

Symulacje uderzenia hydraulicznego

Ewelina Ciba, Julita Dopke, Tomasz Sauer

Zakład Techniki Głębiny, Politechnika Gdańska

email: eweciba1@pg.gda.pl

STRESZCZENIE: Referat podejmuje zagadnienie uderzenia hydraulicznego w rurociągu prostym. Przedstawiono wyniki obliczeń CFD z wykorzystaniem programu STAR CCM+ uderzenia hydraulicznego w rurze na skutek nagłego zamknięcia zaworu. Opisano budowę modelu obliczeniowego z podkreśleniem znaczenia ściśliwości cieczy i kroku czasowego dla zjawisk hydroakustyki. Przeanalizowano zmiany wartości ciśnienia i prędkości ciec wzdłuż rurociągu oraz porównano je z dostępnymi w literaturze wzorami teoretycznymi.

SŁOWA KLUCZOWE: uderzenie hydrauliczne, model cieczy ściśliwej, hydroakustyka, CFD

1. Wprowadzenie

Komercyjne programy komputerowe przeznaczone do obliczeń CFD są coraz szerzej stosowane zarówno dla obliczeń inżynierskich (wspomaganie procesu projektowania) jak i dla rozwoju nauki (badania i analiza zjawisk podstawowych). Pozwalają one, po odpowiednim przygotowaniu modelu, polegającym na opisie właściwości czynnika roboczego, geometrii, warunków brzegowych i początkowych, na symulację różnych zjawisk mechaniki płynów. Jest to zjawisko bardzo korzystne, bowiem nie wymaga od badacza opanowania struktury wielu różnych programów dedykowanych oddzielnym zjawiskom. Jednym ze zjawisk o jakich mowa jest m. in. uderzenie hydrauliczne. Jego występowanie (np. podczas nagłego otwierania lub zamykania zaworów) może doprowadzić do zniszczenia sieci hydraulicznych.

2. Podstawy teoretyczne

Podstawowy wzór, opublikowany w 1989 r. przez Żukowskiego [4] pozwala obliczyć przyrost ciśnienia w rurociągu, w zależności od gęstości cieczy i przyrostu prędkości

$$\Delta p = \rho \cdot \Delta v \cdot a \quad (1)$$

gdzie Δp -przyrost ciśnienia, Δv -przyrost prędkości, a -prędkość fali podwyższonego ciśnienia

3. Model obliczeniowy

Dla pełnego odwzorowania zjawiska uderzenia hydraulicznego niezbędnym elementem jest odwzorowanie ściśliwości cieczy. Stąd dla czynnika roboczego, zgodnie z instrukcją użytkownika programu [3] przyjęto gęstość w funkcji ciśnienia opisaną jako

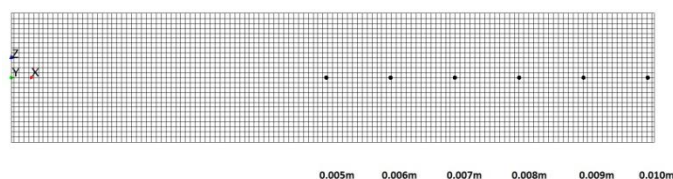
$$\rho = \rho_0 + \frac{p}{c^2} \quad (2)$$

Równie istotną kwestią jest wielkość przyjętego kroku czasowego, zgodnie z zaleceniami [3], dla obliczeń hydroakustyki powinien on spełniać nierówność

$$\Delta t \leq \frac{\Delta}{c+u} \quad (3)$$

gdzie $\Delta=1e-4m$ – wielkość siatki obliczeniowej $c=1500m/s$ prędkość dźwięku.

W przeprowadzonych obliczeniach przyjęto wielkość kroku czasowego $\Delta t=1e-9s$, poniżej której otrzymany wartości ciśnień nie zmieniały się.

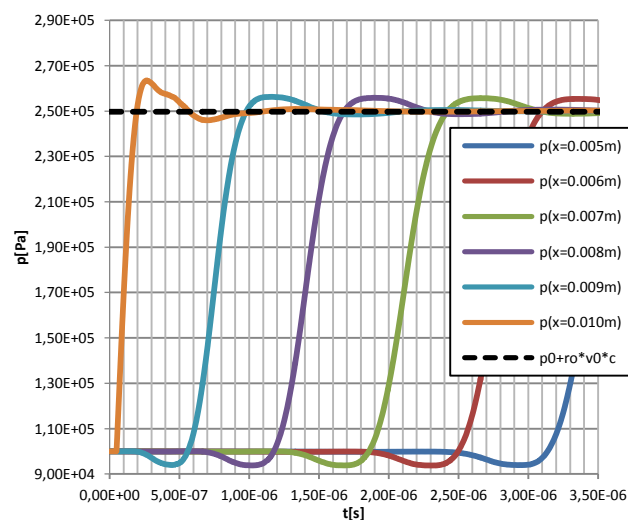


Rys. 1. Podział na elementy i rozmieszczenie punktów kontrolnych

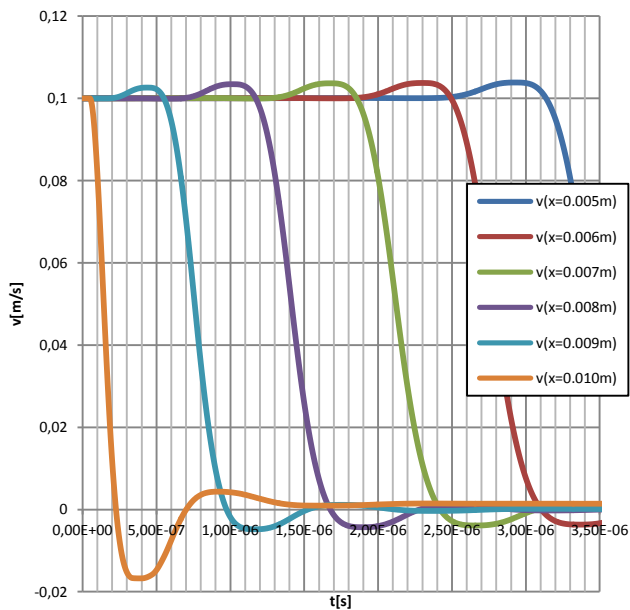
Dla ułatwienia analizy zjawiska i oceny poprawności obliczeń na tym etapie pominięto tarcie na ściankach rurociągu oraz zmianę jego przekroju (rozszerzanie się pod wpływem ciśnienia), a zamknięcie zaworu zamodelowano funkcją skokową.

4. Wyniki symulacji

W wyniku symulacji otrzymano rozkłady ciśnień i prędkości w rurociągu. Przykładowy przebieg wartości ciśnienia i prędkości w kolejnych przekrojach pomiarowych rurociągu, oddalonych od siebie o 0.001m (rys. 1) dla początkowej prędkości $v_0=0.1m/s$ przedstawiono na wykresach na rys. 2 i 3.



Rys. 2. Przebieg ciśnienia w punktach kontrolnych



Rys. 3. Wartości prędkości w punktach kontrolnych

W obliczeniach projektowych tradycyjnie zakłada się [2], że przyrost prędkości Δv jest równy początkowej prędkości cieczy w rurociągu v_0 . Obliczony w ten sposób przyrost ciśnienia wyniósłby zatem $\Delta p = 1.5e5$ [Pa], co spowodowałoby, że ciśnienie w punktach wyniósłoby $2.5e5$ [Pa], co zaznaczono na wykresie (rys. 2) linią przerywaną. Wyniki symulacji pokazują jednak, że choć w późniejszej chwili ciśnienie rzeczywiście przyjmuje taką wartość, to początkowy przyrost ciśnienia jest większy. Różnica ta wynika z faktu, że $\Delta v \neq v_0$, co pokazano na wykresie prędkości w punktach kontrolnych (rys. 3). Wynika stąd, że płyn uderzając w ścianę zamkniętego zaworu zostaje odbity w przeciwną stronę, stąd $\Delta v = v_0 + v_R$, gdzie v_R to prędkość z jaką płyn zostaje odbity. W punkcie kontrolnym $x=0.01$ m, w chwili $t=2.6e-7$ s możemy odczytać: $v_R=0.01$ m/s, co daje $\Delta p=1.6e4$ [Pa] i jest zgodne z wynikami symulacji. Znając odległość pomiędzy punktami pomiarowymi $dX=0.001$ m możemy również obliczyć prędkość rozchodzenia się fali uderzeniowej, która w tym przypadku jest równa prędkości dźwięku, co potwierdza wiarygodność obliczeń.

5. Podsumowanie

Przedstawione wyniki symulacji są spójne i zgodne z wynikami obliczeń teoretycznych. Pokazują one jednakże nieco odmienny przebieg zjawiska, aniżeli opisywany w literaturze (chwilowy przepływ odwrotny przed czołem fali uderzeniowej). Daje to chwilowe wyższe wartości ciśnienia od spodziewanych, obliczonych przy pomocy wzoru Żukowskiego za założeniem, że przyrost prędkości jest równy prędkości początkowej cieczy w rurociągu. Różnice te przyjmują wartości około 10%. W omawianych w literaturze wynikach badań [2] nie pojawiają się wspomniane chwilowe wyższe wartości ciśnienia, jakie zanotowano tu podczas symulacji. Może to wynikać z faktu, że częstość próbkowania stosowanych przyrządów pomiarowych jest mniejsza od przyjętej w obliczeniach. Należałoby zastanowić się nad możliwością przeprowadzenia pomiarów badań modelowych z dużo

mniejszym krokiem czasowym, lub innego sposobu potwierdzenia poprawności otrzymanych wyników. Następnie można przeprowadzić symulacje uwzględniające pominięte tu oddziaływanie tarcia na ściankach rurociągu, czy rozszerzanie się ścian rurociągu w zależności od jego materiału i geometrii (modele Fluid-structure interaction).

Literatura

- [1] Ghidaoui M. S., Zhao M., McInnis D. A., Axvortchy D. H., *A Review of Water Hammer Theory and Practice*, JANUARY, Vol.58
- [2] Niełacny M. *Uderzenia hydrauliczne*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2002
- [3] STAR CCM+ manual
- [4] Żukowski N.E. O gidrawliceskom udare v vodoprovodnyh trubach, Bjuletin Politechniceskogo obsestva, 1989, nr 5.