

WYZNACZANIE PARAMETRÓW PRZEPŁYWU CIECZY W PŁASZCZU CHŁODZĄCYM ZBIORNIKA CIŚNIENIOWEGO

Jerzy Domański

Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Przedstawiono metodę numerycznego wyznaczania parametrów przepływu cieczy w płaszczu chłodzącym zbiornika ciśnieniowego. Kształt płaszcza chłodzącego z wymiarem grubości o dwa rzędy mniejszym od pozostałych wymiarów sprawia, że obszar obliczeniowy jest trudny do dyskretyzacji za pomocą uniwersalnych algorytmów. Na potrzeby obliczeń wykonano model 3D płaszcza w systemie CAD. Obliczenia przeprowadzono przy wykorzystaniu popularnego inżynierskiego systemu CAE. Wyniki obliczeń pozwoliły na określenie rozkładu prędkości i ciśnienia w wybranych przekrojach przestrzeni roboczej płaszcza chłodzącego.

Słowa kluczowe: płaszcz chłodzący, zbiornik ciśnieniowy, numeryczne wyznaczanie przepływów

Wprowadzenie

Pojęcie „zbiornik” obejmuje swym zakresem szereg różnorodnych konstrukcji. Zbiornikiem nazywamy zarówno podziemne konstrukcje o objętości rzędu 5 000 m³ służące do magazynowania paliw płynnych, zbiorniki transportowe, jak również urządzenia procesowe wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu. Niniejsza praca dotyczy przede wszystkim zbiorników będących elementami linii technologicznych, wykorzystywanych głównie w przemyśle chemicznym, farmaceutycznym, kosmetycznym i spożywczym. Ich objętość zawiera się najczęściej w przedziale od kilku do kilkudziesięciu metrów sześciennych. Ze względu na funkcję, jaką pełnią w procesach technologicznych mogą to być zbiorniki magazynowe, bufory, mieszalniki, reaktory, mateczniki, filtry itp.. Ze względu na procesy fizyczne i chemiczne zachodzące wewnątrz takich urządzeń, bardzo często wymaga się, aby ich konstrukcja umożliwiała występowanie wewnętrznego nadciśnienia.

Projektowanie, wytwarzanie i ocena zgodności urządzeń ciśnieniowych wprowadzanych do użytku na terenie Unii Europejskiej podlega Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 97/23/WE z dnia 29 maja 1997 roku w sprawie zbliżania przepisów prawnych państw członkowskich dotyczących urządzeń ciśnieniowych. Dyrektywa ta ma na celu zapewnienie swobodnego przepływu urządzeń ciśnieniowych w Unii Europejskiej poprzez określenie wymagań, niezbędnych do utrzymania zadowalającego poziomu ich bezpieczeństwa.

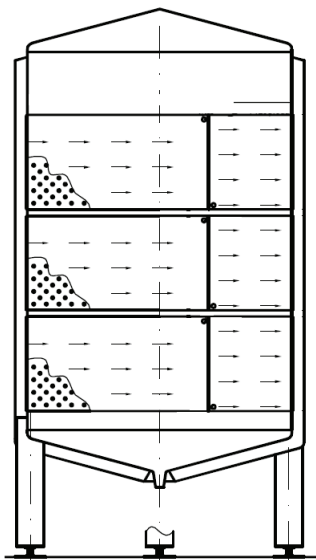
Cel pracy

Płaszcz chłodzący są częstym elementem konstrukcyjnym urządzeń przemysłu spożywczego. Konstrukcja płaszcza chłodzącego charakteryzuje się proporcjonalnie małym wymiarem grubości w stosunku do średnicy zbiornika i wysokości płaszcza. Ponadto względy wytrzymałościowe powodują wprowadzenie dodatkowych elementów konstrukcyjnych w obszar roboczy [Konopko 1998]. Taka budowa sprawia, że ciecz w płaszczu chłodzącym napotyka na duże opory przepływu. Istotne znaczenie ma zatem wyznaczanie natężenia przepływu w poszczególnych obszarach przestrzeni roboczej płaszcza w tym wykrycie obszarów tzw. „martwych”, przez które ciecz nie przepływa a jedynie wypełnia przestrzeń.

Badaniom poddano zbiornik ciśnieniowy z trójdzielnym płaszczem chłodzącym (rys. 1). W pracy skupiono się na rozwiązaniu zadania z zastosowaniem oprogramowania inżynierskiego, w którym nacisk położono na znajomość zjawiska fizycznego przy mniejszej znajomości metod numerycznych. Model płaszcza powstał w typowym programie CAD a obliczenia zostały przeprowadzone w programie pracującym w środowisku CAD. Prosta metoda tworzenia siatki obliczeniowej umożliwia dyskretyzację przestrzeni obliczeniowej w oparciu o jeden algorytm bez względu na geometrię modelu.

Do wyznaczenia parametrów przepływu zastosowano metodę elementów skończonych związaną z metodami aproksymacyjnego rozwiązywania równań różniczkowych [Łodygowski i in. 2003; Rakowski i in. 2005].

Celem obliczeń było wyznaczenie rozkładu ciśnienia na ścianach płaszcza chłodzącego i rozkładu prędkości cieczy w całym obszarze obliczeniowym oraz w trzech wybranych przekrojach płaszcza.



Rys. 1. Schemat trójdzielnego płaszcza chłodzącego
Fig. 1. Scheme of cooling jacket divided into three parts

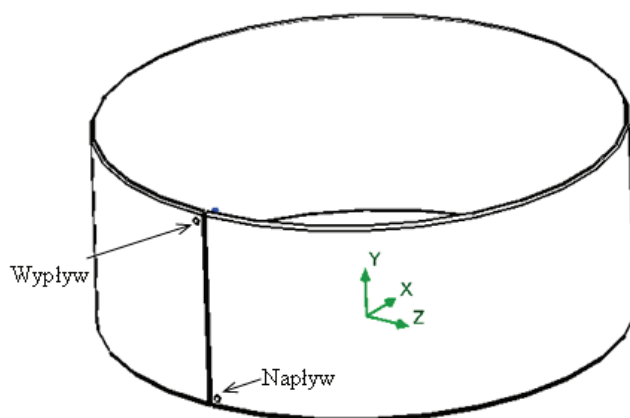
Model obliczeniowy

Obliczenia wykonano na bazie rzeczywistego płaszcza chłodzącego w skali 1:1, w którym kąt napływu i wypływu cieczy w stosunku do jej kierunku przepływu w płaszczu wynosi 90° .

Założono następujące warunki brzegowe:

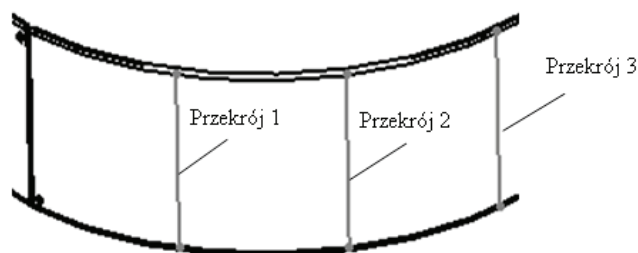
1. Napływ: $5 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$,
2. Wypływ: otwarcie ciśnieniowe 101325 Pa ,
3. Temperatura 20° C ,
4. Kierunek grawitacji: - Y

Usytuowanie napływu i wypływu cieczy w modelu obliczeniowym płaszcza chłodzącego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Usytuowanie napływu i wypływu cieczy
Fig. 2. Fluid inlet and outlet location

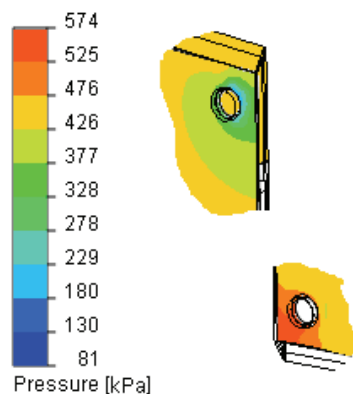
W celu porównania rozkładów prędkości i ciśnienia zdefiniowano przekroje w płaszczyznach co 30° od płaszczyzny osadzenia króćca napływu (rys. 3). Przekroje znajdują się w środku grubości przestrzeni roboczej.



Rys. 3. Definicja przekrojów
Fig. 3. Definition of cutplanes

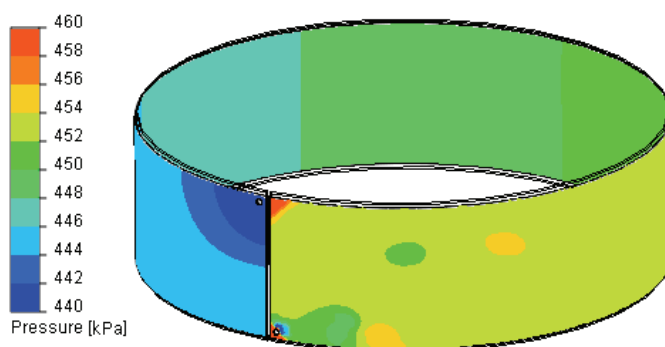
Wyniki obliczeń

Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach 4÷8. Najwyższe ciśnienie o wartości 574 kPa występuje w miejscu napływu cieczy do płaszcza chłodzącego, najniższe zaś o wartości 81 kPa w miejscu wypływu (rys. 4).



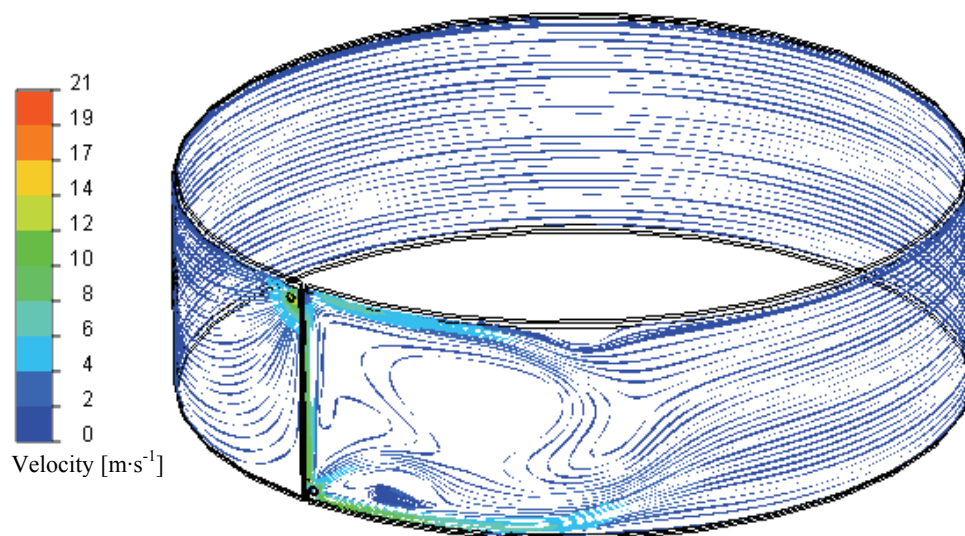
Rys. 4. Ciśnienie na napływie i wypływie
Fig. 4. Pressure in inlet and outlet

Tak duże różnice ciśnienia dotyczą stosunkowo małej powierzchni płaszcza poniżej 1% i tylko w obrębie napływu i wypływu cieczy. Różnica ciśnienia w pozostałej, zasadniczej części płaszcza zawiera się w przedziale 440÷460 kPa. Widać to na rysunku 5, na którym przedstawiono rozkład ciśnienia na ścianie wewnętrznej płaszcza tylko dla podanego wyżej przedziału. Ograniczenie przedziału ciśnienia miało przede wszystkim na celu poprawę czytelności rysunku 5.



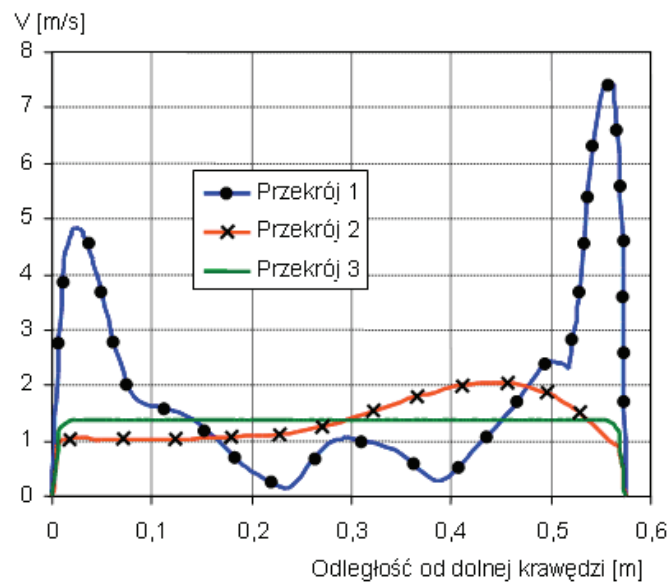
Rys. 5. Ciśnienie na ścianie wewnętrznej
Fig. 5. Pressure on the inside wall

Układ trajektorii ruchu cząstek cieczy w środku grubości płaszcza, przedstawiony na rysunku 6 wskazuje, że obszarze napływu cieczy do płaszcza powstają wiry, które dotyczą ok. 20% jego powierzchni. Największe różnice w prędkości przepływu cieczy dochodzące do $21 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ zaobserwować można w obrębie napływu i wypływu cieczy z płaszcza. Na pierwszym planie tego rysunku widać obszar, w którym prędkość przepływu cieczy jest zerowa.

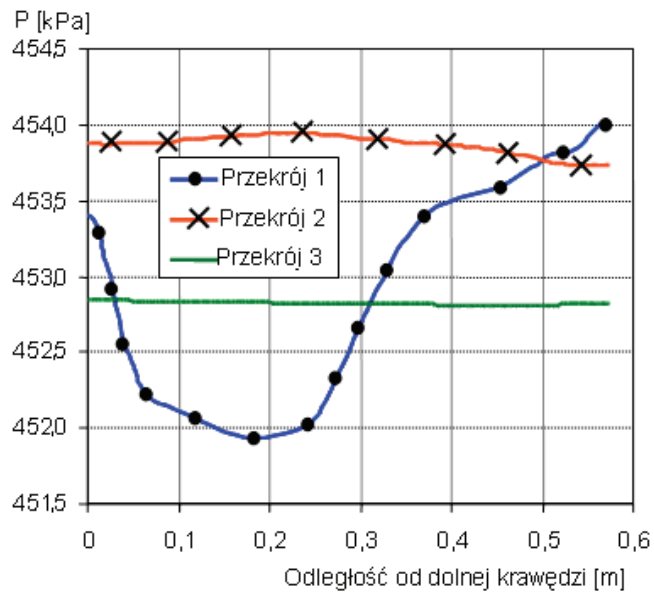


Rys. 6. Trajektorie ruchu cząstek cieczy z rozkładem prędkości
 Fig. 6. Flowpaths with velocity diagram

Z rozkładu prędkości i ciśnienia w zdefiniowanym na rysunku 3 przekroju 1 widać duże różnice w prędkości przepływu cieczy wynoszące ponad $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (rys. 7) przy zmianach ciśnienia 2 kPa (rys. 8). W przekroju 2 zakres zmian prędkości cieczy jest mniejszy i wynosi ok. $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ przy praktycznie niezauważalnej różnicy ciśnienia W przekroju 3. przebieg krzywych świadczy o ustabilizowanym laminarnym przepływie cieczy – w tym przekroju nie obserwuje się różnic w prędkości i ciśnieniu.



Rys. 7. Rozkład prędkości w zdefiniowanych przekrojach
 Fig. 7. Velocity distribution in defined cutplanes



Rys. 8. Rozkład ciśnienia w zdefiniowanych przekrojach
 Fig. 8. Pressure distribution in defined cutplanes

Wnioski

1. Maksymalne ciśnienie cieczy w miejscu napływu do płaszcza chłodzącego (575 kPa) jest 7-krotnie wyższe od ciśnienia w miejscu jej wypływu (81 kPa). Duże różnice w ciśnieniu cieczy dotyczą powierzchni płaszcza poniżej 1%. W pozostałej części płaszcza różnice w ciśnieniu cieczy są dużo mniejsze i zawierają się w przedziale od 440 do 460 kPa.
2. W początkowej części obejmującej ok. 20% powierzchni płaszcza chłodzącego powstają wiry, i związane z tym duże różnice ciśnienia i prędkości przepływu cieczy.
3. Uzyskane wyniki upoważniają do podjęcia dalszych prac nad minimalizacją obszaru przepływu cieczy z ruchem wirowym.

Bibliografia

- Konopko H.** 1998. Podstawy konstruowania urządzeń przemysłu chemicznego i spożywczego. Wyd. Politechniki Białostockiej. Białystok. s. 25-40.
- Łodygowski T., Kąkol W.** 2003. Metoda elementów skończonych w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji inżynierskich. Alma Mater. Poznań. s. 42-59.
- Rakowski G., Kacprzyk Z.** 2005. Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa. s. 10-32.

CALCULATION OF LIQUID FLUID FLOW PARAMETERS IN PRESSURE TANK COOLING JACKET

Summary. In the article method of calculation of fluid flow parameters in pressure tank cooling jacket was presented. The shape of cooling jacket is difficult to discretize because of its thickness which order of magnitude is two times smaller than other dimensions. The 3D model of cooling jacket was built using CAD system. Calculations were done using popular engineering CAE system. Calculation results allowed to obtain distribution of pressure and velocity in previously defined cut-planes.

Key words: cooling jacket, pressure tank, numerical calculation of flows

Adres do korespondencji:

Jerzy Domański; e-mail: jerzy.domanski@uwm.edu.pl
Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
ul. Oczapowskiego 11
10-736 Olsztyn