

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

AUTOMATYKA I ROBOTYKA, ARR, W4

WIZUALIZACJA DANYCH SENSORYCZNYCH

SPRAWOZDANIE OKRESOWE Nr 3/3  
- REZULTATY KOŃCOWE -

---

## Wizualizacja rozkładu ciśnienia cieczy na podstawie symulacji komputerowej

---

*Autorzy:*  
BALAWENDER Adam  
KWIECIŃSKI Krzysztof

*Prowadzący:*  
Dr inż. Bogdan KREZMER

9 czerwca 2015

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Opis projektu</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Plan pracy</b>	<b>1</b>
2.1	Podział obowiązków . . . . .	1
2.2	Harmonogram . . . . .	1
2.3	Kamienie milowe . . . . .	2
2.4	Diagram Gantt'a . . . . .	3
<b>3</b>	<b>SPH</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Funkcjonalności aplikacji</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>Interfejs graficzny</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Diagram klas</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>Przepływ sterowania</b>	<b>8</b>
<b>8</b>	<b>Aplikacja</b>	<b>8</b>
<b>9</b>	<b>Dokumentacja</b>	<b>8</b>
<b>10</b>	<b>Wnioski</b>	<b>9</b>

# 1 Opis projektu

Projekt dotyczy komputerowej symulacji zachowania cieczy oraz wizualizacji jej stanu i rozkładu ciśnienia w zbiorniku z płynem.

Symulacja obejmuje ruch cieczy w przekroju 2D wybranego naczynia. Ciecz jest przedstawiona na płaszczyźnie jako zbiór oddziaływujących ze sobą cząsteczek. Jej zachowanie jest możliwie zbliżone do rzeczywistego dzięki modelowaniu ruchu płynu przy pomocy metody numerycznej SPH (*smoothed particle hydrodynamics* - *wygładzona hydrodynamika cząstek*). W programie modelowane są właściwości fizyczne cieczy: gęstość i lepkość. Dlatego też można badać zachowania płynów o różnych parametrach. Dodatkowo prowadzony jest pomiar ciśnienia cieczy. Ciśnienie wizualizowane jest jako odcień koloru płynu. Im jest on ciemniejszy, tym wyższe ciśnienie odzwierciedla.

Aplikacja została napisana w języku C++, przy użyciu biblioteki Qt.

## 2 Plan pracy

### 2.1 Podział obowiązków

Projekt zakładał powiązanie symulacji numerycznej (back-end) z aplikacją prezentującą wyniki w formie graficznej (front-end). Za pierwszą z ww. części odpowiedzialny był Adam Balawender, za drugą Krzysztof Kwieciński. Obie części mają możliwość niezależnego uruchomienia, co ułatwiło ich testowanie we wstępnych etapach oraz ocenę w końcowym etapie projektu.

### 2.2 Harmonogram

Projekt realizowano w okresie 9.03.2015 - 11.06.2015. Oznacza to, że okres prac nad projektem wyniósł w przybliżeniu XIII tygodni.

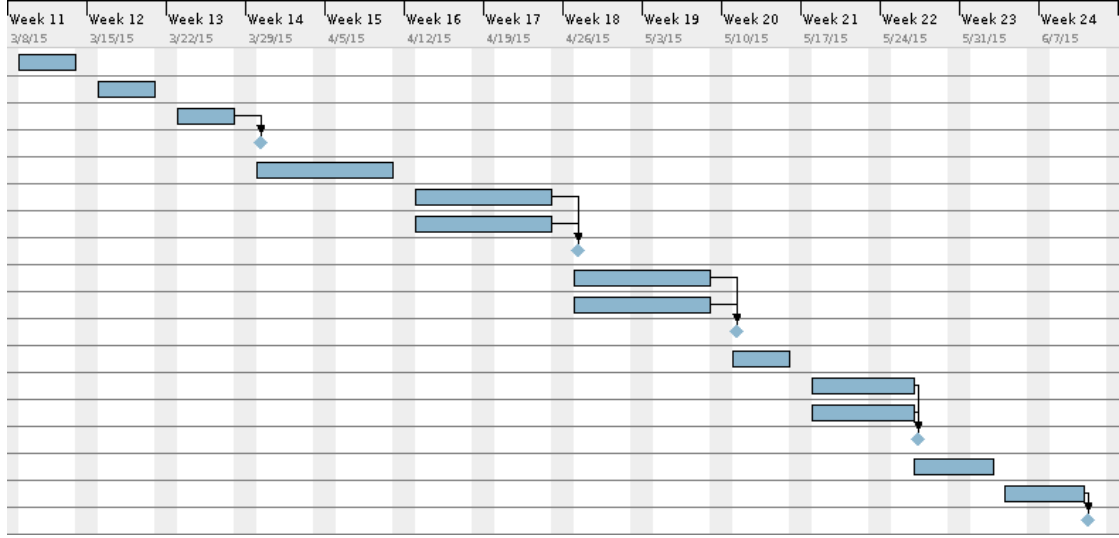
Cały projekt wykonany został w terminowo. Zrealizowano wszystkie zaplanowane zadania z tygodni I - XIII z założonego wcześniej harmonogramu, [1].

Tydzień	Adam	Krzysztof
I	Opis projektu	
II	Przegląd bibliotek Qt, szkic GUI	
III	Zapoznanie się z metodą SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)	
IV, V	Ustalenie struktur danych oraz API modułów	
VI, VII	Implementacja klas zbiornika oraz cząsteczek cieczy	Stworzenie statycznej wizualizacji zbiornika
VIII, IX	Dodanie wizualizacji położenia cząstek cieczy	Implementacja metod uaktualniania położenia cząsteczek
X	Analiza błędów działania programu i skorygowanie ich	
XI	Wizualizacja ciśnienia w punktach	Wyznaczanie ciśnienia w punktach zbiornika
XII	Weryfikacja projektu z założeniami i odpowiednie modyfikacje programu	
XIII	Napisanie raportu końcowego	

## 2.3 Kamienie milowe

- K1. Przeanalizowanie artykułów na temat SPH i zapoznanie się z tą metodą
- K2. Zaimplementowanie struktur danych, modelu cieczy i relacji między cząsteczkami
- K3. Wizualizacja symulowanego stanu cieczy
- K4. Wizualizacja ciśnienia w poszczególnych punktach zbiornika
- K5. Skończona dokumentacja

## 2.4 Diagram Gantta



Rysunek 1: Diagram Gantta

## 3 SPH

Metoda zakłada reprezentację cieczy przez zbiór cząstek  $\mathbf{N}_i$  o jednakowej masie  $\mathbf{m}$  (charakteryzowanych w momencie  $\mathbf{i}$  pozycją  $\mathbf{r}_i$ , prędkością  $\mathbf{v}_i$  oraz gęstością  $\rho_i$ ), które reagują na siebie na odległość  $\mathbf{h}$ . Korzystając z wyprowadzeń opisanych w artykule [2] przyjęto wzór na gęstość w kroku  $\mathbf{i}$ :

$$\rho_i = \frac{4m}{\pi h^8} \sum_{j \in N_i} (h^2 - r^2)^3.$$

Przyspieszenie wyznaczano ze wzoru:

$$\mathbf{a}_i = \frac{1}{\rho_i} \sum_{j \in N_i} \mathbf{f}_{ij}^{interact} + \mathbf{g},$$

gdzie

$$\mathbf{f}_{ij}^{interact} = \frac{m_j}{\pi h^4 \rho_j} (1 - q_{ij}) \left[ 15k(\rho_i + \rho_j - 2\rho_0) \frac{1 - q_{ij}}{q_{ij}} \mathbf{r}_{ij} - 40\mu \mathbf{v}_{ij} \right],$$

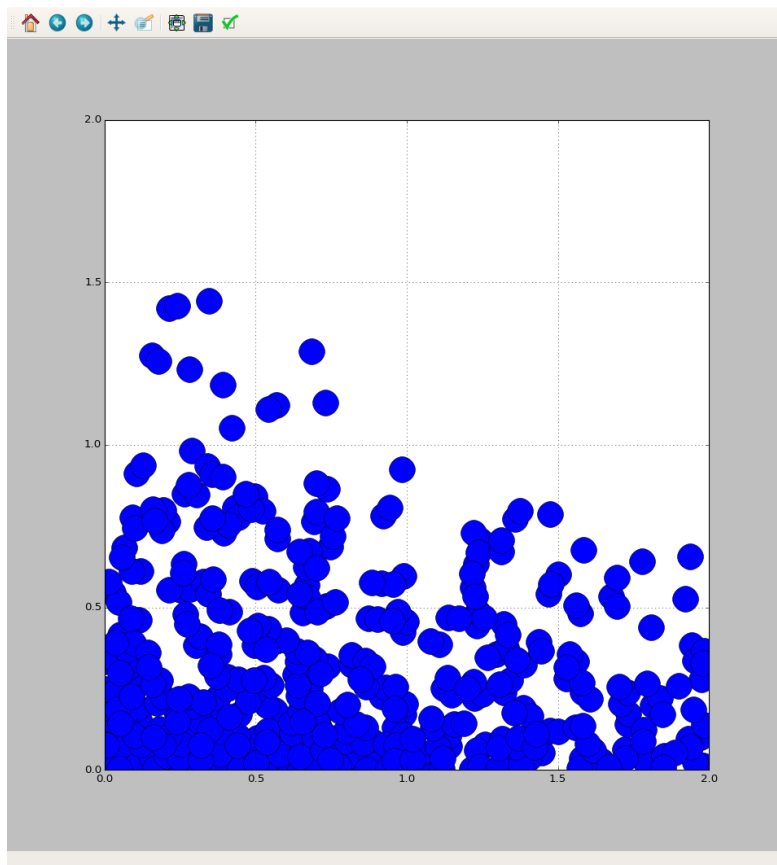
gdzie  $\mathbf{r}_{ij} = \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j$ ,  $\mathbf{v}_{ij} = \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_j$  i  $q_{ij} = ||\mathbf{r}_{ij}||/h$ ,  $\rho_0$  - wyjściowa gęstość,  $k$  - współczynnik sprężystości objętościowej,  $\mu$  - lepkość,  $\mathbf{g}$  - wektor grawitacji.

## 4 Funkcjonalności aplikacji

Najistotniejsze funkcjonalności aplikacji to:

- symulacja zachowania cieczy w zależności od zadanych warunków początkowych,
- możliwość przededefiniowania parametrów cieczy (gęstości, lepkości),
- możliwość obserwacji wyniku symulacji (położenia cząsteczek i rozkładu ciśnień).

Do tej pory udało się nam już zasymulować zachowanie cieczy. Test poprawności napisanego algorytmu realizującego metodę *SPH* przeprowadziliśmy w Pythonie (wizualizacja - rysunek 2), a także w C++ (dane liczbowe). Ponadto programowo dostępna jest zmiana wszystkich założonych parametrów cząsteczki cieczy. Podczas działania aplikacji w jej okienku obserwować można chaotycznie poruszające się cząsteczki cieczy. Rysunek 3 przedstawia przykładowy zrzut ekranu działającej aplikacji.



Rysunek 2: Symulacja cieczy w Pythonie

## 5 Interfejs graficzny

Wygląd interfejsu graficznego aplikacji przedstawiony jest na rysunku 3.



Rysunek 3: Interfejs graficzny aplikacji

W centralnej części aplikacji widoczny jest jej główny element, a zatem zbiornik z cząsteczkami. Pod nim znajduje się slider pozwalający na przechylanie zbiornika.

Użytkownik za pomocą trzech przycisków umiejscowionych na dole ekranu może sterować symulacją, a mianowicie ją: uruchomić, zamrozić lub zatrzymać.

W lewej górnej części okienka znajdują się elementy pozwalające śledzić (i modyfikować) parametry symulacji: jej czas trwania, symulowaną liczbę cząsteczek oraz szybkość odświeżania wizualizacji. Umiejscowione są tam również przyciski i pole tekstowe pozwalające na zapisanie bądź wczytanie stanu symulacji.

Na widocznej w dole ekranu belce statusowej wyświetlana jest aktualna data.

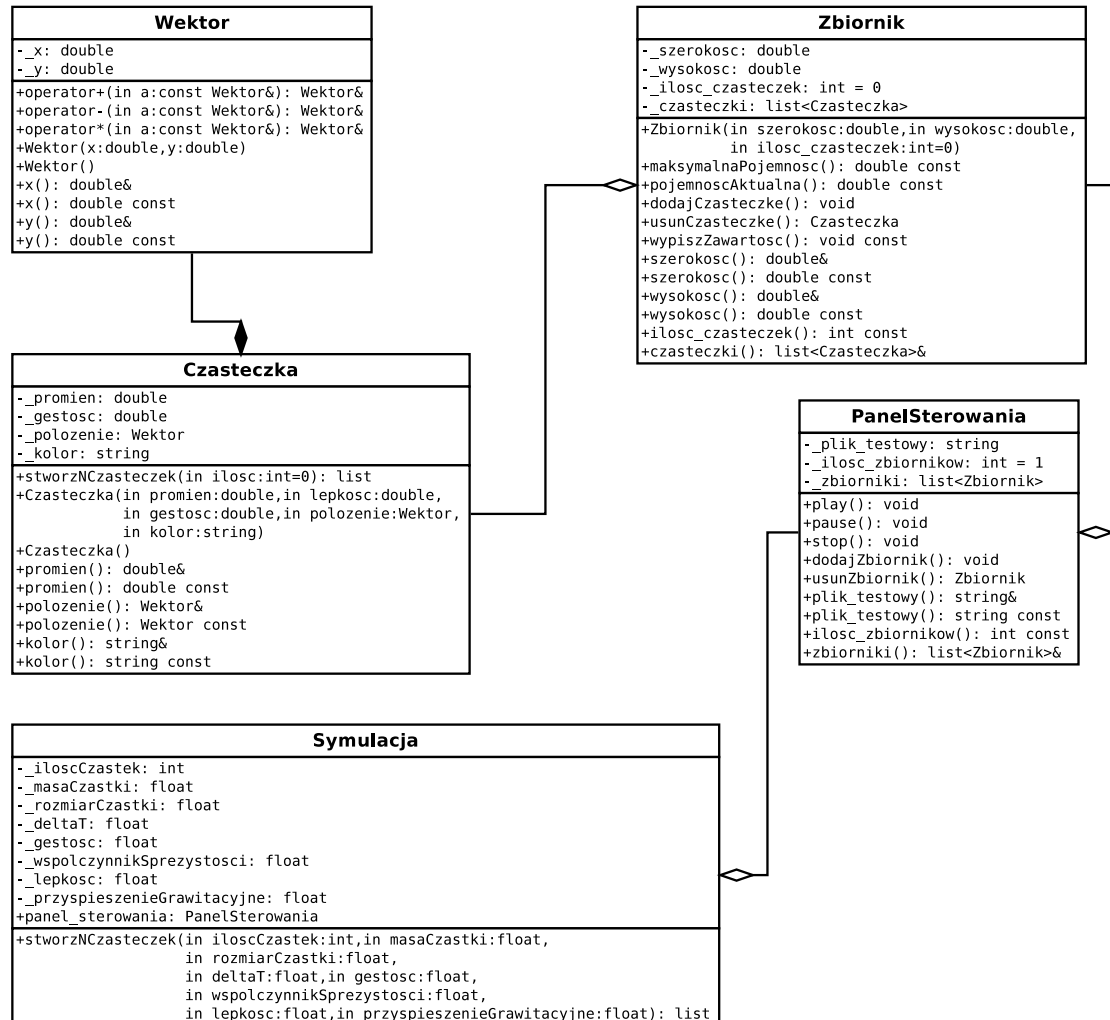
W pasku menu dostępne są opcje: zapisu symulacji oraz zamknięcia aplikacji.

Interfejs graficzny skaluje się odpowiednio przy zmianie jego wymiarów.



## 6 Diagram klas

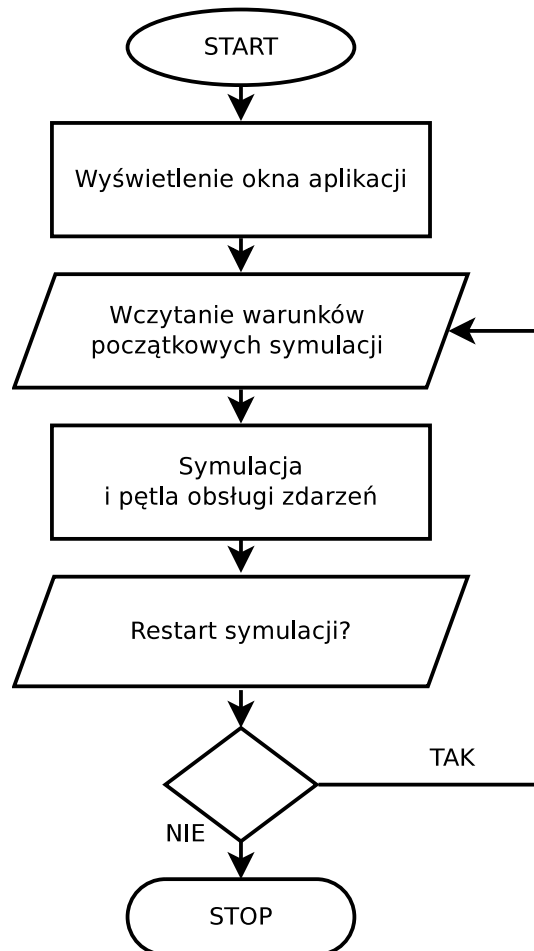
Założony diagram klas przedstawiony jest na rysunku 4.



Rysunek 4: Diagram klas dla interfejsu graficznego

## 7 Przepływ sterowania

Diagram przepływu sterowania przedstawiony jest na rysunku 5.



Rysunek 5: Diagram przepływu sterowania dla interfejsu graficznego

## 8 Aplikacja

## 9 Dokumentacja

Powstające oprogramowanie było na bieżąco dokumentowane. Dokumentacja powstała z zastosowaniem systemu generowania dokumentacji Doxygen, [6].

Dokumentacja aplikacji wygenerowana w postaci html dostarczona jest w ramach materiałów dodatkowych.

## 10 Wnioski

## Literatura

- [1] A. Balawender and K. Kwieciński. Wizualizacj rozkładu ciśnienia cieczy na podstawie symulacji komputerowej (wstępne rezultaty), kwiecień 2015.
- [2] D. Bindel. <http://www.cs.cornell.edu/~bindel/class/cs5220-f11/code/sph-derive.pdf>.
- [3] T. Harada, S. Koshizuka, and Y. Kawaguchi. [http://inf.ufrgs.br/cgi2007/cd\\_cgi/papers/harada.pdf](http://inf.ufrgs.br/cgi2007/cd_cgi/papers/harada.pdf).
- [4] Qt. <http://doc.qt.io/>.
- [5] D. Solin. *Poznaj programowanie przy użyciu biblioteki Qt w 24 godziny*. Infoland, Warszawa, 2001.
- [6] D. van Heesch. <http://www.doxygen.org/>.