

# *Układ krążenia*

(L,S)

## ***I. Zagadnienia***

1. Prawa fizyczne opisujące przepływ płynów:

- ciągłości strumienia,
- Bernoulliego,
- Hagen – Poisseuille’a.

2. Opór naczyniowy przepływu.

3. Przepływ laminarny, burzliwy i pulsacyjny.

4. Biofizyka układu krążenia człowieka:

- uproszczona budowa układu krążenia,
- właściwości biomechaniczne i geometryczne naczyń krwionośnych; fala tętna.

## ***II. Zadania***

Korzystając z modelu układu krążenia (MUK) należy dokonać:

1. pomiaru ciśnień i przepływu cieczy w wybranych miejscach MUK,
2. określić częstotliwość pracy serca,
3. wyznaczyć objętość wyrzutową i pojemność minutową serca,
4. wyznaczenie opór naczyniowy i przepływ cieczy przez wybrany element MUK.

### **III. Wykonanie ćwiczenia**

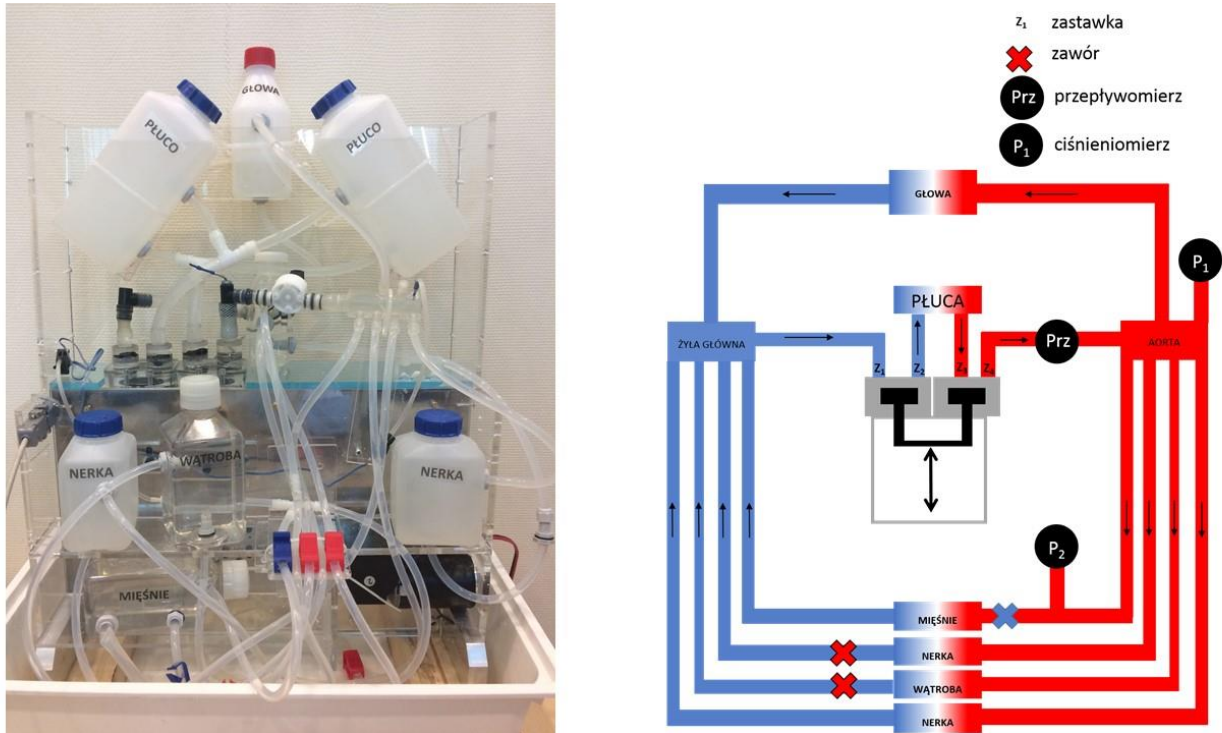
Model układu krążenia (MUK) przedstawiony jest na Rys. 1. MUK stanowi zamknięty układ naczyń, obrazujących poszczególne narządy, w których odbywa się wymuszony przepływ cieczy. Przedstawione naczynia dużego krążenia (systemowego) to: aorta, mózg, wątroba, nerki i mięśnie szkieletowe. Małe krążenie obejmuje naczynia płuc.

Istotne znaczenie dla funkcjonowania MUK ma pompa, symulująca pracę serca. Jest ona zbudowana z napędzanego silnikiem elektrycznym mechanizmu korbowego, który wymusza cykliczny i synchroniczny ruch dwóch tłoków. Tłoki odzwierciedlają pracę lewej i prawej komory serca. Czas ruchu tłoków, powodujący wyrzut cieczy ze zbiorników (skurcz komór), jest krótszy niż czas ich napełniania (rozkurcz komór). W pokrywie tłoków znajdują się cztery sztuczne zastawki serca, spełniające podobną rolę jak naturalne zastawki: przedsionkowo komorowe  $Z_1$  i  $Z_3$ , pnia płucnego  $Z_2$  i aorty  $Z_4$ . Komory wraz z odpowiednimi zastawkami stanowią pompy ssąco-tłoczące, które łączą w sposób szeregowy krążenie systemowe z krążeniem płucnym.

Układ posiada trzy czujniki pomiarowe: jeden przepływomierz i dwa mierniki ciśnienia.

Przepływomierz turbinkowy **Prz** znajduje się tuż za zastawką aortalną. Mierzy on w sposób ciągły przepływ płynu w trakcie pracy MUK. Pomiar przepływu można prowadzić, kiedy przepływ cieczy ma miejsce we wszystkich narządach wchodzących w skład modelu, lub kiedy przepływ jest blokowany w mięśniach, w nerce lub w wątrobie. Blokowanie przepływu następuje poprzez naciśnięcie odpowiedniego zaworu znajdującego się na panelu urządzenia: **niebieskiego** (blokuje przepływ w **mięśniach**),  **czerwonego 1** (blokuje przepływ w **nerce**) lub  **czerwonego 2** (blokuje przepływ w **wątrobie**).

Pierwszy czujnik pomiaru ciśnienia, **P<sub>1</sub>**, umieszczony jest w aorcie. Podobnie jak przepływomierz, czujnik **P<sub>1</sub>** mierzy ciśnienie cieczy w sposób ciągły. Drugi czujnik **P<sub>2</sub>**, znajduje się przed obszarem symbolizującym mięśnie. Mierzy on albo aktualne ciśnienie w naczyniu doprowadzającym płyn do modelowych mięśni, albo – po zablokowaniu tego naczynia – ciśnienie w aorcie. Pozwala to na symulowanie pomiaru ciśnienia krwi u człowieka w tętnicy ramiennej. Blokowanie lub odblokowanie naczynia odbywa się poprzez naciśnięcie niebieskiego **zaworu** przepływu cieczy, znajdującego się na panelu urządzenia.



Rys. 1. Widok i schemat układu. Szczegółowy opis w tekście.

## Pomiar przepływu cieczy i ciśnień w MUK

Aby dokonać pomiarów proszę:

1. Upewnić się, że sterownik MUK serca jest włączony.
2. Uruchomić program *Heart\_model*.
3. Odczytać wartości ciśnień wyznaczanych przez czerwoną i niebieską linię, gdy pompa nie jest uruchomiona. Są to stężenia hydrostatyczne, rejestrowane przez dwa ciśnieniomierze. W oparciu o różnice w ciśnieniach hydrostatycznych proszę powiązać ciśnieniomierze ( $P_1$  i  $P_2$ ) z odpowiadającą im liniami na wykresie (**czerwona** lub **niebieska**).
4. Włączyć pompę (**PUMP ON**), wyczyścić dotychczasowy zapis danych (**CLEAR DATA**) i rejestrować wskazania ciśnieniomierzy i przepływomierza przez 2 minuty.
5. Zapisać uzyskane wyniki (**SAVE MEASUREMENT**) na dysku sieciowym grupy, a następnie wyłączyć pompę (**PUMP OFF**).
6. Otworzyć dane w programie Statistica.

**UWAGA:** W oknie importu danych w programie *Statistica* należy zaznaczyć: **Variable Delimiting** → **Tab!!!** Pozwoli to na zapisanie danych w 4 osobnych kolumnach.

7. Obliczyć średnie natężenie przepływu oraz średnie ciśnienia w aorcie i naczyniu doprowadzającym ciecz do mięśni oraz sporządzić wykres zmian ciśnień i przepływu w czasie 10 s. Na podstawie analizy wykresu obliczyć puls modelowego serca.  
**UWAGA:** Zmiany ciśnień (w [mmHg]) i przepływu (w [mL/s]) w czasie można zilustrować na jednym wykresie, dodając opis jednej ze zmiennych na **prawej** osi OY. Procedurę tę opisano w dodatku dot. programu wykorzystywanego do zapisu danych.
8. Obliczyć wartości objętości wyrzutowej i pojemności minutowej układu.
9. Powtórzyć pomiar po uprzednim zablokowaniu naczynia doprowadzającego ciecz do mięśnia. Obliczyć średnie ciśnienia, objętość wyrzutową i pojemność minutową i porównać je z otrzymanymi w pkt. 7 i 8.
10. Powtórzyć pomiar po uprzednim zablokowaniu wskazanego przez asystenta narządu. Obliczyć średnie ciśnienia, objętość wyrzutową i pojemność minutową i porównać je z otrzymanymi w pkt 7-9.
11. Przyjmując, że ciśnienie cieczy wpadającej do modelowego serca po tym, jak przepłynęła ona przez cały układ, wynosi **3 mmHg** w oparciu o wcześniej uzyskane wyniki proszę obliczyć opory naczyniowe całego układu w trzech rozważanych scenariuszach.
12. Pamiętając, że narządy połączone są naczyniami krwionośnymi **równolegle**, proszę policzyć opór naczyniowy zablokowanego narządu (nerki lub wątroby).
13. W oparciu o analizę wykresów ciśnień uzyskanych w p. 7 ocenić szybkość fali tętna w naczyniu doprowadzającym ciecz do mięśni, przyjmując, że jego długość wynosi **1 metr**. W tym celu proszę zmierzyć dziesięć opóźnień między rejestrowanymi przez program maksimami ciśnień  $P_1$  i  $P_2$ , policzyć ich średnią i odchylenie standardowe. Wynik średni wykorzystać do obliczenia szybkości fali tętna.

#### **IV. Sprawozdanie (szablon krazenie.dotx)**

Sprawozdanie powinno zawierać:

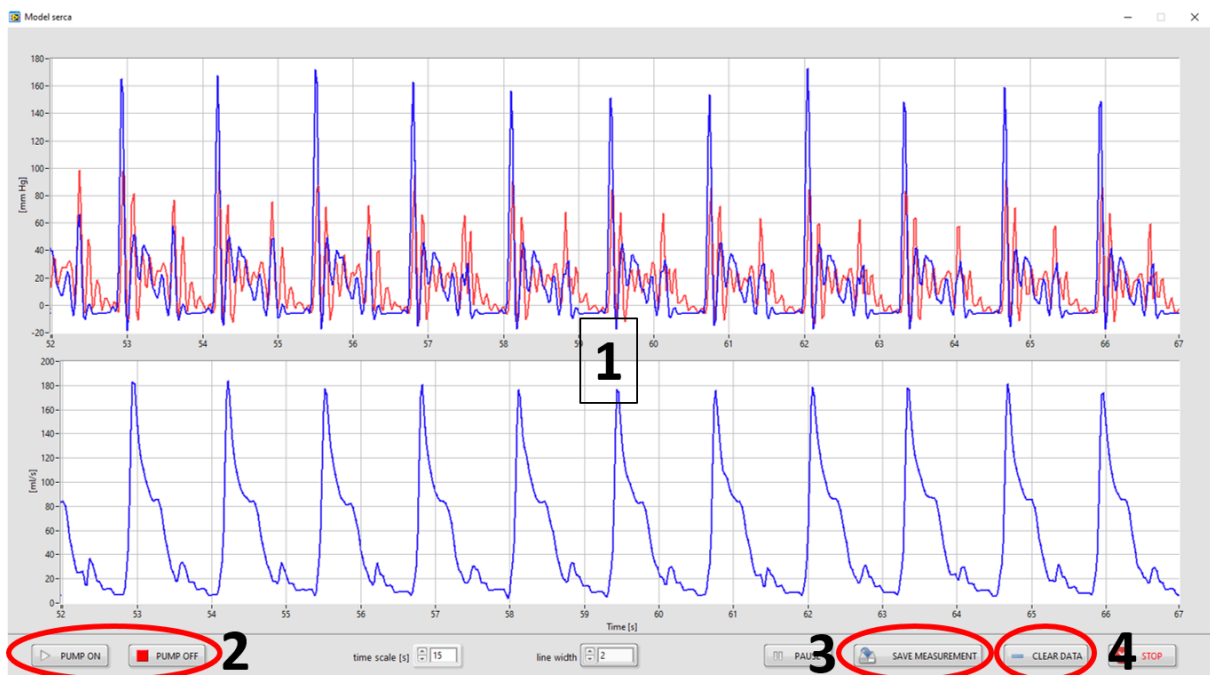
1. Średnie wartości wyników pomiarów i wykonane obliczenia (ciśnienia, przepływy, objętości wyrzutowe i pojemności minutowe).
2. Wykresy przedstawiające ciśnienia i przepływy układu krążenia.
3. Obliczone wartości oporów naczyniowych całego układu krążenia systemowego oraz wskazanego przez asystenta narządu, występującego w nim natężenia przepływu cieczy oraz jego procentowy udział w całym przepływie systemowym.

4. Komentarz dotyczący uzyskanych wyników i porównanie otrzymanych wartości z fizjologicznymi.

## V. Instrukcje

Instrukcja programu *Statistica*.

### INSTRUKCJA PROGRAMU Heart Model



1. Przed uruchomieniem programu konieczne jest uruchomienie sterownika.
2. Gdy pompa nie jest włączona, układ rejestruje ciśnienia hydrostatyczne, widoczne w głównym polu programu (1). Po jej włączeniu (klawisz *PUMP ON* - 2) wykresy obrazują okresowe zmiany całkowitego przepływu oraz ciśnień w aorcie i modelowym „brzuchu”.
3. Po zarejestrowaniu odpowiednio długiego szeregu czasowego (np. 60 s) dane należy zapisać (klawisz *SAVE MEASUREMENT* - 3) na dysku U:/, a przed przystąpieniem do kolejnego pomiaru (np. z zablokowanym narządem) należy poprzednie dane skasować (klawisz *CLEAR DATA* - 4).
4. Po wykonaniu wszystkich pomiarów należy zatrzymać pompę (klawisz *PUMP OFF* - 2), wyłączyć program i sterownik. **DOPIERO WTEDY MOŻLIWE BĘDZIE IMPORTOWANIE DANYCH DO PROGRAMU *Statistica*.**

5. W kolejnych kolumnach program zapisuje:

**Var1** – czas w [s], **Var2** – ciśnienie P<sub>1</sub> w [mHg], **Var3** – ciśnienie P<sub>2</sub> w [mHg], **Var4** – przepływ w [mL/s]

**UWAGA:** W oknie importu danych w programie *Statistica* należy zaznaczyć: **Variable Delimiting** → **Tab!!!** Pozwoli to na zapisanie danych w **4 osobnych** kolumnach.

Aby przedstawić zmiany ciśnień i przepływu w czasie na jednym wykresie, należy skorzystać z opcji **DOUBLE-Y**, dostępnej w oknie uruchamianym poleceniem **Graphs**→**Scatterplot**.

Następnie należy wybrać zakładkę **Appearance**, a później opcję **Double-Y**. Wracając do zakładki **Quick** można zdefiniować wartości odkładane na poszczególnych osiach (0X, lewej osi 0Y i prawej osi 0Y). Przygotowując wykres w trybie **Double-Y** **nie zaznaczamy** rodzaju wykresu (ani **Regular**, ani **Multiple**)!

