

Symulacja działania Szpitalnego Oddziału Ratunkowego.

PROPOZYCJA RÓŻNYCH ZMIAN.

ALEKSANDRA WALCZYBOK I IZABELA PANICZEK

Wstęp

Poważnym problemem, który coraz częściej jest podnoszony w mediach to kwestia czasu oczekiwania na pomoc w szpitalu, szczególnie na Szpitalnym Oddziale Ratunkowym. Jest to miejsce, które odwiedzamy w skrajnych dla nas przypadkach. Dlatego uważamy to za tak ważne, aby czas był krótki, szczególnie dla osób w ciąży, starszych lub z niepełnosprawnościami i dzieci. Warto zauważyć, że SOR nie jest przychodnią medyczną, więc nie obowiązuje tam odgórnie ustalona kolejka, w tym wypadku to przypadek z jakim przybywamy decyduje o tym jak szybko zostaniemy przyjęci. Tutaj rodzi się pytanie czy nie lepiej na wstępie stworzyć podział pacjentów na stopień uraz, a także na priorytet - mało poważny uraz będzie groźniejszy dla osób, które są w grupie z większymi potrzebami. Dlatego głównym aspektem, który zdecydowałyśmy się badać to wprowadzenie takich zmian, aby oczekiwanie na pomoc było jak najkrótsze dla wskazanej grupy. Zaproponowane przez nas zmiany obejmują stworzenie stanowisk lekarza ogólnego na SORze co ułatwi pomoc w sprawach, które nie wymagają odwiedzenia oddziału szpitalnego. Badamy różne wartości proporcji lekarzy ogólnych do tych znajdujących się w szpitalu. Dodatkowo sprawdzamy jaki typ kolejki lepiej sprawdza się dla osób z priorytetem. Wydajność różnych kolejek i proporcji lekarzy sprawdzamy na różnej wielkości grupy pacjentów. Te właśnie badania postaramy się przedstawić na następnych stronach.

Cel badań

Tak jak wspominałyśmy naszym celem badania jest skrócenie czasu oczekiwania na pomoc pacjentów ze specjalnymi potrzebami. Będziemy minimalizować czas osób z priorytetem stosując podział na lekarza ogólnego oraz przyjęcie na oddział, a także badając różne typy kolejek, proporcje pomiędzy liczbą lekarzy ogólnych, a wszystkimi lekarzami w szpitalu. Dodatkowo sprawdzamy jak przy większej ilości pacjentów będzie rósł czas spędzony na oczekiwaniu. To pozwoli ustalić nam odpowiedni typ kolejki zależnie od faktu, ile lekarzy możemy poświęcić z innych oddziałów.

Model konceptualny

Postanowiłyśmy zmodyfikować przyjmowany schemat działania SORu. Oprócz dobrze znanych punktów, które się odwiedza jako pacjent na Szpitalnym Oddziale Ratunkowym - takimi jak rejestracja, gdzie podaje się swoje dane oraz powód odwiedzin, poczekalnie oraz pielęgniarki, które po krótkim wywiadzie prowadzą nas na odpowiedni oddział. Wprowadziliśmy opcję lekarza ogólnego, który wyręczy pielęgniarki oraz oddział z przypadków, które nie wymagają pozostania w szpitalu na dłużej.

Nasze badania przeprowadzałyśmy dla trzech typów kolejki dla pacjentów oczekujących na przyjęcie u lekarza ogólnego:

- Kolejka normalna - najprostszy rodzaj kolejki, nowi pacjenci udają się na jej tył.

- Dwie kolejki - podział na dwie kolejki, jedną dla osób z priorytetem, drugą bez niego. Pacjent kończący rejestrację, miał sprawdzany priorytet - zależnie od niego dostawał się do odpowiedniej kolejki. Warto poinformować, że dla nieparzystej liczby lekarzy dla osób z priorytetem jest o jeden więcej lekarz.
- Kolejka co trzy - na początku pacjent jest sprawdzany pod względem priorytetu. Jeśli go posiada, sprawdzamy, gdzie znajduje się ostatnia osoba z priorytetem. Możemy rozważyć trzy przypadki:
 - Brak osoby z priorytetem - dajemy na początek kolejki
 - Osoba z priorytetem znajduje się do trzech miejsc od końca - dajemy pacjenta na koniec kolejki
 - W innym wypadku dajemy pacjenta trzy miejsca za ostatnią osobą z priorytetem.

Najważniejsze obiekty w naszej symulacji:

- Pacjent - Każdy z nich wyróżniał się kilkoma cechami:
 - Priorytetem - ten parametr oznaczał fakt czy pacjent potrzebuje specjalnego traktowania: czy jest w ciąży, czy posiada niepełnosprawności, ale także czy może być osobą starszą lub dzieckiem.
 - Urazem - wyróżniamy sześć typów urazu (uraz mechaniczny, uraz skórny, infekcja, choroby pokarmowe, choroby oddychania, choroby krążenia), zależnie od niego decydujemy, na który oddział muszą trafić (to wpływa na piętro, na które muszą się dostać)
 - Czasem wejścia - jest to atrybut czasu, który wskazuje, kiedy pacjent pojawi się w szpitalu.
 - Czasem wyjścia - w tym miejscu jest ogólny czas pacjenta spędzony w szpitalu.
- Szpital
 - W nim też definiujemy, ile lekarzy jest na oddziale, a ile ogólnych.
 - Na podstawie proporcji tych lekarzy jest dopasowane prawdopodobieństwo zatoru - czym mniej jest lekarzy na oddziale, tym większe szanse na zator.
 - W nim zbieramy wszystkich lekarzy, pielęgniarki, a także liczbę oddziałów oraz okienek rejestracji.
- Rejestracja
- Lekarz
- Pielęgniarka

Każdy z obiektów ma określoną rolę, którą ma za zadanie spełnić - przybliżymy ją dokładniej w zaprezentowaniu uproszczonego wyglądu modelu naszej symulacji:

1. Rozpoczęcie symulacji
2. Ustawienie czasu symulacji na 0
3. Jeśli kolejki do lekarza, na SOR i rejestracji są puste, a także jeśli wszystkie zdarzenia już się wykonały zakończ symulację, w przeciwnym razie kontynuuj.

4. Jeśli zdarzenia czasowe czekają na wykonanie (czyli przynajmniej jeden pacjent czeka na bycie obsłużonym):
 - a. Wybieramy zdarzenie czasowe z najmniejszym atrybutem czasowym (T), a resztę atrybutów czasowych zmniejszamy o T oraz dodajemy go do czasu symulacji.
 - b. Jeśli najbliższe zdarzenie czasowe to wejście pacjenta do szpitala:
 - i. Jeśli kolejka do rejestracji jest pusta:
 1. Ustaw pacjenta do okienka do rejestracji
 - ii. W przeciwnym razie dodaj go do kolejki do rejestracji
 - c. Jeśli najbliższe zdarzenie czasowe to koniec obsługi pacjenta w rejestracji:
 - i. Usuń pacjenta z okienka rejestracji
 - ii. Zmień status okienka na wolne.
 - iii. Jeśli ten pacjent ma ciężki stopień urazu:
 1. Jeśli kolejka do pielęgniarki jest pusta:
 - a. Niech pacjent idzie do pielęgniarki.
 2. W przeciwnym razie niech czeka w kolejce do pielęgniarki
 - iv. W przeciwnym razie: jeśli kolejka do lekarza ogólnego jest pusta:
 1. Jeśli wybraną kolejką była kolejka normalna (jedna kolejka dla wszystkich):
 - a. Jeśli przynajmniej jeden lekarz jest wolny to przydziel mu pacjenta.
 - b. w przeciwnym razie przydziel pacjenta do kolejki do lekarza.
 2. Jeśli to były dwie kolejki (osobna dla priorytetu) to:
 - a. Jeśli obsługiwany pacjent jest pacjentem z priorytetem:
 - i. Jeśli chociaż jeden lekarz z lekarzy z priorytetem jest wolny to przydziel mu pacjenta.
 - ii. W przeciwnym razie ustaw pacjenta w kolejce do lekarza dla osób z priorytetem.
 - b. W przeciwnym razie:
 - i. Jeśli chociaż jeden lekarz z lekarzy bez priorytetu jest wolny to przydziel mu pacjenta
 - ii. W przeciwnym razie ustaw pacjenta w kolejce do lekarza dla osób bez priorytetu.
 3. Jeśli to była kolejka co trzy (tzn. osoby z priorytetem wchodzi szybciej):
 - a. Jeśli chociaż jeden lekarz jest wolny to przydziel mu pacjenta.
 - b. w przeciwnym razie:
 - i. Jeśli to pacjent z priorytetem:
 1. Jeśli jest już osoba z priorytetem w kolejce:

- a. Jeśli ta osoba jest trzecia od końca lub bliżej, to dodaj pacjenta do kolejki.
 - b. W przeciwnym razie dodaj trzy miejsca za ostatnią osobą z priorytetem.
 - 2. W przeciwnym razie: dodaj na początek kolejki.
- d. Jeśli najbliższym zdarzeniem czasowym to koniec obsługi pacjenta u lekarza to:
 - i. Usuń pacjenta z gabinetu.
 - ii. Zapisz mu czas jaki spędził w szpitalu - odejmij jego czas wejścia od całego czasu trwania symulacji.
 - iii. Zmień status lekarza na wolny.
- e. Jeśli najbliższym zdarzeniem czasowym to koniec obsługi pacjenta u pielęgniarki to:
 - i. Sprawdź warunek braku miejsc na oddziale ("zatoru"):
 - 1. Jeśli występuje to zwiększ atrybut czasowy o wylosowaną wartość czasu z danego przedziału dla tego pacjenta.
 - 2. W przeciwnym razie:
 - a. Usuń pacjenta
 - b. Zapisz mu czas jaki spędził w szpitalu - odejmij jego czas wejścia od całego czasu trwania symulacji.
 - c. Zmień status pielęgniarki na wolny.
- 5. Jeśli stosujemy dwie kolejki:
 - a. Jeśli jest chociaż jeden wolny lekarz od pacjentów z priorytetem to:
 - i. Usuń pacjenta z kolejki z priorytetem.
 - ii. Przydziel go do lekarza.
 - iii. Zmień status lekarza na zajęty.
 - iv. Wróć do punktu 5.a.
 - b. Jeśli jest chociaż jeden wolny lekarz od osób bez priorytetu:
 - i. Usuń pacjenta z kolejki bez priorytetu.
 - ii. Przydziel go do lekarza.
 - iii. Zmień status lekarza na zajęty.
 - iv. Wróć do punktu 5.b.
- 6. W przeciwnym razie:
 - a. Jeśli jest chociaż jeden wolny lekarz to:
 - i. Usuń pacjenta z kolejki.
 - ii. Przydziel go do lekarza.
 - iii. Zmień status lekarza na zajęty.
 - iv. Wróć do punktu 6.a.
- 7. Wróć do punktu 3.

Parametry

Parametry możemy podzielić najpierw na te, które my ustalamy na wejściu oraz na zakłócenia narzucone z góry. Dodatkowo, niektóre z nich są niedeterministyczne, co dodaje element losowości w naszych symulacjach. Za to deterministyczne pozwalają nam dopasować dane do badania w określonych warunkach, a szczególnie parametry wejścia deterministyczne, poprzez, które głównie będziemy porównywać czas priorytetu i czas osób bez priorytetu.

Tabela 1 - parametry modelu

	deterministyczne	niedeterministyczne
wejście	rodzaj kolejki, liczba pacjentów, proporcja (liczba lekarzy ogólnych do liczby wszystkich lekarzy)	rozkład pacjentów w czasie
zakłócenia	liczba oddziałów, liczba pielęgniarek, całkowita liczba lekarzy, liczba okienek z rejestracją	rozkład rodzajów urazu, procent osób z poważnym urazem, procent osób z priorytetem, czas na wyleczenie/zarejestrowanie, czas na dojście na oddział, proporcja osób z priorytetem zator obsługi (zależny od proporcji)

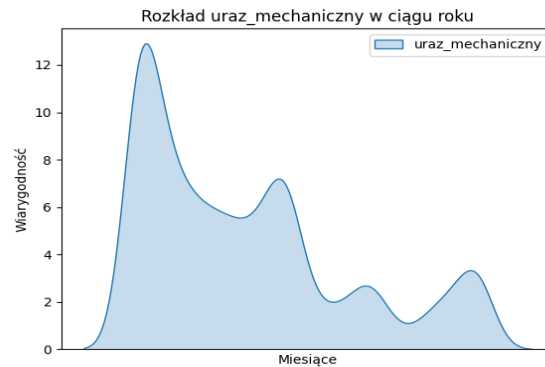
Plan badań symulacji

Teraz omówimy dokładnie wskazane parametry:

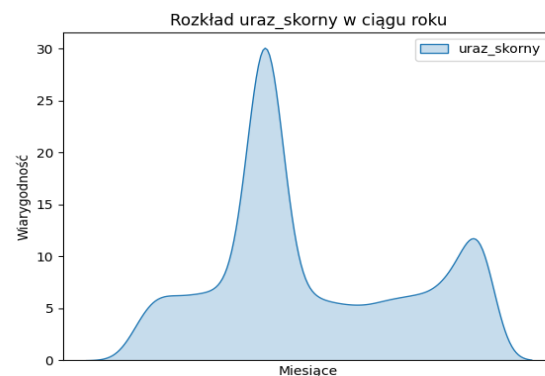
Parametry wejściowe:

- Parametry: wejście i deterministyczne:
 - Rodzaj kolejki - rozróżniamy trzy typy kolejek - normalną, dwie kolejki i co trzy. Stosujemy je przy obsłudze pacjentów do lekarzy ogólnych.
 - Proporcja jest to stosunek liczby ogólnych lekarzy do wszystkich lekarzy w szpitalu. Z jednej strony większa ilość lekarzy ogólnych przyspiesza obsługę osób bez poważnych urazów, z drugiej generuje zastoje. My przyjmujemy wartości odpowiednio $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{3}$ i $\frac{1}{2}$.
 - Liczba pacjentów. Bierzemy pod uwagę 100, 500 i 1000 pacjentów.
- Parametry: wejścia i niedeterministyczne:
 - Rozkład pacjentów w czasie - każdy z pacjentów losuje, kiedy się pojawi z rozkładu normalnego o średniej 80 i odchyleniu standardowym 50. Bierzemy pod uwagę wartości od 0 do 220 minut.

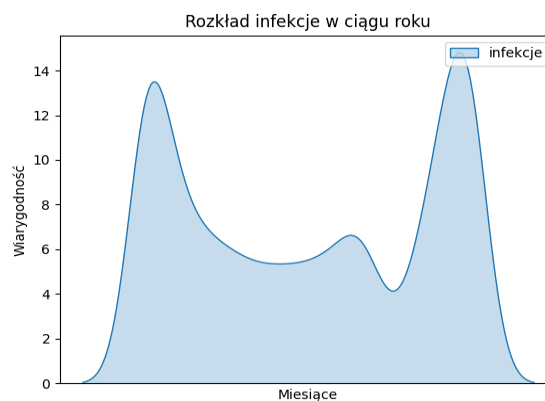
- Parametry: zakłócenia i deterministyczne:
 - Liczba oddziałów - równa liczbie rodzajów urazów.
 - Liczba pielęgniarek wynosi osiem.
 - Liczba lekarzy wynosi dwadzieścia.
- Parametry: zakłócenia i niedeterministyczne:
 - rozkład urazów - mamy urazy mechaniczne, urazy skórne, infekcje, układu krążenia, układu oddechowego, układu pokarmowego.
 - Tak prezentują się w trakcie roku:



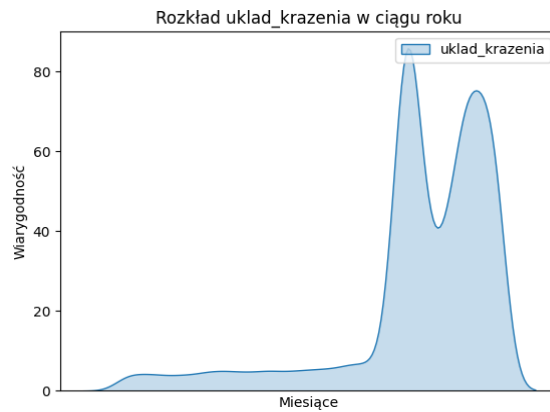
Wykres 1 - rozkład urazów mechanicznych



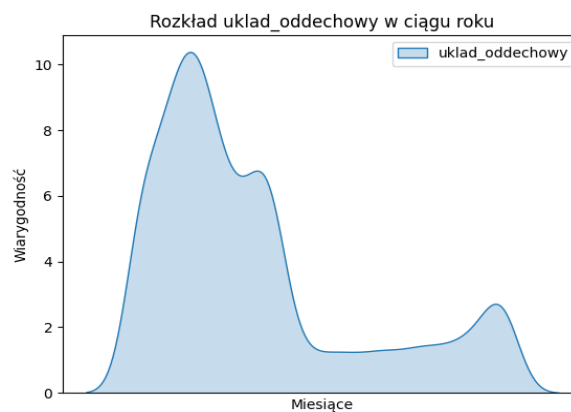
Wykres 2 - rozkład urazów skórnych



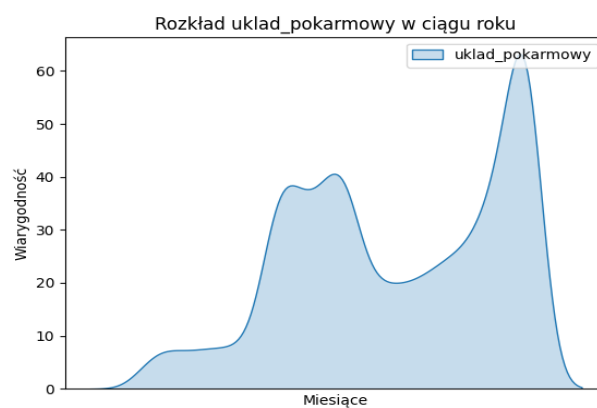
Wykres 3 - rozkład infekcji w trakcie roku.



Wykres 4 - rozkład chorób układu krążenia



Wykres 5 - rozkład chorób układu oddechowego



Wykres 6 - rozkład chorób układu pokarmowego

- Czas na dojazd na oddział to przedziały czasu, są również zależne od rodzaju urazu:
 - Pierwsze piętro dotyczy urazu mechanicznego oraz skórno. Dojazd trwa od 3 do 6 minut. Losowana jest liczba z tego przedziału
 - Drugie piętro dotyczy chorób oddychania oraz infekcji. Dojazd trwa od 5 do 8 minut. Losowana jest liczba z tego przedziału.

- Trzecie piętro dotyczy układu pokarmowego i krążenia. Dojście trwa od 6 do 9 minut. Losowana jest liczba z tego przedziału.
- Czas na bycie obsłużonym przez pielęgniarkę jest liczbą z przedziału 4, a 8 minut.
- Parametr czasu obsługi przez lekarza jest liczbą z przedziału od 15 do 45 minut.
- Parametr uwzględniający szanse na zator przy przyjmowaniu ludzi na oddziale bierze pod uwagę fakt, że czym mniejsza liczba lekarzy na oddziale, tym większe mogą być zastoje. Czas, który naliczy się za przeciążenie oddziału wynosi od 5 do 15 minut czekania.

Tabela 2 – przedziały proporcji i odpowiadające szanse na zator

Przedziały proporcji	Szanse na zator
(0.9, 1)	0.9
(0.8, 0.9]	0.85
(0.6, 0.8]	0.75
(0.5, 0.6]	0.65
(0.4, 0.5]	0.45
(0.3, 0.4]	0.2
(0.1, 0.3]	0.15
w innym przypadku	0.05

- Procent osób z poważnym urazem jest losowana z zakresu 30 – 40%
- Procent osób z priorytetem jest losowana z zakresu 15-20%

Tak jak opisałyśmy powyżej stosujemy plan trójpoziomowy na bazie, którego prowadzimy symulację, w którym porównujemy każdy możliwy parametr z każdym, dlatego dostajemy 27 sytuacji, a samą symulację powtarzamy trzykrotnie, więc mamy 81 wyników. O te te parametry:

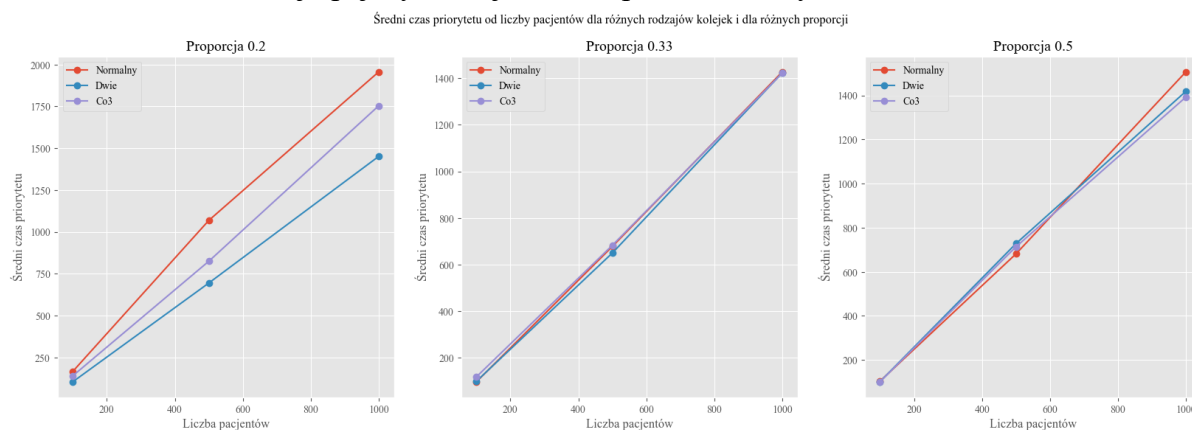
Tabela 3 - parametry wejścia deterministycznego

Liczba pacjentów	Proporcja lekarzy	Rodzaj kolejki
100	1/5	normalny
500	1/3	dwie
1000	1/2	co3

Wyniki badań symulacyjnych

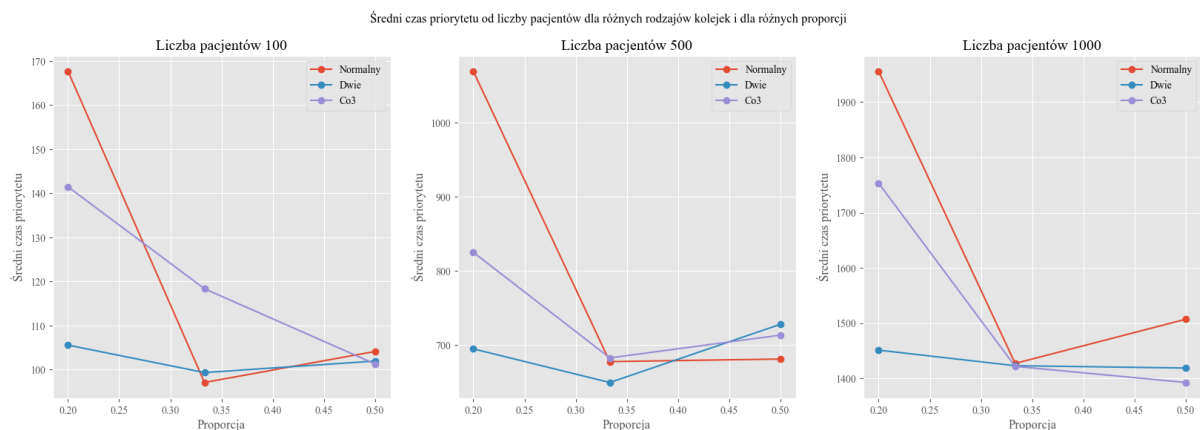
Aby ocenić jakość kolejek względem różnych parametrów przyjęliśmy do badań powyższe wartości parametrów zmiennych (tzn. liczbę pacjentów, proporcję lekarzy oraz rzecz jasna rodzaj kolejki).

Obliczyliśmy rezultaty czasowe dla każdej konfiguracji powyższych parametrów. Ze względu na losowość, dla każdej opcji symulacja została puszczona trzykrotnie.



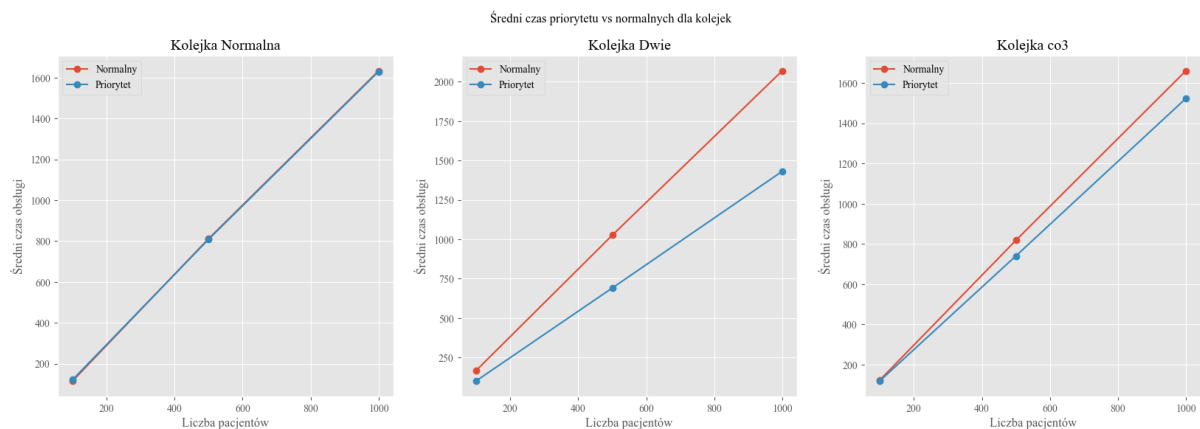
Wykres 7 - Wykres średniego czasu priorytetu od liczby pacjentów dla różnych rodzajów kolejek i proporcji

Wykorzystując otrzymane wyniki przeprowadziliśmy analizę poszczególnych kolejek. Pierwotnym celem badań było zbadanie, jaka kolejka najlepiej sprawdzi się w kontekście pacjentów z priorytetem, tzn. dla jakiej kolejki czas oczekiwania pacjenta z priorytetem będzie najkrótszy. Na wykresie nr 7 można zobaczyć, jak kolejki radzą sobie pod wpływem zmiany liczby klientów, dla każdej proporcji osobno. Najgorszy czas osiąga kolejka normalna dla proporcji 0.2. Jest to wynik zgodny z oczekiwaniem, gdyż wtedy na SORze znajdują się najmniej lekarzy a kolejka normalna nie daje pierwszeństwa osobom z priorytetem. Analizując wykres z proporcją 0.2 widzimy, iż najlepsza jest opcja z dwoma kolejkami. Wraz ze wzrostem liczby pacjentów kolejki bardziej różnią się od siebie - co ciekawe w tym kontekście dla pozostałych proporcji nie widać, aż tak dużych różnic. Dla proporcji 0.33 kolejki są najbardziej zbliżone do siebie, dla 500 pacjentów widzimy większą różnicę dla kolejki 'dwie'. Dla proporcji 0.5 jakość kolejek zmienia się najbardziej, ponieważ dla 100 wszystkie mają podobne wartości, natomiast dla 500 to o dziwo normalna sprawuje się najlepiej, choć przy maksymalnej liczbie zaczyna już znacząco odbiegać od reszty i dla 1000 pacjentów radzi sobie najgorzej, natomiast w tym przypadku kolejka 'co3' ma najmniejszy średni czas. Z wykresów można odczytać, że stosowanie zamienników kolejki normalnej daje pozytywne efekty, natomiast gdybyśmy miały ocenić czy kolejka 'co3' czy 'dwie' radzi sobie lepiej można przypuszczać, iż będzie to kolejka 'dwie', ale pewniejszy wynik otrzymamy wykorzystując testy statystyczne. Należy pamiętać, że w symulacji procent osób z priorytetem jest losowy, a więc może on wpływać na zaprezentowane wyniki, gdyż im większy procent osób z priorytetem tym oczywiście większy będzie czas ich oczekiwania.



Wykres 8 - Wykres średniego czasu priorytetu od proporcji lekarzy dla różnych rodzajów kolejek i liczby pacjentów

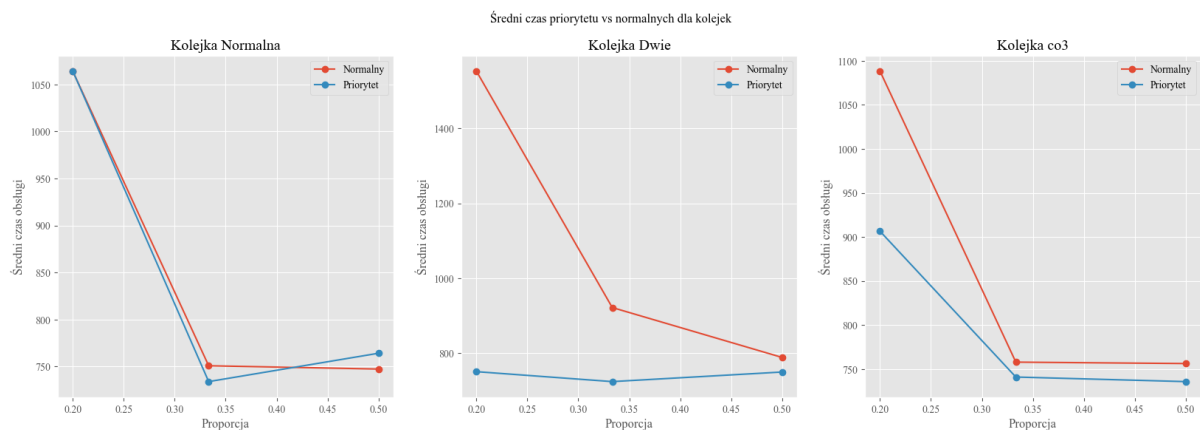
Następnie opracowałyśmy podobne analizy, natomiast w tym przypadku sprawdzałyśmy czas priorytetu w zależności od proporcji dla danej liczby pacjentów. Widzimy na wykresie numer 8 to, co również można było zauważyć na wcześniejszym wykresie, że dla proporcji 0.33 dla liczby 500 i 1000 wszystkie kolejki mają podobny czas. Dla liczby pacjentów 100 kolejka ‘dwie’ jest najbardziej stabilna, tzn. odporna na zmiany proporcji i średnio radzi sobie najlepiej. Generalnie kolejka ‘dwie’ jest dość jednostajna, jedynie w przypadku proporcji 0.5 dla liczby pacjentów 500 odbiega od wcześniejszych wyników. Na każdym wykresie największe różnice są dla proporcji 0.2, natomiast dla proporcji 0.5 najmniejsze. Dla proporcji 0.5 średnio najlepiej radzi sobie kolejka ‘co3’, a więc dla takiej proporcji ona wydaje się być najlepszym rozwiązaniem, natomiast, gdy chcemy, aby czas nie był uzależniony od proporcji lekarzy jaka będzie w danym dniu to najbardziej optymalnym wyborem wydaje się kolejka ‘dwie’. Tak jak w powyższych rozważaniach rezultaty pokazują, iż zawsze lepiej wybrać inną konfigurację niż normalną. Jedynie dla nielicznych przypadków jak proporcja 0.33, gdzie różnice są nieduże między kolejkami, faktycznie ostateczny wybór nie będzie miał dużego znaczenia na średni czas oczekiwania klienta z priorytetem.



Wykres 9 - Wykres średniego czasu priorytetu i czasu osoby normalnej w zależności od liczby pacjentów i rodzaju kolejki

Kolejnym etapem naszych badań była ocena, czy faktycznie czas priorytetu w danej kolejce jest mniejszy niż czas osoby bez priorytetu. Tym razem wykres 9 uzyskałyśmy nie robiąc podziału na proporcję. Oceniamy średni czas obsługi w zależności od liczby pacjentów. Odwrotna sytuacja ma miejsce na wykresie numer 10 tam nie rozróżniamy ze względu na

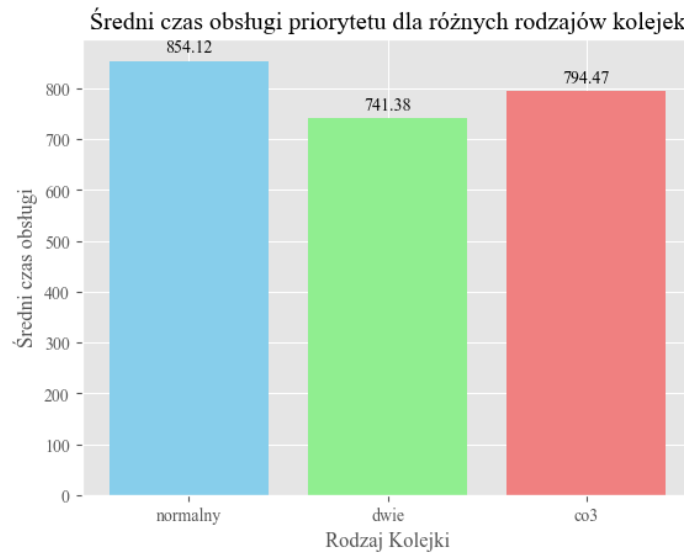
liczbę pacjentów a jedynie na proporcję. Analizując wykres 9, widzimy, że kolejka normalna rzeczywiście nie rozróżnia osób z priorytetem i bez, a więc czasy dla obu typów pacjentów są takie same. Co innego widać na dwóch pozostałych wykresach. Zdecydowaną różnicę można spostrzec dla kolejki ‘dwie’, co jest poprawne z przypuszczeniami. Interesujące jest to, iż różnica między czasami rośnie wraz z liczbą pacjentów. Dla 100 nie są widoczne, aż tak duże różnice jak dla 1000. Kolejka ‘co3’ również dobrze rozróżnia dwa typy osób, ale jednak różnice nie są, aż tak widoczne jak dla kolejki ‘dwie’. Gdyby ocenić jaka kolejka jest najlepsza względem tego kryterium, widać, że jest to kolejka ‘dwie’, która dla każdej liczby pacjentów daje najlepsze (najmniejsze) czasy oczekiwania osób z priorytetem, ale czas oczekiwania osób normalnych dla tej konfiguracji jest najgorszy - np. dla liczby pacjentów 1000 to około 2000, gdzie dla kolejki normalnej było to około 1600. Dla kolejki ‘co3’ czas osoby bez priorytetu, również jest większy niż ten czas w kolejce normalnej, ale różnica jest nieznaczna.



Wykres 10 - Wykres średniego czasu priorytetu i czasu osoby normalnej w zależności od proporcji rodzaju kolejki

Różnice czasowe między osobą z priorytetem a bez, względem proporcji, dają podobne rezultaty co uzyskane powyżej. Analizując wykres 10 widzimy, że dla kolejki normalnej różnice są nieznaczne, choć tu widać je większe niż rozpatrując kolejki względem liczby pacjentów. Dla kolejki ‘dwie’ różnice są największe, choć maleją wraz ze wzrostem proporcji. Szczególnie można zauważyć, że czasy dla proporcji 0.5 są najbardziej zbliżone dla obu typów pacjentów, ma to swoje wytłumaczenie, gdyż wtedy mamy najwięcej lekarzy na SORze. Wykres ten po raz kolejny pokazuje, że proporcja 0.33 daje dla każdej kolejki dość podobne rezultaty, jeśli chodzi o czas priorytetu. Dla proporcji 0.2 różnice między czasami są największe zarówno dla kolejki ‘dwie’, jak i ‘co3’. Dla kolejki ‘co3’ widać dość podobny przebieg jak dla normalnej, jednak czas priorytetu jest dla każdej proporcji mniejszy od czasu osoby bez priorytetu.

Chcąc ocenić średni czas obsługi pacjenta z priorytetem nie grupując wyników względem proporcji ani liczby pacjentów można posłużyć się wykresem numer 11. Widoczne rezultaty pokazują, że biorąc wszystkie średnie czasy obsługi pacjenta z priorytetem, kolejka ‘dwie’ daje najlepsze wyniki, następnie kolejka ‘co3’, a najgorzej radzi sobie kolejka ‘normalna’. Nie rozróżniając wyników na przypadki dla konkretnej liczby osób, czy dla konkretnej proporcji można ocenić kolejkę ‘dwie’ jako najlepszą opcję konfiguracji pacjentów na SORze, traktując najkrótszy czas priorytetu jako kryterium wyboru kolejki.



Wykres 111 - Wykres średniego czasu obsługi priorytetu dla różnych rodzajów kolejek

1. Analiza statystyczna wyników

W celu bardziej obiektywnego i formalnego sformułowania oceny jakości kolejek przeprowadziłyśmy testy statystyczne. Pozwalają one na uzyskanie lepszych, pewniejszych wyników niż samo intuicyjne wnioskowanie z wykresów. Pierwszym z nich jest test Page'a. Pozwala on zbadać, czy istnieje różnica w czasach obsługi dla osób z priorytetem między kolejkami.

Hipoteza zerowa: Średnie czasy obsługi osób z priorytetem między kolejkami nie różnią się.

$$m_1 = m_2 = m_3$$

Hipoteza alternatywna: Średnie czasy obsługi osób z priorytetem między kolejkami różnią się. Najmniejsza średnia jest dla kolejki 'dwie', następnie dla kolejki 'co3' i normalnej.

$$m_1 \leq m_2 \leq m_3$$

Tabela 4 - wyniki testu Page'a

Wartość statystyki	17115
Wartość p-value	0.01297999
Czy odrzucamy hipotezę?	Tak
Poziom istotności	5%

Test potwierdza, iż czasy między kolejkami różnią się a najlepszy średni czas oczekiwania dla osoby z priorytetem uzyskuje kolejka 'dwie'.

Kolejnym testem było sprawdzenie czy czas priorytetu względem czasu osoby bez priorytetu jest faktycznie krótszy. Test zrobiliśmy osobno dla każdej kolejki. Wybrany test jest test studenta.

Hipoteza zerowa: Średnie czasy osoby z priorytetem i bez są sobie równe.

$$c_1 = c_2$$

Hipoteza alternatywna: Średni czas osoby bez priorytetu jest większy od średniego czasu osoby z priorytetem.

$$c_1 > c_2$$

Tabela 5 – wyniki testu studenta

Rodzaj kolejki	Wartość statystyki	P-value	Czy odrzucam hipotezę?	Poziom istotności
Normalna	-0.000265418	0.500105	Nie	
Dwie	1.7155706579	0.046097	Tak	5%
Co3	0.4237926933	0.336732	Nie	

Rezultaty potwierdziły pokazały, że jedynie w kolejce 'dwie' różnica czasu między pacjentem z priorytetem a bez jest statystycznie znacząca. To ciekawe, gdyż na wykresie widać było również różnice w czasach dla kolejki 'co3', jednak okazała się nie być statystycznie wystarczająca. Podsumowując kolejka 'dwie' to najlepsza konfiguracja skracająca czas oczekiwania osoby z priorytetem.

Podsumowanie

Po analizie wyników można stwierdzić, iż generalizując parametry, kolejka 'dwie' jest najlepszą opcją na skrócenie czasu oczekiwania pacjenta z priorytetem. Ta kolejka jest najbardziej odporna na proporcję lekarzy - najlepiej radzi sobie oczywiście, gdy lekarzy jest więcej, ale przy zmianach ich liczby wyniki czasowe nie odbiegają, aż tak od siebie. Należy jednak pamiętać, że w naszych badaniach rzeczywiście chcieliśmy, zmniejszyć możliwie czas oczekiwania osób z priorytetem, ale w rzeczywistości nie należy zapominać o osobach bez priorytetu, które dla tej konfiguracji musiałyby czekać najdłużej, a średni czas osób z i bez znacząco się różni, co wykazały również testy statystyczne. To mogłoby skutkować zbyt dużym oburzeniem reszty pacjentów, a więc w tym przypadku kolejka 'co3' wydaje się być dobrym kompromisem. Badanie pozwoliło nam także wyróżnić odpowiednie kombinacje zależnie od ilości potrzebnych lekarzy na oddziale, a także natężenia ruchu. Warto pamiętać, że nasze założenia odnośnie szpitala są uproszczone, a wartości parametrów są wzorowane na informacjach znalezionych w Internecie, co może powodować znaczne odbieganie od realnych wyników.

Źródła:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S8756328221000788>
<https://www.chp.gov.hk/en/statistics/data/10/26/43/6994.html>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S8756328221000788>
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9604270/>
https://www.researchgate.net/figure/Monthly-incidence-of-poisoning-Month-Cases_tbl1_40728106
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9734450/>
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319016420301547?fbclid=IwAR0TJW7jzBsWK64bA7vni8CiuOZZxIk2_GFVudTjIzY2JlJluw9N1ONWwhQ

Kod źródłowy:

symulacja_new.py – główny plik z przebiegiem symulacji
funkcje.py – większość funkcji stosowanych w symulacji
kolejka.py – implementacja kolejki co trzy
wyniki.py – Tam znajduje się wizualizacja danych – tabele, wykresy i testy statystyczne