

Joanna BĄK

Institut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska  
Politechnika Krakowska

## ZASTOSOWANIE MODELOWANIA KOMPUTEROWEGO W OCHRONIE JAKOŚCI WÓD

### APPLICATION OF COMPUTER MODELING IN PROTECTION OF WATER QUALITY

*The paper presents preliminary step of CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation of outflow from the circular pipe. The aim of the research is to protect the quality of surface waters through quantitative monitoring of sewer systems. Studies are checking the possibility of modification and adaptation of existing methods for sewer systems.*

#### 1. Wprowadzenie

Wszelkie działania zmierzające do ochrony wód mają niezmiernie istotne znaczenie z uwagi na maksymalizację bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Ze względu natomiast na brak możliwości pomiaru bezpieczeństwa jako pojęcia względnego, można używać określenia przeciwnego, czyli ryzyka i jego minimalizacji [1]. Z kolei zapewnienie prawidłowo działającego systemu odprowadzania ścieków wpływa na ochronę jakości wód.

Monitoring hydrauliczny systemów kanalizacyjnych dostarcza informacje dotyczące funkcjonowania sieci. Dane te wykorzystywane są do podejmowania dalszych działań eksploatacyjnych oraz planowania wszelkich zmian, między innymi do projektowania, przebudowy, rozbudowy bądź modernizacji istniejących systemów odprowadzania ścieków. Są one również niezbędne do modelowania działania systemów kanalizacyjnych. Poznanie funkcjonowania systemów kanalizacyjnych jest zasadniczym działaniem poprzedzającym modernizację i przebudowę systemów zmierzającą do poprawy standardów obsługi mieszkańców oraz zmniejszenia zagrożenia powodziowego wywołanego opadami burzowymi [2]. Ponadto monitoring sieci kanalizacyjnej jest elementem bezwzględnie niezbędnym do budowy modelu matematycznego sieci [3]. Prawidłowo funkcjonujący system zbierania i odprowadzania ścieków warunkuje jakość wód powierzchniowych oraz ich ochronę.

Ze względu na powiększanie zlewni istniejących sieci kanalizacyjnych o nowe obszary, proces starzenia się kanałów, a także zmiany w ilości odprowadzanych ścieków w stosunku do wielkości dla których były projektowane, jak również następujące zmiany społeczno – gospodarcze i klimatyczne, gromadzenie informacji na temat parametrów pracy sieci jest niezmiernie istotne z perspektywy ochrony jakości zasobów wód. Innowacje w postaci prostych i niedrogich metod służących do wstępnego pomiaru, sprawdzania czy weryfikowania wyników z innych przyrządów sprzyjają właściwej gospodarce wodno – ściekowej oraz szeroko pojętej ochronie jakości wód.

W omawianych badaniach modelowanie CFD (Computational Fluid Dynamics) zastosowano do oceny możliwości przystosowania bądź modyfikacji istniejącej metody współrzędnych ze swobodnego wypływu do wykorzystania do szacowania natężenia przepływu w systemach kanalizacyjnych.

## 2. Metodyka i narzędzia badawcze

Na początku lat dziewięćdziesiątych metoda CFD wykorzystywana była tylko przez nielicznych specjalistów w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym [4]. Dzisiaj jest ona szeroko rozpowszechniona i zdecydowanie bardziej dostępna.

Do przeprowadzenia obliczeń symulacyjnych zaplanowano zastosowanie pakietu programów użytkowych numerycznej mechaniki płynów do modelowania CFD - ANSYS CFD w wersji 13.0. Pakiet ten obejmuje takie programy jak: ANSYS Design Modeler, ANSYS Meshing, ANSYS Fluent, ANSYS CFDPost. Wszystkie programy pracują w środowisku Workbench.

Pierwszy z wymienionych programów, ANSYS Design Modeler służy do budowy geometrii modelu. Siatkę geometryczną buduje się przy użyciu tzw. ciał (body) – linii, powierzchni i brył. Oczekiwany kształt geometryczny modelu uzyskuje się poprzez wybór odpowiednich narzędzi odpowiedzialnych za wykonywanie określonych procesów. Za ich pośrednictwem można budować nowe ciała bądź modyfikować te już istniejące. Należą do nich polecenia takie jak wymiatanie (sweep) czy obracanie (revolve). Jedno z narzędzi umożliwia ponadto szybkie wprowadzanie brył o podstawowych kształtach jak prostopadłościan, walec, stożek, graniastosłup czy ostrosłup. Przy konstruowaniu jednak geometrii określonych stanowisk badawczych

Drugi z wymienionych programów pozwala na przeprowadzenie procesu dyskretyzacji obszary modelu. Można stosować różne metody siatkowania. Można tworzyć siatki tetraedralne czy heksaedralne.

Wykonywane czynności przy tworzeniu geometrii jaki i procesie dyskretyzacji zapisywane są w układzie drzewa.

Kolejny program to najważniejszy element pakietu – solver przepływowy. Natomiast ostatni z omawianych programów (ANSYS CFDPost) służy do opracowania i przedstawiania uzyskanych wyników.

### 3. Cel badań

Celem badań jest zastosowanie nowoczesnych technik informatycznych do oceny możliwości modyfikacji bądź przystosowania istniejącej metody pomiaru natężenia przepływu do wykorzystania w systemach kanalizacyjnych dla różnych średnic przewodów. Metoda ta byłaby używana do wstępnej oceny funkcjonowania systemów kanalizacyjnych bądź weryfikacji urządzeń pomiarowych aktualnie stosowanych.

Prowadzone badania mają na celu, oprócz zbudowania modelu symulacji wypływu swobodnego z częściowo napełnionego przewodu kołowego dla zadanej średnicy – porównanie kształtu górnego obrysu strumienia swobodnie wypływającego z częściowo napełnionej rury przy różnych średnicach rury.

### 4. Opis badań

W badaniach wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie służące do modelowania CFD. Zbudowano model przepływu przez przewód rurowy w pakiecie programów ANSYS (ANSYS Design Modeler i ANSYS Meshing), a następnie przeprowadzono symulację przy wykorzystaniu solvera przepływowego ANSYS Fluent.

W pierwszym etapie pracy zbudowano trójwymiarową geometrię rozpatrywanego układu w programie ANSYS Design Modeler. Kolejnym etapem było przeprowadzenie dyskretyzacji obszaru modelu. W tym celu przygotowaną geometrię modelu zaimportowano do programu siatkującego ANSYS Meshing. Wygenerowano siatkę hybrydową. Wykorzystano dwie metody siatkowania: metodę „sweep” i metodę „path conforming”. Ponadto w pewnych obszarach, gdzie spodziewano się znacznej zmienności analizowanych parametrów, siatkę zagęszczoną, wprowadzając tzw. strefę przyścienną.

Na rysunkach 1 ÷ 5 zaprezentowano przykładowe wydruki z pakietu programów ANSYS CFD. Na rysunkach nr 1 i 2 przedstawiono zbudowaną geometrię układu. Dla uproszczenia oraz przyspieszenia późniejszych obliczeń przyjęto płaszczyznę symetrii i w dalszej części rozpatrywano tylko połowę układu. Na rysunku nr 3 zaprezentowano układ po procesie dyskretyzacji.

Zbudowana hybrydowa siatka jest siatką rzadką i posiada ponad 140 tysięcy elementów i prawie 65 tysięcy węzłów. Dla komory wlotowej wykorzystano metodę „path conforming”, a dla przewodu rurowego metodę „sweep”.

Po przygotowaniu geometrii modelu w programie ANSYS Design Modeler i procesie dyskretyzacji (w programie ANSYS Meshing) wykonano symulacje przy zastosowaniu solvera ANSYS Fluent. W tym celu zaimportowano geometrię z wygenerowaną siatką do solvera przepływowego.

Obliczenie zadania wykonano przy zastosowaniu specjalistycznej stacji roboczej dedykowanej dla pakietu programów ANSYS CFD. Liczba rdzeni procesora, jego szybkość oraz możliwość współpracy z pamięcią RAM o funkcji ECC (Error Checking and Control) stanowią niezmiernie istotne parametry dla szybkości obliczeń. Karta graficzna oraz pamięć RAM z wymienioną wcześniej funkcją ECC również posiadają duże znaczenia przy pracy z programami służącymi do modelowania CFD.

Możliwość zastosowania obliczeń równoległych, tzw. wysokowydajnościowych (HPC – High Performance Computing) pozwala na znaczące skrócenie czasu oczekiwania na wyniki symulacji, a niekiedy warunkuje nawet możliwość ich uzyskania. Aktualnie obliczenia HPC stanowią kierunek priorytetowy w zakresie rozwoju modelowania

komputerowego mechaniki płynów (CFD). Pomimo braku uzyskiwania idealnej skalowalności szybkości obliczeń wraz ze zwiększaniem się liczby rdzenie procesorów, obliczenia wysokowydajnościowe skracają w znaczący sposób czas oczekiwania na wyniki symulacji.

Na przykładowym wydruku (rysunek nr 6) zaprezentowano wyniki wstępnych obliczeń (początkowych iteracji) z solwera przepływowego ANSYS Fluent, gdzie prędkość poszczególnych faz (woda/powietrze) reprezentują różne kolory.

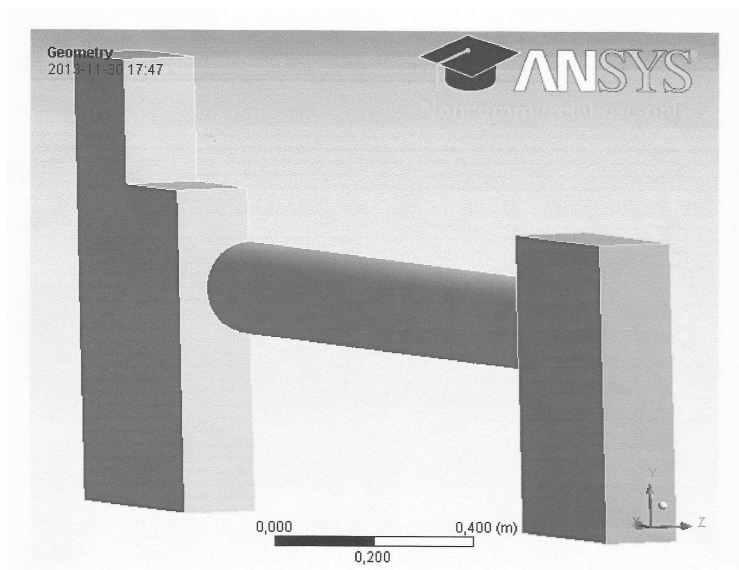
Kolejnym etapem badań jest dalsze zagęszczanie siatki obliczeniowej wraz ze zwiększaniem liczby elementów w celu zwiększenia dokładności wyników obliczeń. Ponadto aktualnie modyfikowana jest geometria zbudowanego uprzednio modelu polegająca na zmianie średnicy przewodu kołowego. W dalszej kolejności obszar modelu będzie ponownie siatkowany, a w kolejnym etapie zostanie przeprowadzona kolejna symulacja – dla innej średnicy.

Etapem końcowym tej części badań będzie próba porównanie kształtu górnego obrysu strumienia swobodnie wypływającego z rury częściowo napełnionej przy różnych średnicach przewodu. W przypadku braku wyraźnej granicy faz wyznaczającej kształt górnego i dolnego obrysu strumienia – siatka obliczeniowa będzie dodatkowo zagęszczana.

## 5. Podsumowanie i wnioski

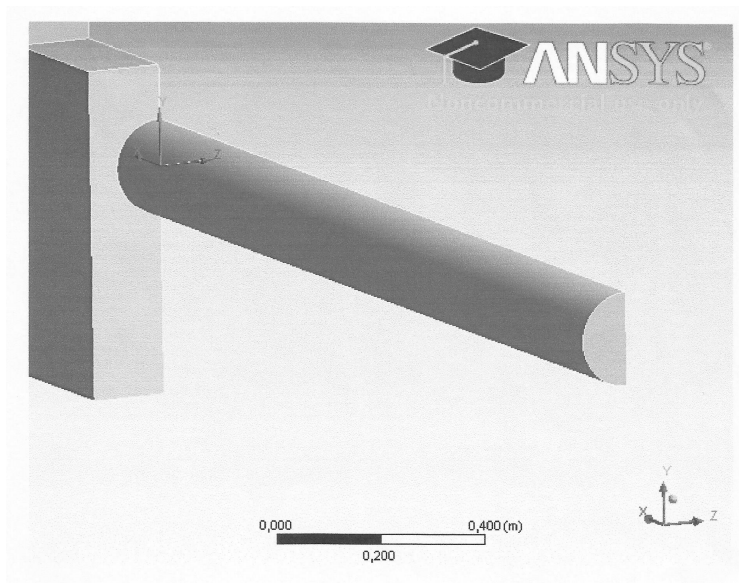
W omawianych badaniach narzędzia służące do numerycznego modelowania procesów przepływowych zastosowano do budowy prostego modelu wypływu swobodnego z rury częściowo napełnionej. Kolejnym etapem jest modyfikacja modelu polegająca na zmianie jego geometrii (średnicy przewodu), co pozwoli na analizę kształtu zwierciadła przy różnych wymiarach rury. Ponadto przewiduje się porównanie kształtu profilu podłużnego górnego obrysu strumienia swobodnie wypływającego z częściowo napełnionej rury z modelem fizycznym trajektorii elementu płynu. Przy modelu fizycznym zakładana będzie prędkość początkowa obliczona podczas symulacji.

Omówione badania pozwolą na ocenę możliwości modyfikacji i przystosowania metody współrzędnych dla szacowania natężenia przepływu przez przewody kołowe o różnych średnicach ułożone w spadku.



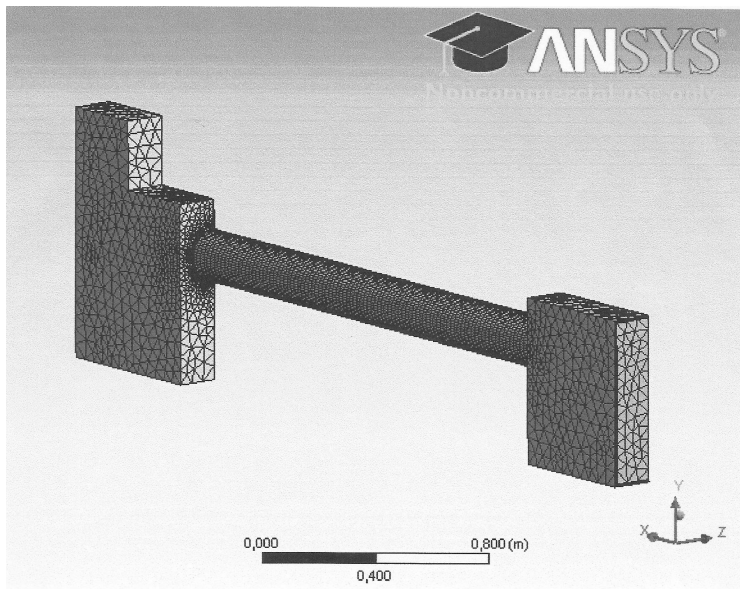
Rys.1. Zbudowana geometria modelu

Fig. 1. The model geometry



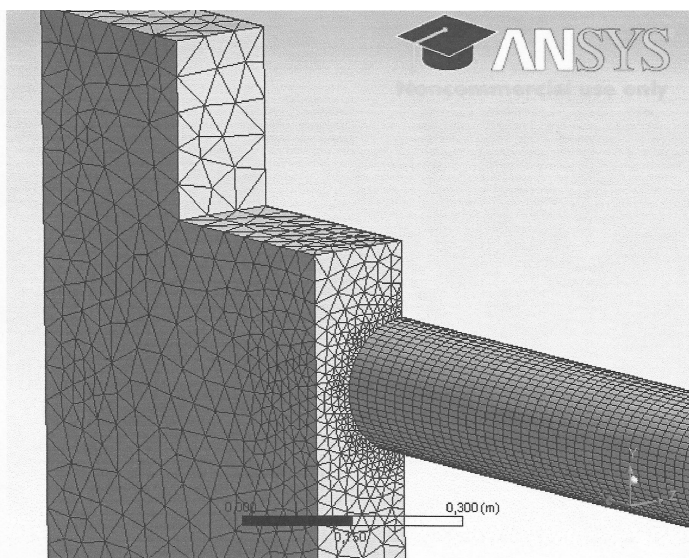
Rys.2. Geometria modelu - szczegół

Fig. 2. The model geometry - detail



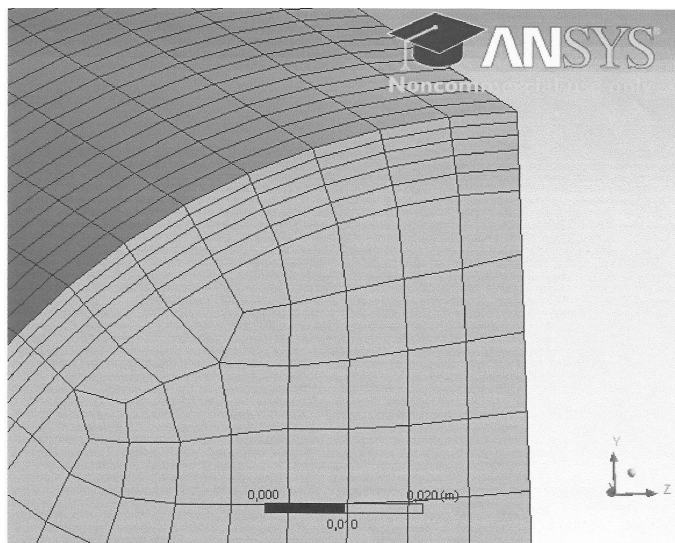
Rys.3. Układ po procesie dyskretyzacji

Fig. 3. System after the discretization process



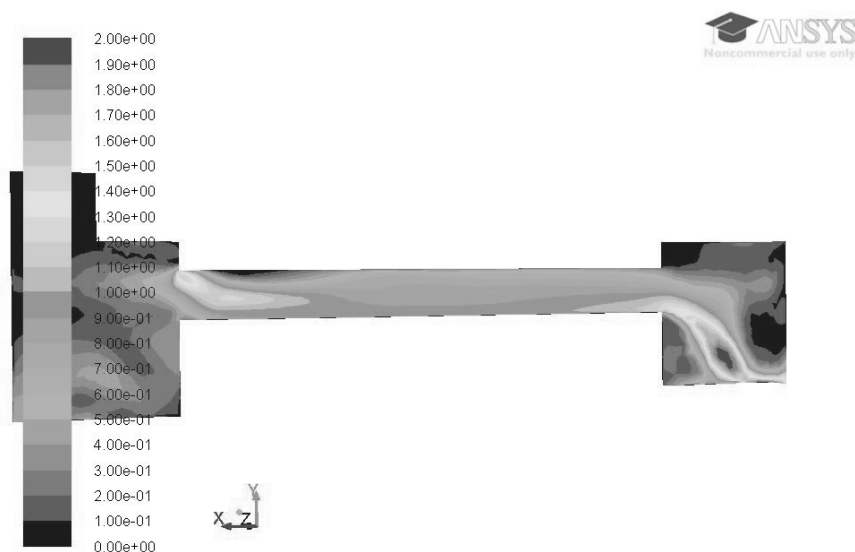
Rys.4. Układ po procesie dyskretyzacji - szczegóły

Fig. 4. System after the discretization process - details



Rys.5. Układ po procesie dyskretyzacji - szczegół

Fig. 5. System after the discretization process - detail



Rys.5. Wyniki wstępnych obliczeń (początkowych iteracji) z solvera przepływowego ANSYS Fluent

Fig. 5. The results of preliminary calculations (initial iteration) of the flow solver ANSYS Fluent

## Bibliografia

- [1] Królikowska J. „Niezawodność funkcjonowania i bezpieczeństwa sieci kanalizacyjnej” Monografia nr 382 Politechnika Krakowska Kraków 2010
- [2] Błaszczyk P. „Gospodarowanie wodami opadowymi w mieście. Główne problemy i kierunki działań” INSTAL nr 2/2010, s. 37 - 43
- [3] Leśniewski M. „Wdrażanie hydrodynamicznego modelu sieci kanalizacyjnej Warszawy” INSTAL wydanie specjalne 2008, s. 54 - 59
- [4] Rudniak L., Możaryn W. „Wykorzystanie komputerowej symulacji procesów przepływowych (CFD) w projektowaniu urządzeń do uzdatniania wody” Ochrona Środowiska nr 3/2001, s. 29 – 31