechnie kożuszką, mocno związany z powierzchnią i trudny do umycia [4] (Rys. 3). Zabrudzony element instalowano w układ i prowadzono proces mycia zgodny z parametrami, dla których przeprowadzono symulacje

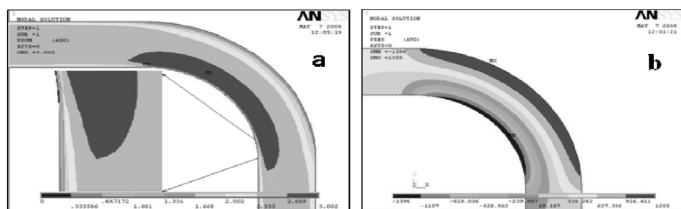


Rys. 3. Element kontrolny ze śladami zabrudzenia mlekiem

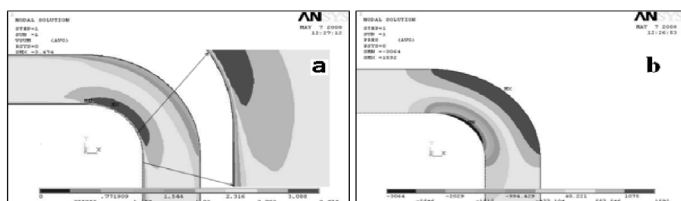
komputerowe. Czas cyrkulacji medium w obiegu zamkniętym był tak dobrany, aby pozostawiał ślady niedomycia i wynosił 10 min. Skuteczność mycia oceniona została wizualnie.

### Analiza wyników obliczeń symulacyjnych

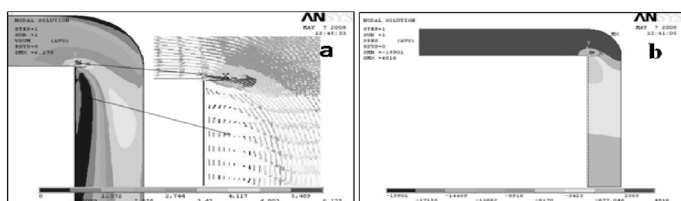
Wyniki obliczeń symulacyjnych przepływu, w postaci pól rozkładu prędkości i ciśnienia zobrazowano na rys. 4–6.



Rys. 4. Rozkład a) pól prędkości i b) ciśnienia w kolanku o stosunku  $R/d = 2,49$



Rys. 5. Rozkład a) pól prędkości i b) ciśnienia w kolanku o stosunku  $R/d = 1,49$



Rys. 6. Rozkład a) wektorów prędkości i b) pól ciśnienia w kolanku o stosunku  $R/d = 0,5$

W przeprowadzonych symulacjach komputerowych warunków przepływu w kanałach zakrzywionych nie obserwuje się zjawiska meandrowania cieczy. Powodem tego może być całkowite wypełnienie kanału jednorodnym płynem oraz brak różnicowania oddziaływania sił odśrodkowych ze względu na jednorodne medium.

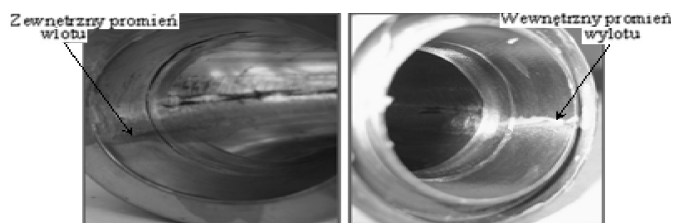
Największe prędkości przepływu medium występują w pobliżu wewnętrznego promienia kolanka (duży gradient prędkości) natomiast mniejsze blisko zewnętrznego (mały gradient prędkości). Na obrazach wyników symulacji widać również oderwanie strumienia płynu przy wyjściu z kolanka. W kolanku o stosunku  $R/d = 0,5$  (Rys. 6) zaobserwowano zaburzenie przepływu wywołujące powstanie wirów i obszaru podciśnienia.

Największe ciśnienia występują blisko zewnętrznego promienia kolanek. Jest to efekt uderzenia strumienia cieczy. Natomiast w pobliżu wewnętrznego promienia obserwuje się spadki ciśnienia do podciśnień.

Analizując uzyskane wyniki symulacji pod kątem warunków mycia w przepływie, można przypuszczać, że korzystne są miejsca o dużych gradientach prędkości (wewnętrzny promień zakrzywienia), natomiast miejsca, w których obserwuje się oderwanie strumienia płynu od ścianki można uznać za krytyczne i narażone na niedomycie. Obserwowane małe prędkości przepływu na zewnętrznym promieniu zakrzywienia rekompensowane są dużym uderzeniem ciśnienia, niekorzystne natomiast mogą być również miejsca na wejściu i wyjściu z układu, w których ciśnienia gwałtownie maleją.

### Wyniki badań skuteczności mycia

Badania eksperymentalne były tak prowadzone, aby uzyskać częściowe wymycie powierzchni z widocznymi śladami niedomycia. Występujące zbrudzenia pozwoliły zidentyfikować miejsca o niekorzystnych warunkach przepływu. Niedomyte resztki zabrudzeń w postaci kompleksu białkowo-lipidowego, mocno związanego z powierzchnią, pozostawały na włocie na ścianie zewnętrznego promienia i wylocie z kolanka na wewnętrznym promieniu. Osad widoczny był gołym okiem.



Rys. 7. Przykład rezultatu próby umycia. Strzałki wskazują miejsca trudne do umycia

### Wnioski

1. Warunki przepływu w przewodach zakrzywionych w istotny sposób zależą od ich geometrii.
2. Największa prędkość przepływu w kolankach rurociągów występuje w pobliżu wewnętrznego promienia przewodu.
3. Największe ciśnienie podczas przepływu przez kolanko rurociągu występuje w pobliżu zewnętrznego promienia przewodu, natomiast blisko promienia wewnętrznego tworzą się podciśnienia.
4. Obserwuje się oderwanie strugi przy wyjściu w pobliżu wewnętrznego promienia, co objawia się występowaniem podciśnień w tej strefie.
5. Miejsca najbardziej narażone na niedomycie w procesie mycia w przepływie to zewnętrzne ściany na wlocie do kolanek rurociągu oraz wewnętrzne ściany na wylocie. Potwierdziły to wyniki eksperymentalnego mycia na stanowisku badawczym.

### LITERATURA

1. C. Lelievre i in.: Chemical Engineering Science, **57**, 1287 (2002).
2. K. Jeżowiecka, H. Szewczyk, Mechanika płynów, Wrocław, OWPW, 2000.
3. H.L.M. Lelieveld i in.: Hygiene in food processing. England, Woodhead publishing Ltd, 2003.
4. J. Diakun, S. Mierzejewska: Inż. i Ap. Chem., **44**, nr 1-2, 33 (2005).
5. B.B. Jansen i in.: Trends in Food Science & Technology, **18**, (2007).