

Zadanie 2

Przepływ wody przez zawór impulsowy tarana wodnego

Cele ćwiczenia: Celem ćwiczenia jest utrwalenie podstawowych elementów procesu modelowania numerycznego przepływów płynów z wykorzystaniem programu **ANSYS Fluent**, ze szczególnym uwzględnieniem:

- monitorowania sił hydrodynamicznych działających na wybrany element geometrii, z odniesieniem do wyników badań eksperymentalnych,
- tworzenia izo-powierzchni oraz ich wykorzystania w wizualizacji wyników symulacji,
- wizualizacji pól skalarnych i wektorowych oraz linii prądu,
- tworzenia scen wizualizacyjnych i zapisywania ich do plików graficznych,
- korzystania z funkcji użytkownika (User Defined Functions, UDF), w tym kompilacji plików źródłowych w języku C.

Opis zadania: Należy wykonać model numeryczny przepływu wody przez wnętrze zaworu impulsowego tarana wodnego o zadanej geometrii, zgodnie z danymi przedstawionymi w Tab. 1. Parametry fizyczne płynu należy przyjąć zgodnie z domyślnymi wartościami zawartymi w bazie materiałów programu ANSYS Fluent, natomiast warunki brzegowe na wlocie i wylocie zostaną określone w dalszej części instrukcji. Celem symulacji jest wyznaczenie siły naporu hydrodynamicznego działającej na grzybek zaworu w końcowej fazie etapu przyspieszania przepływu.

Tabela 1. Zestawienie danych niezbędnych do wykonania zadania

parametr	wartość
rodzaj płynu	woda
gęstość wody	wartość domyślna z bazy materiałów Fluent
lepkość wody	wartość domyślna z bazy materiałów Fluent
prędkość wody na wlocie	wg opisu w dalszej części instrukcji
ciśnienie bezwzględne wody na wylocie	wg opisu w dalszej części instrukcji

Przygotować indywidualne sprawozdanie z badań zawierające:

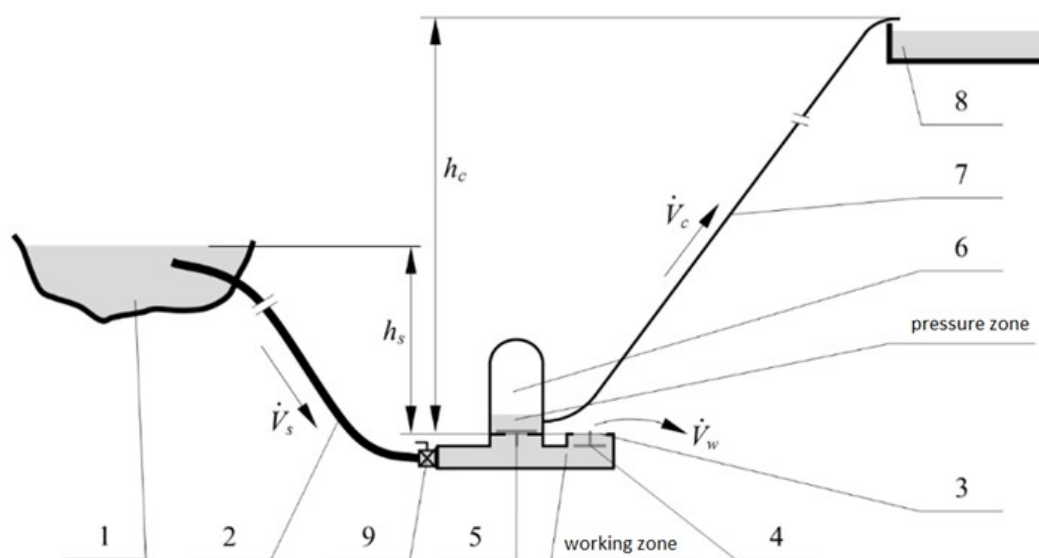
1. Opis zadania – krótki wstęp dotyczący celu symulacji i geometrii zaworu.
2. Obliczenie liczby Reynoldsa wraz z komentarzem dotyczącym charakteru przepływu i jego konsekwencji dla modelu numerycznego.
3. Opis konfiguracji modelu obliczeniowego – uwzględniający główne ustawienia i wykorzystanie funkcji użytkownika (UDF).
4. Wizualizacja wyników – wybrane pola skalarne i wektorowe, linie prądu oraz geometrię modelu.
5. Wyznaczenie siły naporu hydrodynamicznego działającej na grzybek zaworu w końcowej fazie przyspieszania przepływu.
6. Porównanie profili prędkości wlotowych dla prędkości stałej oraz zdefiniowanej w UDF.
7. Obliczenie błędów względnych siły naporu dla prędkości stałej oraz zdefiniowanej w UDF.
8. Podsumowanie – sformułowanie spostrzeżeń i wniosków wynikających z przeprowadzonych badań.

UWAGI:

- Wykresy należy wykonać w programie Gnuplot na podstawie plików z danymi wyeksportowanych z programu ANSYS Fluent.
- Opisy poszczególnych etapów pracy należy formułować w sposób umożliwiający ich wykorzystanie jako ogólnego instruktażu do realizacji symulacji numerycznych o zbliżonym charakterze.
- Sprawozdanie należy złożyć na kolejnych zajęciach po zakończeniu realizacji zadania.

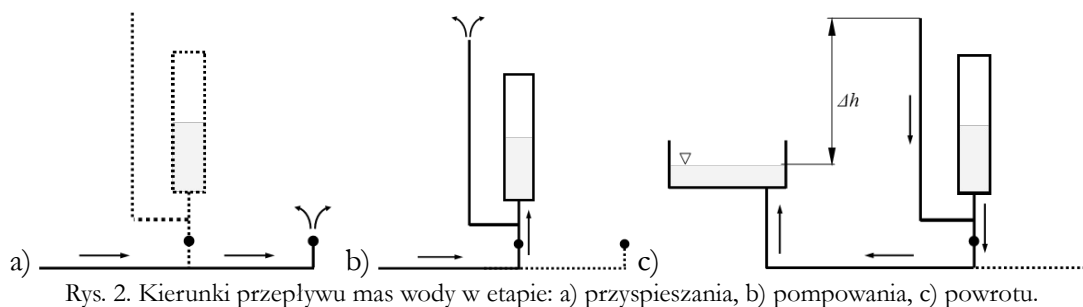
TARAN WODNY

Taran wodny jest to rodzaj pompy, w której transport wody odbywa się dzięki cyklicznemu wykorzystaniu zjawiska uderzenia hydraulicznego. Urządzenie może być zasilane z dowolnego źródła: jeziora, rzeki, strumienia, stawu, itp., ważne jest jedynie, aby różnica poziomów wody (h_s) pomiędzy źródłem zasilania (1) (Rys. 1), a kluczowym dla działania tarana gniazdem zaworu impulsowego (3) była odpowiednio duża.



Rys. 1. Schemat instalacji wykorzystującej taran wodny: 1 – źródło wody dostarczanej do tarana, 2 – przewód dostarczający wodę do tarana, 3 – zawór impulsowy, 4 – element zamykający zaworu impulsowego, 5 – zawór ciśnieniowy, 6 – zbiornik powietrzny, 7 – przewód podnoszący wodę, 8 – zbiornik wodny (kolektor), 9 – zawór odcinający, h_s – wysokość poziomu lustra wody w zbiorniku dostarczającym wodę do tarana, h_c – wysokość poziomu podnoszenia wody, $\dot{V}_s$ – natężenie przepływu wody dostarczanej do tarana, $\dot{V}_c$ – natężenie przepływu wody odpływającej do kolektora, $\dot{V}_w$ – natężenie przepływu wody odpływającej do otoczenia.

Na początku cyklu pracy tarana wodnego, w tzw. **etapie przyspieszania** (Rys. 2a), w strefie roboczej odbywa się swobodny przepływ wody. Element zamykający (4) zaworu impulsowego (3) znajduje się w położeniu dolnym (jak na Rys. 1). Woda przepływa przez otwarty zawór impulsowy (3) i wypływa na zewnątrz tarana do kanału odprowadzającego lub bezpośrednio do dalszej części źródła, z którego taran wodny czerpie zasilanie. Przepływające w strefie roboczej masy wody, wskutek działania ziemskiej grawitacji, przyspieszają i powodują wystąpienie na powierzchni elementu zamykającego zaworu impulsowego (4) siły o wartości rosnącej w czasie i zwrocie przeciwnym do zwrotu działania siły grawitacji. Po osiągnięciu odpowiedniej prędkości wody, napór wody na element zamykający zaworu impulsowego jest tak duży, że powoduje jego zamknięcie. Gwałtowne zahamowanie ruchu wody powoduje pojawienie się w strefie roboczej dodatniego uderzenia hydraulicznego. Powstała fala uderzeniowa dochodzi do zaworu ciśnieniowego (5), który otwiera się i przepuszcza do strefy ciśnieniowej pewną porcję wody – jest to tzw. **etap pompowania** (Rys. 2b). Przepływ wody ze strefy roboczej do strefy ciśnieniowej trwa dość krótko, gdyż układ nie znajduje się w stanie równowagi i ruch wody w przewodzie odprowadzającym szybko zostaje zahamowany – jest to początek tzw. **etapu powrotu** (Rys. 2c). Wraz z przepływem wody w dół przesuwają się również element zamykający zaworu ciśnieniowego powodując jego zamknięcie. W momencie zamknięcia się zaworu ciśnieniowego, w strefie roboczej tarana wodnego powstaje uderzenie hydrauliczne ujemne, które skutkuje otwarciem zaworu impulsowego i rozpoczęciem kolejnego cyklu pracy urządzenia.



BADANIA EKSPERYMENTALNE

Na podstawie pomiarów ustalono, że w czasie **3** minut przepływa przez zawór impulsowy średnio **14** litrów wody, a taran wodny wykonuje średnio **617.4** cykli. Efektywne natężenie przepływu wynosi dla tych danych **0.00007777** [m³/s]. Słowo efektywne oznacza, że do pomiaru natężenia przepływu przyjęto całkowity czas pomiaru. W rzeczywistości natężenie przepływu wody jest większe (Rys. 3), gdyż czas trwania etapu przyspieszania jest mniejszy niż czas trwania pojedynczego cyklu (**207** [ms]). Biorąc to pod uwagę, natężenie przepływu, w czasie gdy zawór impulsowy jest otwarty, należy obliczyć następująco

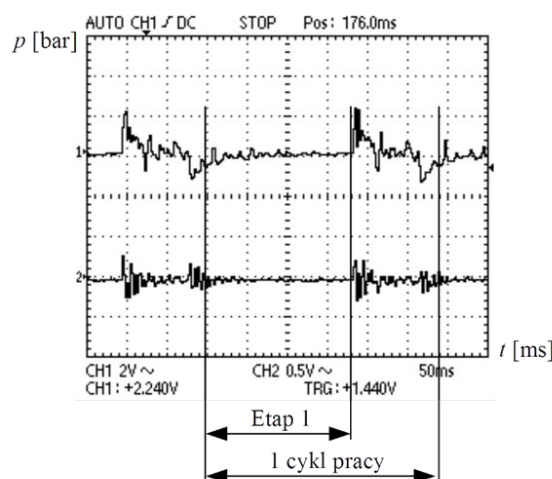
$$\dot{V}_a = \frac{V}{t \cdot X_a}, \quad (1)$$

gdzie: $\dot{V}_a$ – objętościowe natężenie przepływu wody przez zawór impulsowy w czasie etapu przyspieszania [m³/s], V – objętość wody, jaka przepłynęła przez zawór impulsowy w czasie pomiaru [m³], t – czas pomiaru [s], X_a - współczynnik określający udział etapu przyspieszania w pojedynczym cyklu pracy tarana wodnego (tu równy **0.7055**). Dla danych pomiarowych $\dot{V}_a = 0.00010954$ [m³/s].

Znając wewnętrzną średnicę zaworu impulsowego, wynoszącą **0.012** [m], obliczyć można średnią prędkość wody w etapie przyspieszania

$$c_a = \frac{4 \cdot \dot{V}_a}{\pi \cdot d^2}, \quad (2)$$

co dla danych z eksperymentu daje wartość **0.873** [m/s].



Rys. 3. Wykres uderzenia hydraulicznego w pojedynczym cyklu pracy tarana wodnego.

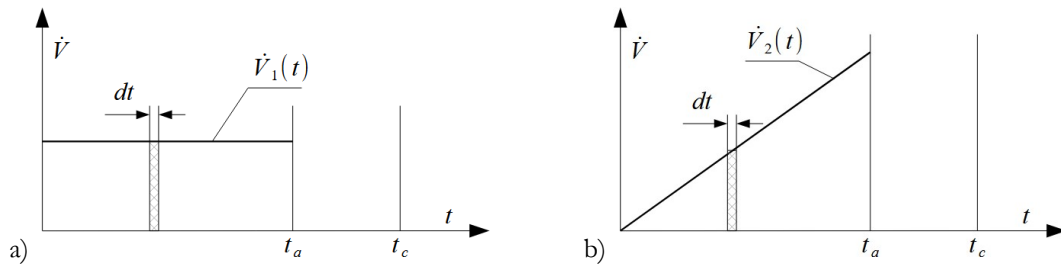
Na Rys. 4a przedstawiono graficznie sytuację opisaną równaniem (2). Wariant ten zakłada stałe natężenie przepływu wody przez okres, w którym zawór impulsowy pozostaje otwarty. W rzeczywistości sytuacja jest inna. W chwili otwarcia zaworu impulsowego prędkość wody jest równa zero i dopiero po tym momencie woda zaczyna stopniowo przyspieszać (stąd nazwa tego etapu). Niestety dokładny charakter tych zmian nie jest znany ze względu na skomplikowaną geometrię wnętrza zaworu. Wiadomo tylko, że prędkość zwiększa się w czasie. Na Rys. 4b przedstawiono taką sytuację, zakładając liniowy wzrost prędkości. Aby uzyskać takie samo natężenie przepływu, dla takiego samego czasu

$$\dot{V}_a = \int_0^{t_a} \dot{V}_1 dt = \int_0^{t_a} \dot{V}_2 dt, \quad (3)$$

prędkość maksymalna musi być dwa razy większa od prędkości wyliczonej dla wariantu poprzedniego, a zatem

$$c_{a,max} = 2 \cdot c_a, \quad (4)$$

gdzie: $c_{a,max}$ – prędkość maksymalna w etapie przyspieszania. Dla danych z pomiarów wartość wynosi ona **1.746** [m/s].



Rys. 4. Wykres zmian natężenia przepływu w czasie: a) wartość stała, b) wartość przyrastająca.

Analizując układ sił działających na element zamykający zaworu impulsowego można uznać, że warunek zmiany stanu tego zaworu ma następującą postać (oznaczenia wg [ANSYS Fluent User Guide]):

$$\vec{F}_a = \vec{a} \cdot \vec{F}^n + \vec{a} \cdot \vec{F}^t > \vec{G}, \quad (5)$$

gdzie: $\vec{F}_a$ – wartość siły wypadkowej [N], $\vec{a}$ – wektor kierunkowy [-], $\vec{F}^n$ – wektor sił normalnych (od ciśnienia) [N], $\vec{F}^t$ – wektor sił stycznych (od tarcia) [N], $\vec{G}$ – ciężar elementu zamykającego zaworu impulsowego [N].

W badaniach eksperymentalnych użyto zaworu impulsowego z elementem zamykającym o masie **37.75** [g], a zatem

$$\vec{G} = m \cdot \vec{g}, \quad (6)$$

co daje wynik równy **0.3703** [N].