

13.12.2024

# **Akademia Górniczo-Hutnicza**

Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej



Modele kolejkowe

## **Sprawozdanie: System kolejkowy.**

Temat: Sieć kolejkowa do symulacji obsługi pacjentów w przychodni

Kierunek: Automatyka i Robotyka

Dawid Maziarski

Piotr Mamos

## 1. Cel projektu

Celem projektu jest opracowanie i implementacja sieci kolejkowej służącej do symulowania procesów obsługi pacjentów w przychodni.

Symulacja uwzględnia pełną ścieżkę pacjenta — od momentu rejestracji, przez wizyty u odpowiednich lekarzy, aż po finalizację wizyty w kasie. Każdy system w sieci reprezentuje kolejkę do innego specjalisty, a obsługa w poszczególnych systemach odbywa się na podstawie określonych parametrów, takich jak czas obsługi czy priorytety pacjentów.

Aby przyspieszyć symulację i ułatwić analizę wyników, rzeczywiste czasy obsługi zostały skrócone, jednakże implementacja umożliwia dostosowanie parametrów do bardziej realistycznych danych.

## 2. Wstęp teoretyczny

### 1. Intensywność zgłoszeń

Dla każdego systemu  $j$ , intensywność zgłoszeń ( $\lambda_j$ ) można wyznaczyć na podstawie zgłoszeń wpływających bezpośrednio do systemu oraz przejść z innych systemów:

$$\lambda_j = \lambda_j^{we} + \sum_i \lambda_i * p_{ij}$$

gdzie:

- $\lambda_j^{we}$  – intensywność zgłoszeń napływających bezpośrednio do systemu  $j$  (w naszym wypadku tylko do rejestracji),
- $\lambda_i * p_{ij}$  – intensywność zgłoszeń przekazywanych z systemu  $i$  do  $j$ ,
- $p_{ij}$  – prawdopodobieństwo przejścia zgłoszenia z systemu  $i$  do  $j$ .

### 2. Obciążenie systemu

Obciążenie ( $\rho_j$ ) określa, w jakim stopniu dany system jest zajęty:

$$\rho_j = \frac{\lambda_j}{s_j * \mu_j}$$

gdzie:

- $\lambda_j$  – intensywność zgłoszeń w systemie  $j$ ,
- $s_j$  – liczba stanowisk obsługowych w systemie  $j$ ,
- $\mu_j$  – intensywność obsługi jednego stanowiska (np. liczba zgłoszeń obsługiwanych w jednostce czasu).

Dla  $\rho_j < 1$ , system działa bez przeciążenia, natomiast  $\rho_j \geq 1$  oznacza przeciążenie i tworzenie się kolejek.

### 3. Średnia liczba zgłoszeń w systemie

Zgodnie z prawem Little'a, średnia liczba zgłoszeń w systemie ( $L_j$ ) jest powiązana z intensywnością zgłoszeń oraz średnim czasem przebywania zgłoszenia w systemie ( $T_j$ ):

$$L_j = \lambda_j \cdot T_j$$

### 4. Prawdopodobieństwo stanu zerowego

Prawdopodobieństwo, że system j nie obsługuje żadnego zgłoszenia ( $P(0)$ ), wyznacza się dla kolejki M/M/s w następujący sposób:

$$P(0) = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{\left(\frac{\lambda_j}{\mu_j}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda_j}{\mu_j}\right)^s}{s!(1-\rho_j)}}$$

gdzie:

- $\frac{\lambda_j}{\mu_j}$  — natężenie ruchu w systemie.

### 5. Prawdopodobieństwo stanu zajętości

Prawdopodobieństwo, że dokładnie n stanowisk obsługowych jest zajętych, można wyrazić wzorem:

$$P(n) = P(0) \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_j}{\mu_j}\right)^n}{n!}$$

### 6. Średnia liczba zgłoszeń w kolejce

Średnia liczba zgłoszeń oczekujących w kolejce ( $L_{kolejka}$ ) jest funkcją prawdopodobieństwa zajętości wszystkich stanowisk obsługowych ( $P(s)$ ) oraz obciążenia:

$$L_{kolejka} = P(s) \cdot \frac{\rho_j}{1-\rho_j}$$

### 7. Średni czas oczekiwania

Średni czas oczekiwania zgłoszenia w kolejce ( $W_j$ ) można wyznaczyć jako stosunek średniej liczby zgłoszeń w kolejce do intensywności zgłoszeń:

$$W_j = \frac{L_{kolejka}}{\lambda_j}$$

### 3. Założenia symulacji

Program symulacji kolejek pacjentów w klinice wykorzystuje podejście oparte na różnych systemach obsługi, w których pacjenci są przypisani do odpowiednich kategorii i są obsługiwani przez lekarzy. System jest zaprojektowany z wykorzystaniem języka C# i platformy .NET.

#### Symulacja:

- Program tworzy instancję symulacji z ustawieniem czasu aktualizacji (0,05 sekundy) oraz długości symulacji (26 sekund).

#### Lekarze:

- Istnieje zestaw 11 lekarzy, z których każdy ma przypisany unikalny czas obsługi pacjenta (od 0,1 do 5,0 sekundy) oraz przypisane systemy (kolejki pacjentów).
- Lekarze są przypisani do różnych systemów w zależności od ich specjalizacji (np. pediatra, internista, chirurg, itp.).
- Lekarze obsługują pacjentów w ramach FIFO (First In, First Out), z priorytetami w systemach takich jak internista, kardiolog, dermatolog, laryngolog, itd.

#### Systemy Kolejek:

- Program definiuje 8 systemów (kolejek), które reprezentują różne obszary obsługi pacjentów w klinice. Każdy system ma przypisanych lekarzy, którzy go obsługują.
- Systemy różnią się sposobem obsługi pacjentów. Na przykład:
  - **Rejestracja** – FIFO z jednym lekarzem M/M/1/∞/∞/FIFO
  - **Pediatra** – FIFO z dwoma lekarzami M/M/2/∞/∞/FIFO
  - **Internista, Kardiolog, Dermatolog, Laryngolog** – FIFO priorytetowe z różną liczbą lekarzy. M/M/n/∞/∞/FIFO–priorytetowe
  - **Chirurg, Kasa** – FIFO z jednym lekarzem. M/M/1/∞/∞/FIFO

- Dla systemów priorytetowych pacjenci są obsługiwani w zależności od ich priorytetu, który może być różny dla każdego systemu.

#### **Klasy Pacjentów:**

- Klasy pacjentów obejmują różne grupy wiekowe i zdrowotne, które mają swoje specyficzne prawdopodobieństwa przydziału do różnych systemów. Każda klasa pacjentów ma przypisane:
  - **Prawdopodobieństwo przejścia między systemami** – określa, do jakiego systemu pacjent może przejść, bazując na jego klasie (np. dziecko, dorosły, starsza osoba).
  - **Prawdopodobieństwo priorytetów** – dotyczy pacjentów priorytetowych, wskazując szansę na dany priorytet (np. wysoki, średni, niski).
- Przykładowe klasy to:
  - **Dziecko (Child)** – z szansą na 25% przydział do tej klasy, z różnymi prawdopodobieństwami przejścia do różnych systemów.
  - **Dorosły (Adult)** – z szansą na 40% przydział do tej klasy.
  - **Starszy (Elder)** – z szansą na 35% przydział do tej klasy.

#### **Generator Pacjentów:**

- Generator generuje pacjentów z różnymi klasami w zadanych odstępach czasu (co 0,05 sekundy), z określoną szansą na dodanie pacjenta do systemu.
- Każdy pacjent jest generowany na podstawie szansy, która decyduje o tym, do jakiej klasy i systemu trafi.

#### **Zarządzanie Zdarzeniami:**

- Program zarządza symulacją poprzez wywoływanie różnych zdarzeń, takich jak start, zatrzymanie generowania pacjentów oraz zakończenie symulacji. Dzięki temu można kontrolować przebieg całego procesu.

#### **Wyświetlanie Informacji:**

- Na końcu symulacji program wyświetla informacje o stanie systemu, takie jak liczba pacjentów w różnych systemach, czas oczekiwania oraz dostępność lekarzy.

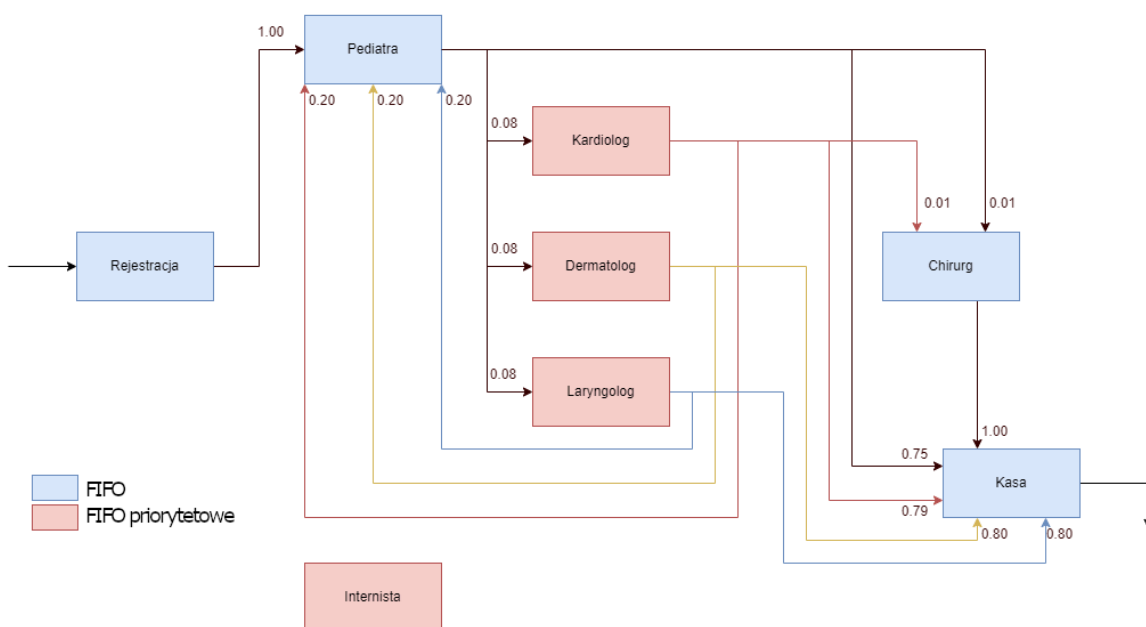
#### **Domyślne Ustawienia i Parametry:**

Powyższe są domyślnymi ustawieniami, a parametrami konfigurowalnymi są:

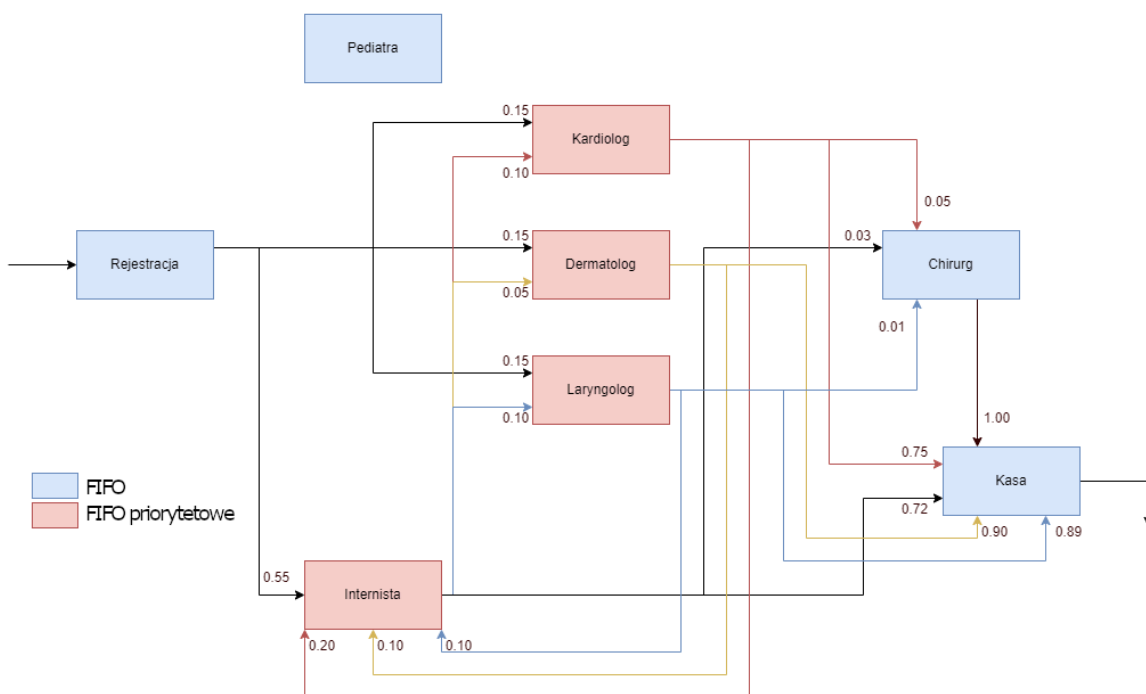
- Prawdopodobieństwa wystąpienia każdej z klas.
- Prawdopodobieństwa przejść do danych systemów w obrębie klasy.
- Prawdopodobieństwo każdego z priorytetów w obrębie klasy.
- Średni czas przybywania zgłoszenia.
- Liczba obiektów danego systemu.

- Czas obsługi każdego systemu.

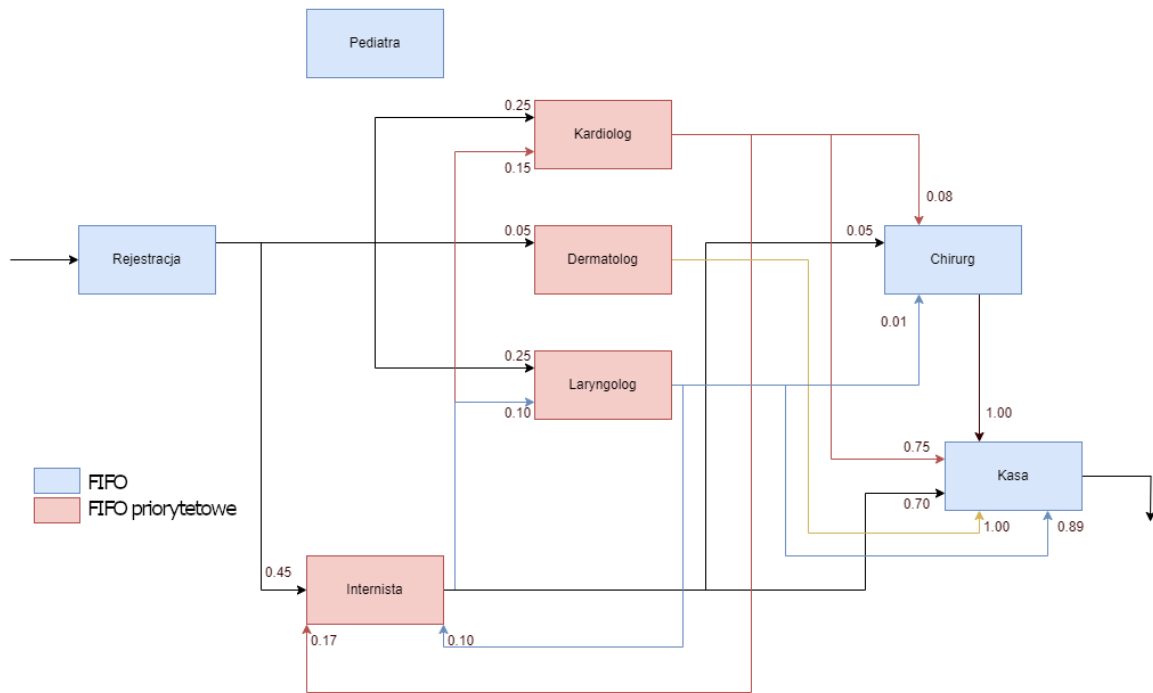
Te parametry można dostosować w celu przeprowadzenia różnych scenariuszy symulacji i analizy wydajności systemu.



Rys. 1 Schemat działania sieci dla dziecka



Rys. 2 Schemat działania sieci dla dorosłego



Rys. 3 Schemat działania sieci dla osoby starszej

## 4. Wyniki Symulacji

Konsola debugowania programu Microsoft Visual Studio

Statystyki lekarzy:

Lekarz 0 - Rejestracja, obsłużono 130 pacjentów:  
35 dzieci, 52 dorosłych i 43 starszych.

Lekarz 10 - Pediatra, obsłużono 19 pacjentów:  
19 dzieci, 0 dorosłych i 0 starszych.

Lekarz 11 - Pediatra, obsłużono 19 pacjentów:  
19 dzieci, 0 dorosłych i 0 starszych.

Lekarz 20 - Internista, obsłużono 17 pacjentów:  
0 dzieci, 9 dorosłych i 8 starszych.

Lekarz 21 - Internista, obsłużono 18 pacjentów:  
0 dzieci, 12 dorosłych i 6 starszych.

Lekarz 22 - Internista, obsłużono 17 pacjentów:  
0 dzieci, 8 dorosłych i 9 starszych.

Lekarz 30 - Kardiolog, obsłużono 31 pacjentów:  
2 dzieci, 12 dorosłych i 17 starszych.

Lekarz 40 - Dermatolog, obsłużono 18 pacjentów:  
2 dzieci, 13 dorosłych i 3 starszych.

Lekarz 50 - Laryngolog, obsłużono 30 pacjentów:  
5 dzieci, 11 dorosłych i 14 starszych.

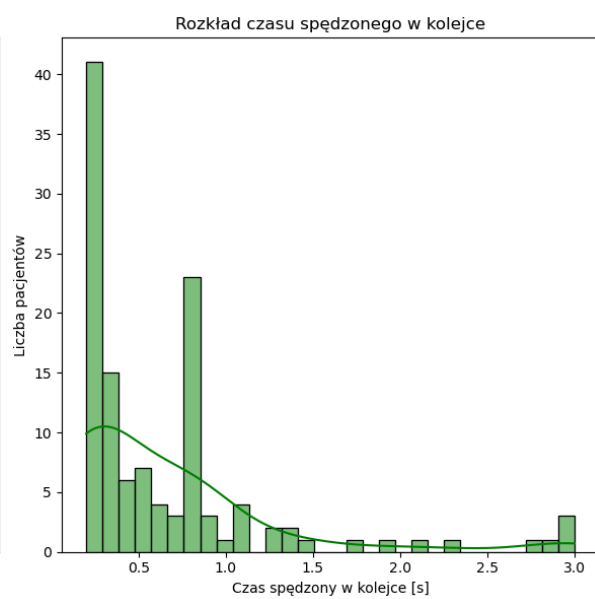
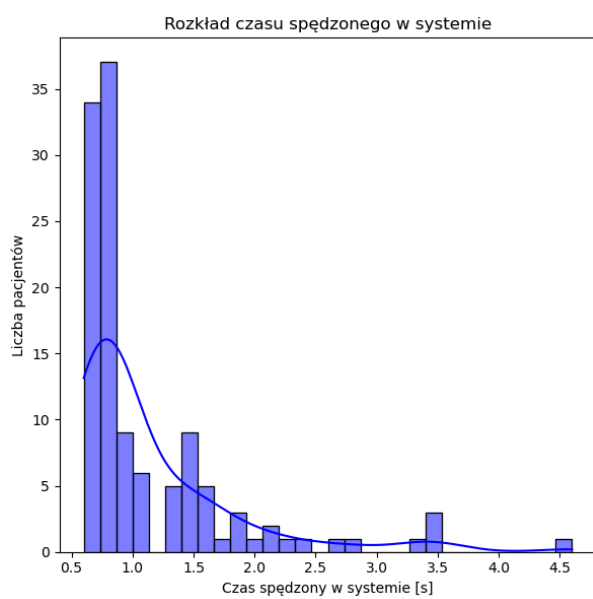
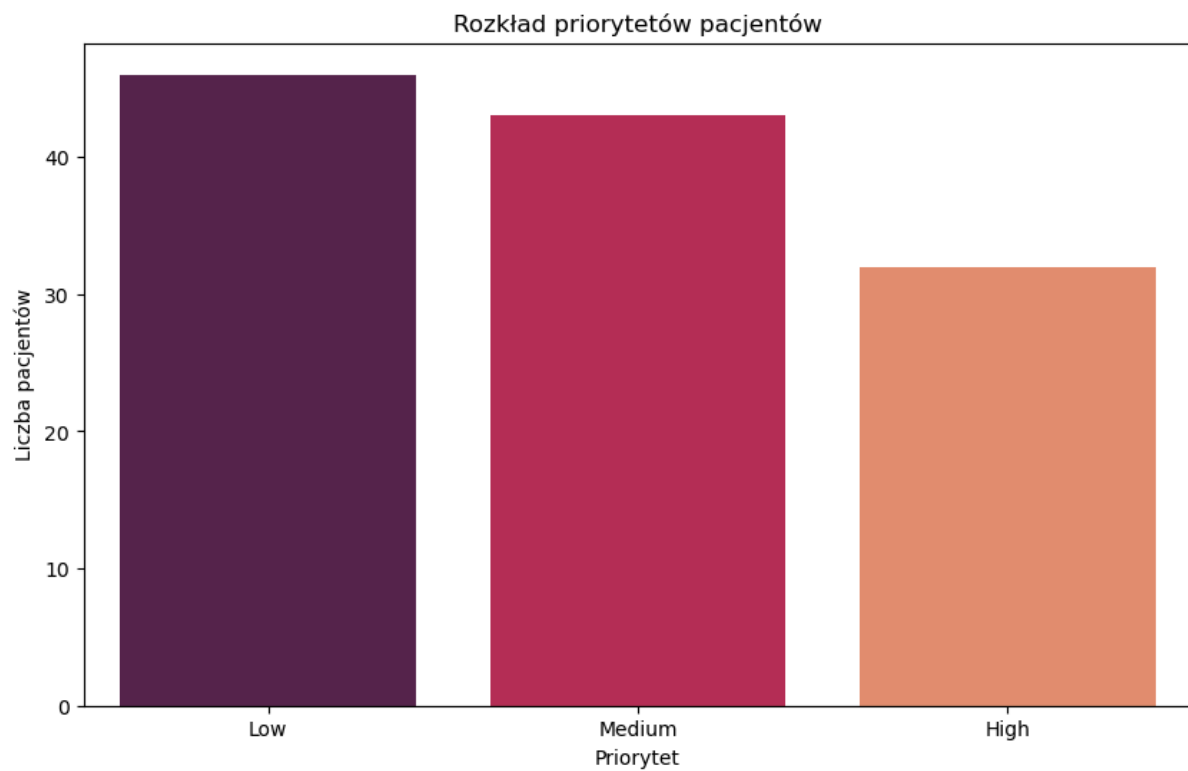
Lekarz 60 - Chirurg, obsłużono 5 pacjentów:  
1 dzieci, 1 dorosłych i 3 starszych.

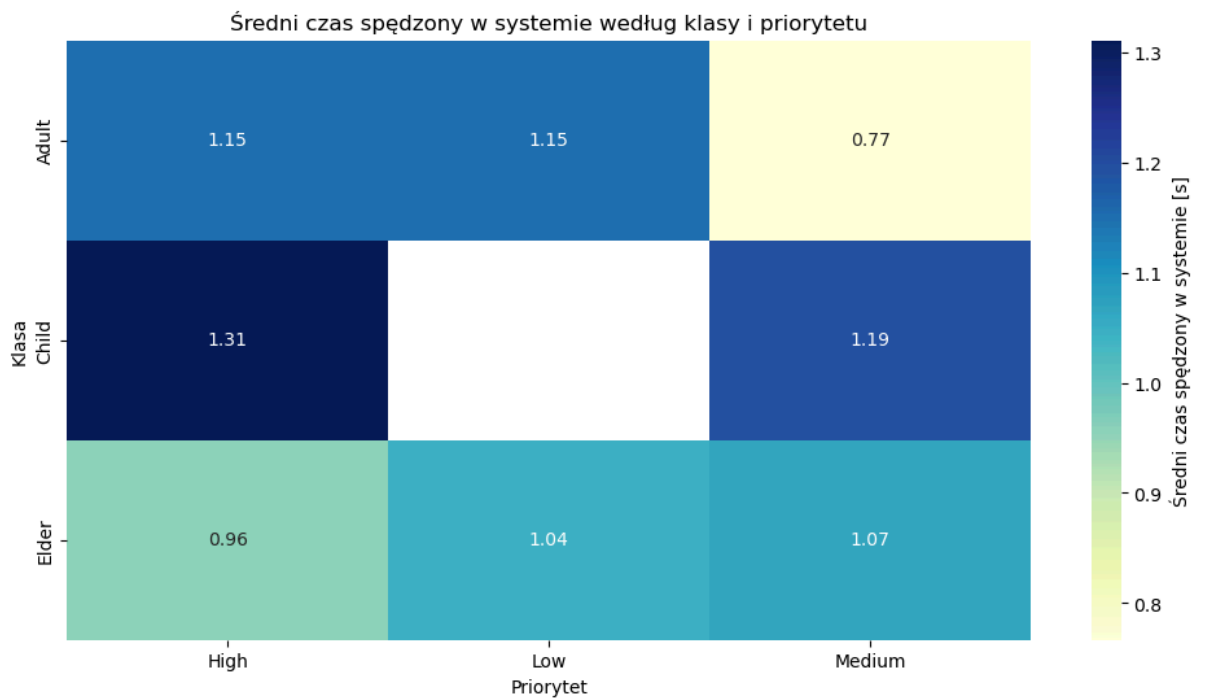
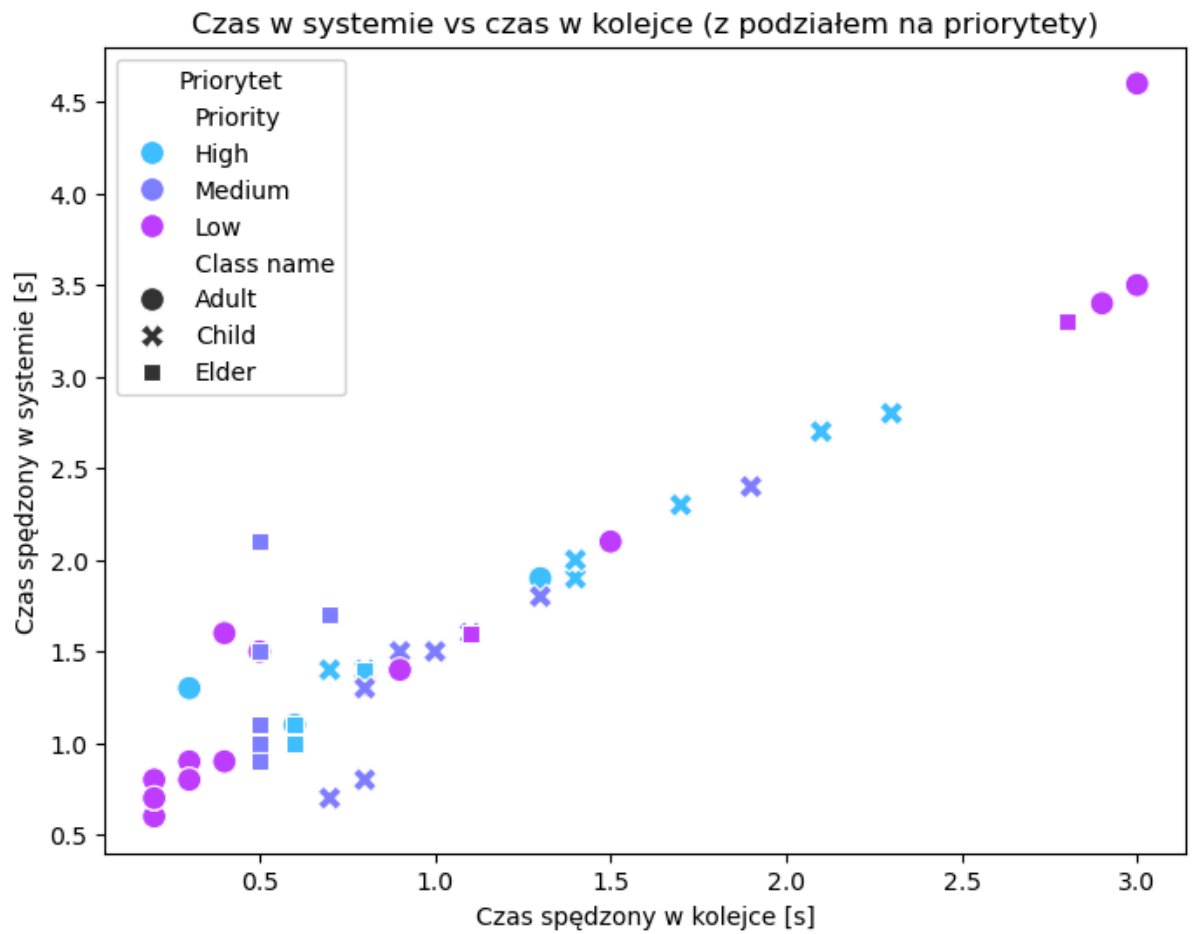
Lekarz 70 - Kasa, obsłużono 130 pacjentów:  
35 dzieci, 52 dorosłych i 43 starszych.

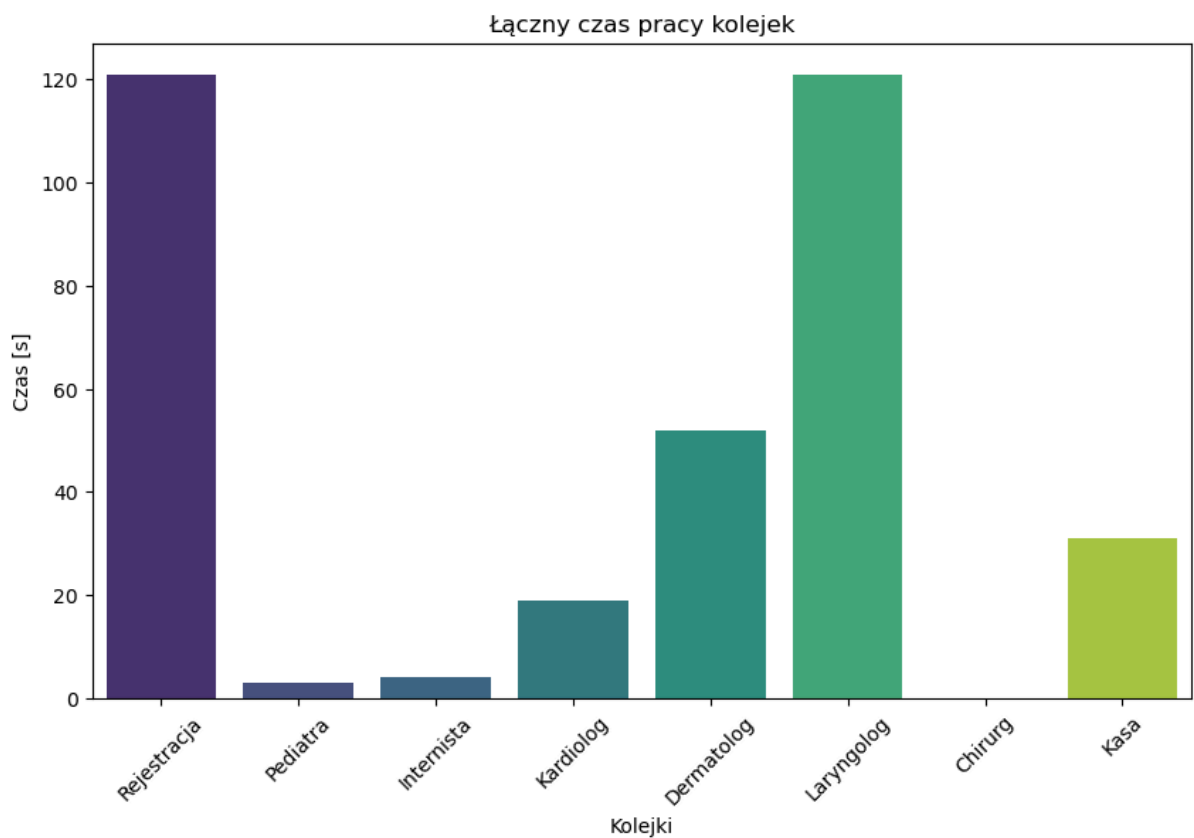
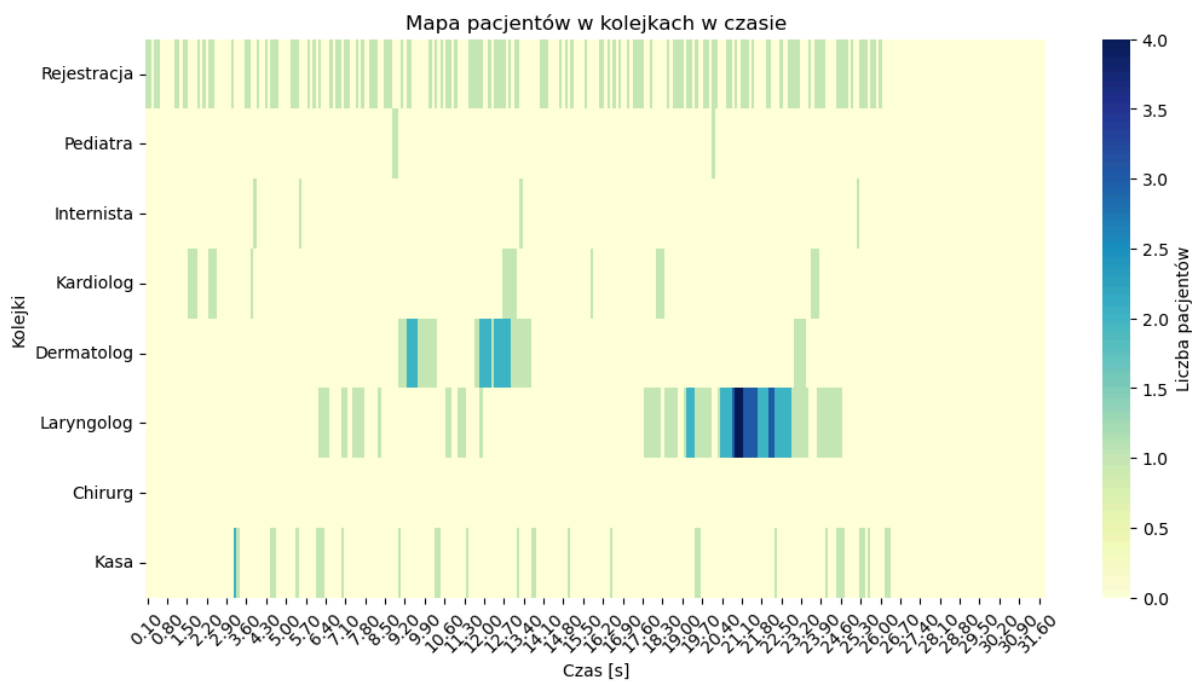
Rys. 4 Przykładowy wynik działania symulacji na konsoli

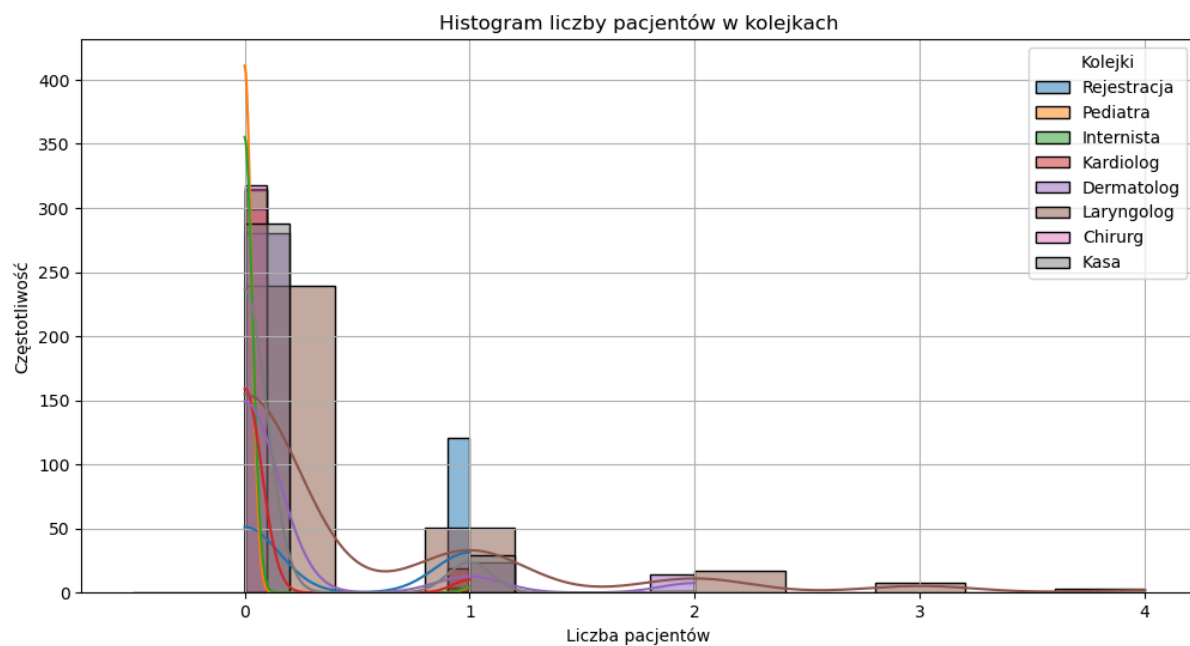
Dla domyślnych wartości parametrów otrzymaliśmy poniższe statystyki:











## 5. Podsumowanie