

## Zadanie 2

### Przepływ wody przez zawór impulsowy tarana wodnego

#### Cele:

- utrwalenie elementów procesu modelowania numerycznego
- nauka monitorowania sił działających na wybrany element geometrii (odniesienie do badań eksperymentalnych)
- nauka tworzenia izo-powierzchni i wykorzystywania ich podczas wizualizacji danych
- nauka wizualizacji pól skalarnych i wektorowych oraz linii prądu
- nauka tworzenia sceny i zapisywania jej do plików graficznych
- nauka korzystania z funkcji użytkownika (kompilacja pliku \*.c)

#### Opis:

Wykonać model numeryczny przepływu wody przez wnętrze zaworu o podanej geometrii, zgodnie z danymi przedstawionymi w Tab. 1. Celem symulacji jest określenie siły naporu hydrodynamicznego działającego na grzybek zaworu w końcowej fazie etapu przyspieszania.

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 indywidualnie raport z badań zawierający:

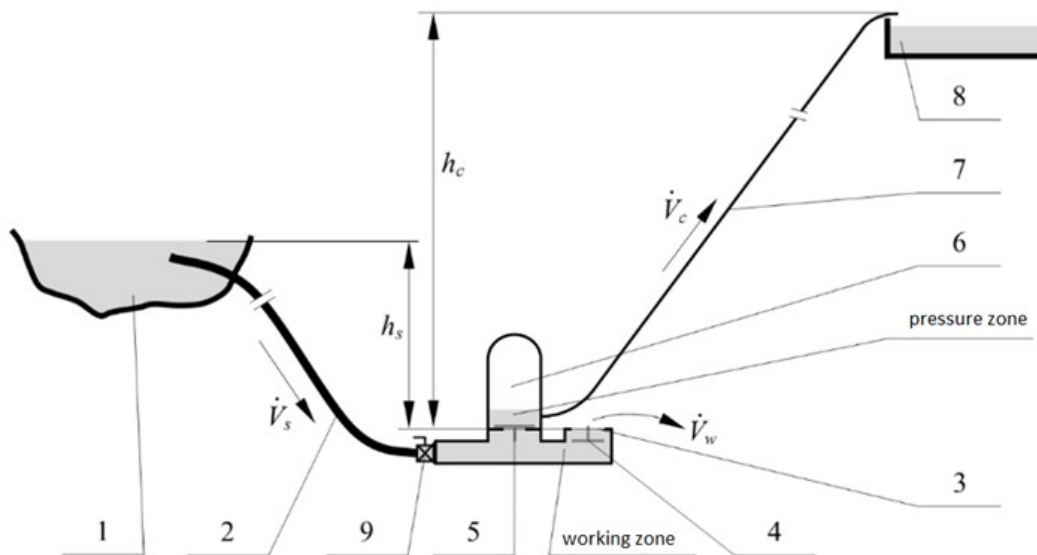
1. Ogólny opis zadania.
2. Obliczenie liczby Reynoldsa wraz z komentarzem dotyczącym wyniku.
3. Ogólny opis konfiguracji modelu numerycznego.
4. Wizualizacje wybranych pól skalarnych, wektorowych, linii prądu i geometrii.
5. Określenie siły naporu hydrodynamicznego działającego na grzybek zaworu.
6. 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 – spostrzeżenia oraz wnioski wynikające z przeprowadzonych badań.

#### UWAGI:

- Wykresy wykonać w programie Gnuplot na podstawie plików zapisanych w programie Fluent.
- Sprawozdanie należy oddać w ciągu **2 tygodni** od zakończenia realizacji zadania na zajęciach.

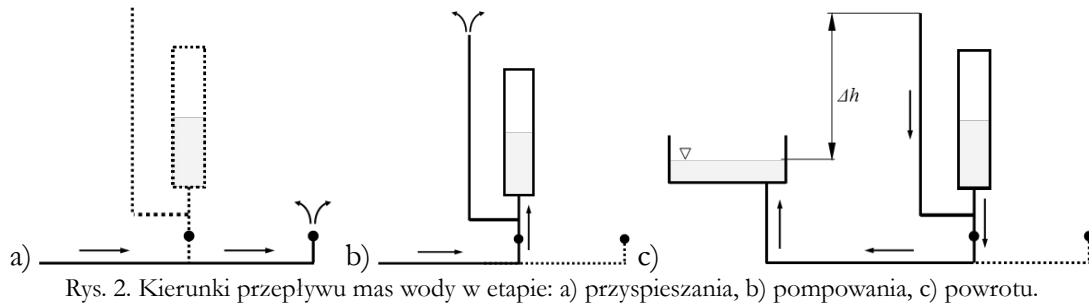
## TARAN WODNY

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** [m<sup>3</sup>/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

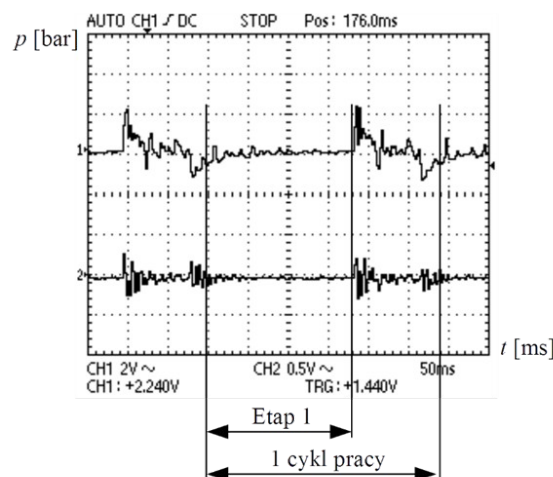
$$\dot{V}_a = \frac{V}{t \cdot X_a}, \quad (1)$$

gdzie:  $\dot{V}_a$  – objętościowe natężenie przepływu wody przez zawór impulsowy w czasie etapu przyspieszania [m<sup>3</sup>/s],  $V$  – objętość wody, jaka przepłynęła przez zawór impulsowy w czasie pomiaru [m<sup>3</sup>],  $t$  – czas pomiaru [s],  $X_a$  - współczynnik określający udział etapu przyspieszania w pojedynczym cyklu pracy tarana wodnego (tu równy **0.7055**). Dla danych pomiarowych  $\dot{V}_a = 0.00010954$  [m<sup>3</sup>/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.

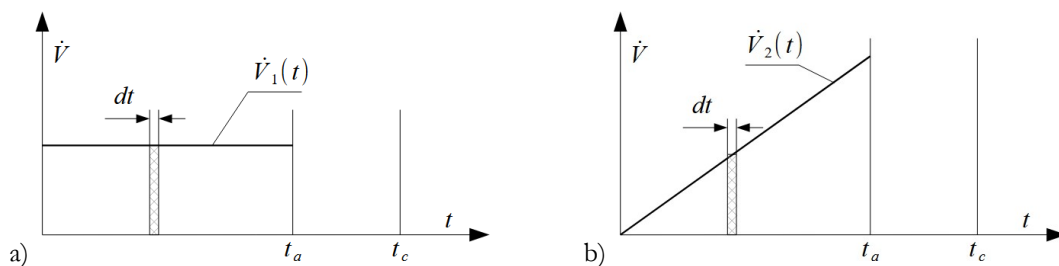
Na Rys. 4a przedstawiono graficznie sytuację opisaną równaniem (2). Wariant ten zakłada stałe natężenie przepływu wody przez okres, w którym zawór impulsowy pozostaje otwarty. W rzeczywistości sytuacja jest inna. W chwili otwarcia zaworu impulsowego prędkość wody jest równa zero i dopiero po tym momencie 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].