

Teoria współbieżności - zadanie domowe nr 1: Problem pięciu filozofów

Wojciech Michaluk

14.11.2024

1 Opis zadania

Zaimplementuj rozwiązanie problemu pięciu filozofów w Javie (możesz wykorzystać dowolne elementy Javy, np. mutexy/semafony) i porównaj rozwiązania. Korzystając z wykonanych implementacji:

- Uruchom eksperymenty dla różnej liczby filozofów i dla każdego wariantu implementacji
- Dla wariantów nie powodujących zakleszczenia:
 1. Zmierz **średni czas oczekiwania każdego filozofa na dostęp do widelców**. Wykonaj kilka pomiarów dla każdego przypadku testowego.
 2. Wyniki przedstaw na wykresach porównawczych, dbając o odpowiednią wizualizację (można wykorzystać np. wykresy pudełkowe).
 3. Sformułuj i zapisz wnioski. Czy średnie czasy oczekiwania są wyższe dla wariantu z możliwością zagłdzenia? Czy brak mechanizmów synchronizacji zwiększa czas oczekiwania na dostęp do zasobów?

2 Opis implementacji rozwiązania problemu

Implementacja rozwiązania problemu pięciu filozofów w postaci pełnego kodu znajduje się w podkatalogu `tw-zad1\src\main\java`. Znajdują się tam następujące pliki:

- `Philosophervi.java`, $i = 1, 2, \dots, 6$ - implementacja klasy filozofa dla i -tego wariantu,
- `Simulationvi.java`, $i = 1, 2, \dots, 6$ - symulacja działania programu dla i -tego wariantu,
- Fork - klasa symbolizująca zasób współdzielony (widelec), obsługa operacji (podnoszenie, opuszczanie) odbywa się z pomocą semafora,
- Waiter - klasa "kelnera" (*arbitra*), wykorzystywana w wariantach 5. i 6., obsługa operacji również odbywa się z pomocą semafora.

Przyjęte przeze mnie parametry w ramach symulacji:

1. Pojedynczy proces "myślenia" filozofa (w każdym wariantcie) trwa losową liczbę milisekund z przedziału $[0; 1000]$.
2. Pojedynczy proces "jedzenia" filozofa (w każdym wariantcie) trwa losową liczbę milisekund z przedziału $[0; 2000]$.
3. Dla każdego wariantu testuję następującą liczbę filozofów: 5 (jak w oryginalnym sformułowaniu problemu), 10 oraz 20.
4. Symulacja trwała około 2 minuty, żeby można było uzyskać miarodajny wynik.

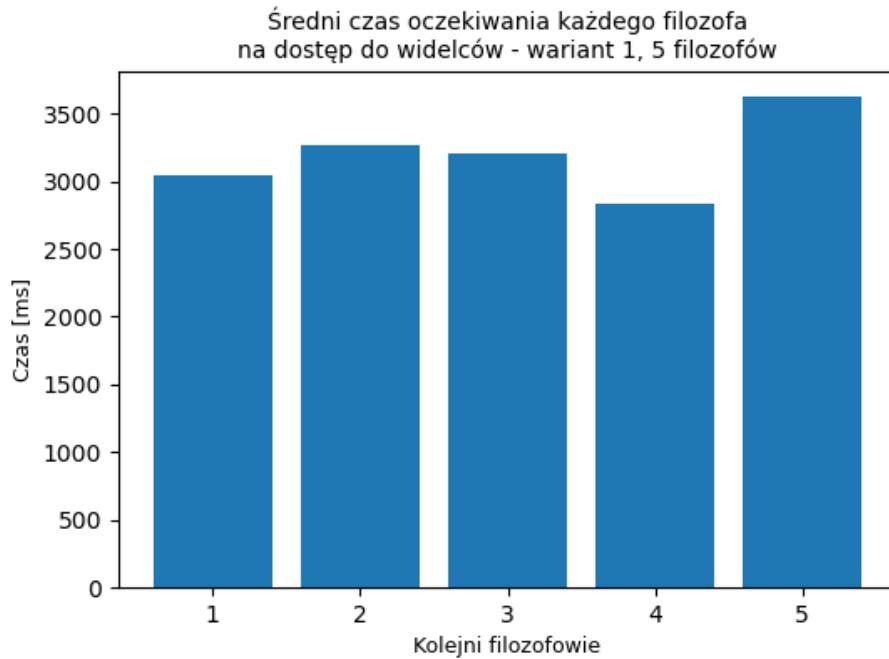
3 Wyniki przeprowadzonych symulacji

Na tej i kolejnych stronach przedstawiam wykresy słupkowe przedstawiające uśrednione czasy oczekiwania każdego z filozofów w każdym z testowanych przypadków na dostęp do widelców (mierzę czas od momentu, kiedy filozof "zachciał" jeść do momentu, kiedy podniósł oba widelece). Następnie przedstawię wykres porównawczy uśrednionych czasów między wszystkimi wariantami dla każdej z testowanych liczb filozofów. Później przejdę do sformułowania wniosków, skupiając się na odpowiedzi na kwestie poruszone w poleceniu zadania.

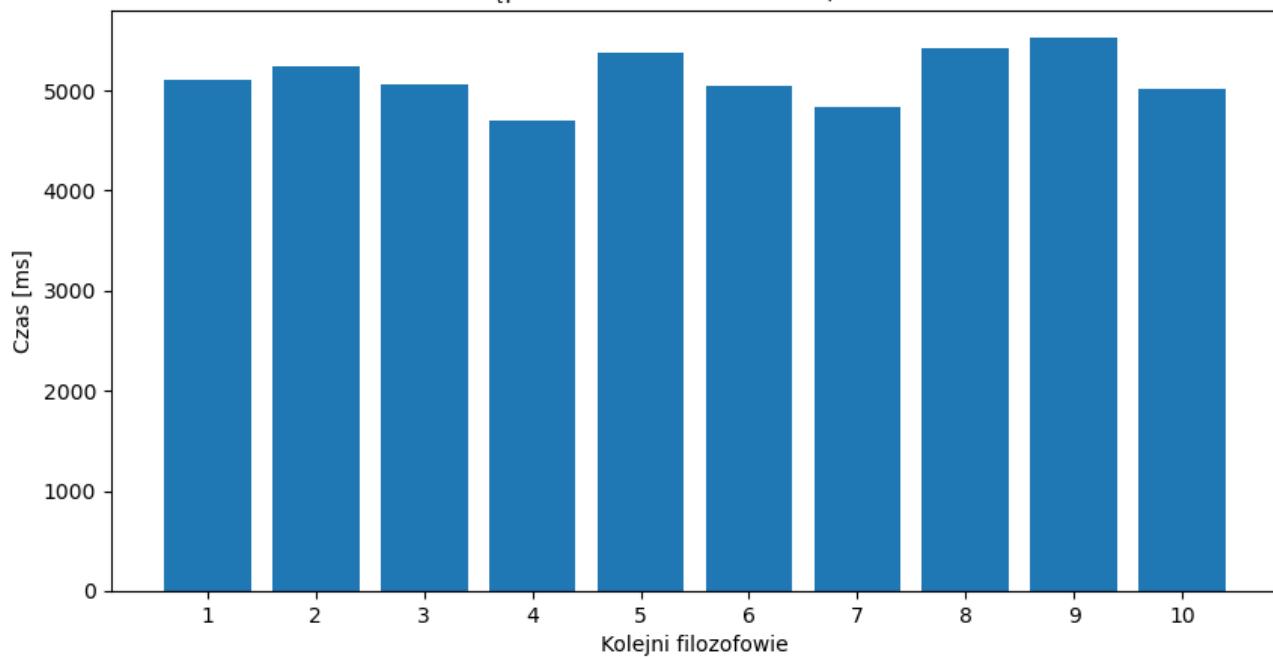
Szczegółowe wyniki pomiarów czasu znajdują się w podkatalogu `tw-zad1/src/main/resources`. Znajdują się tam katalogi `philvii`, $i = 1, 2, \dots, 6$ dla każdego wariantu, w nich podkatalogi `phil_N`, $N \in \{5, 10, 20\}$ - liczba filozofów w danej symulacji, finalnie w tych katalogach pliki `phil_nj.csv`, $j = 1, 2, \dots, N$, zawierające pomiary czasu (w milisekundach) dla j -tego filozofa.

Wykresy stworzyłem przy użyciu biblioteki matplotlib, program "generujący" wykresy również uwzględniłem w przesłanej paczce - plik `graphs_generator.ipynb`. Same wykresy również zapisałem w podkatalogu `graphs`. Nazwy plików z wykresami są postaci `philvi_N.png`, gdzie i to numer wariantu, N to liczba filozofów oraz `comparison.png` - wykres porównawczy.

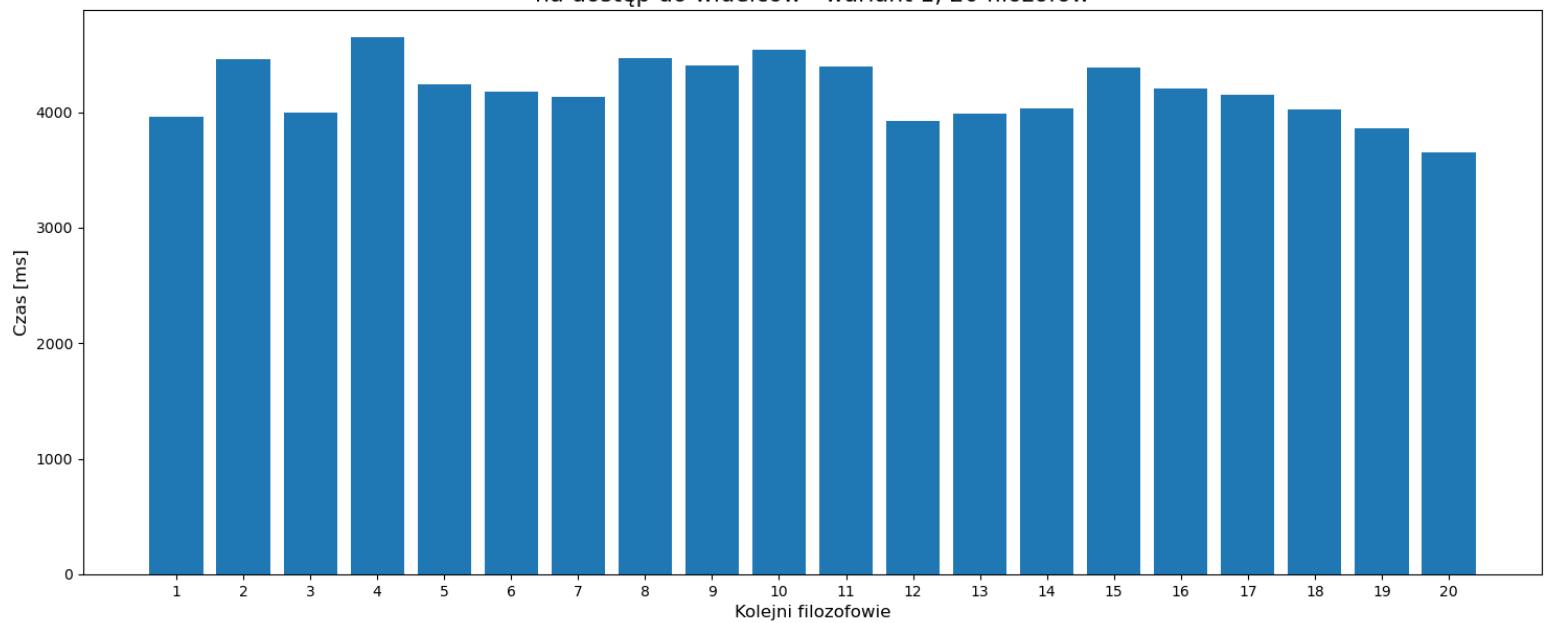
3.1 Wyniki dla wariantu nr 1



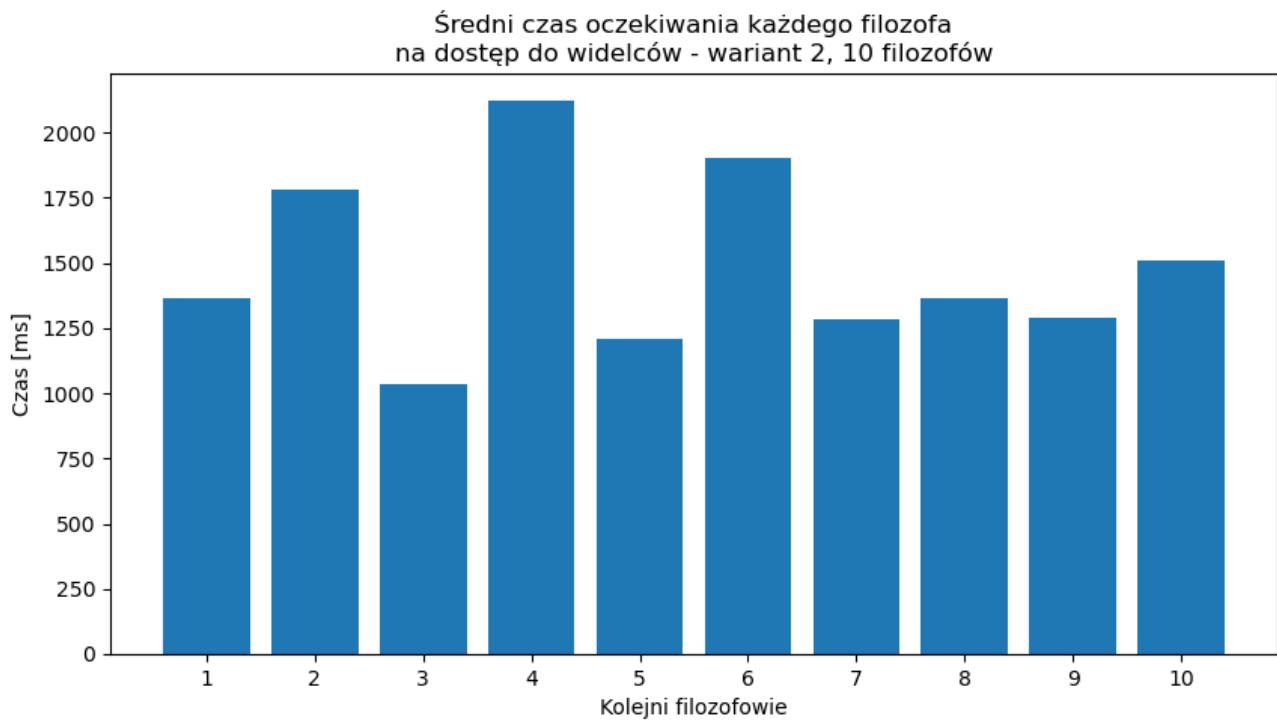
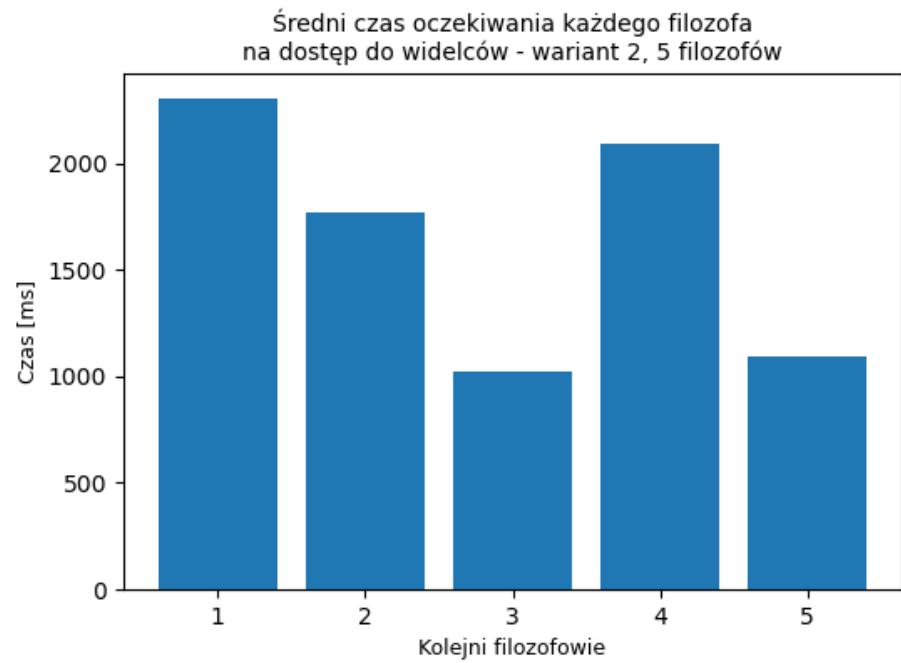
Średni czas oczekiwania każdego filozofa
na dostęp do widelców - wariant 1, 10 filozofów



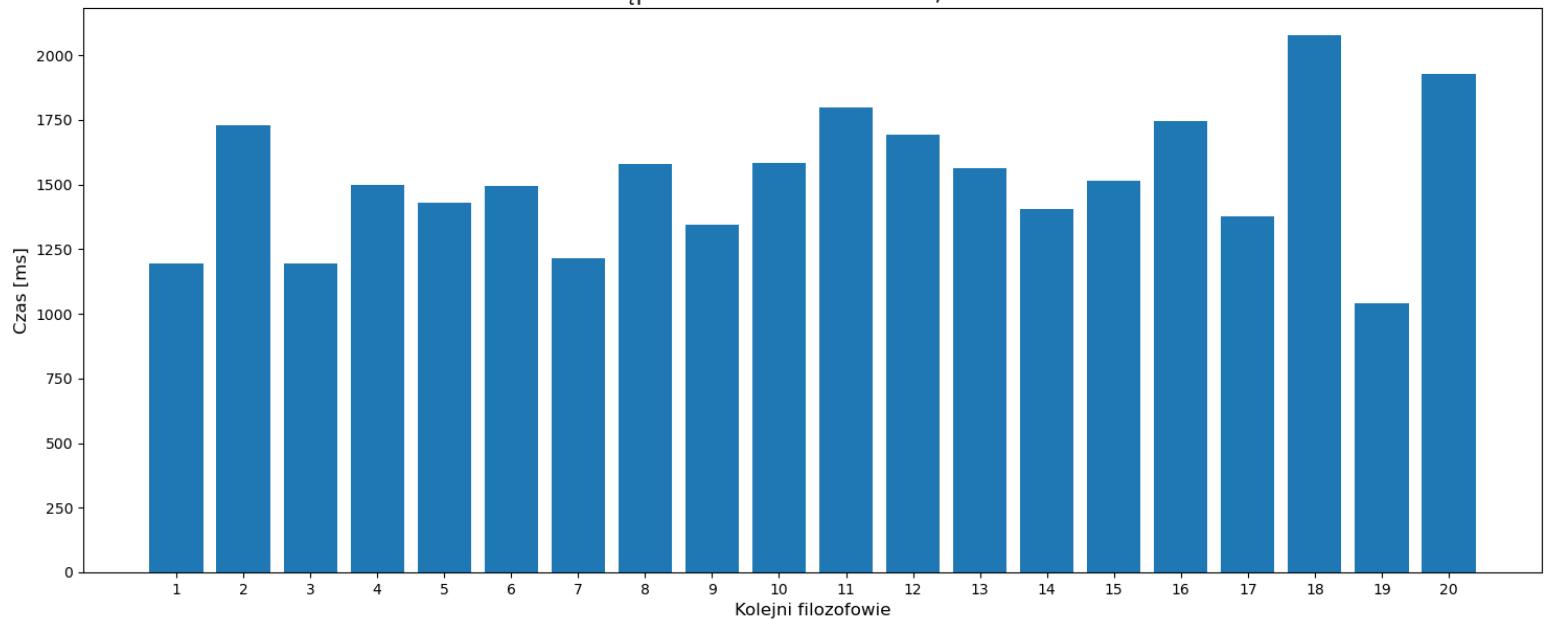
Średni czas oczekiwania każdego filozofa
na dostęp do widelców - wariant 1, 20 filozofów



3.2 Wyniki dla wariantu nr 2

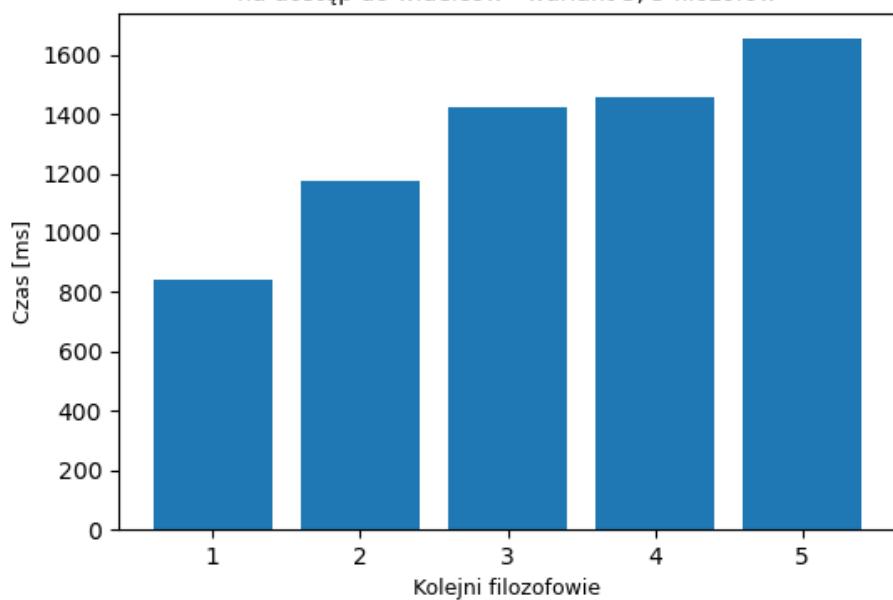


Średni czas oczekiwania każdego filozofa
na dostęp do widelców - wariant 2, 20 filozofów

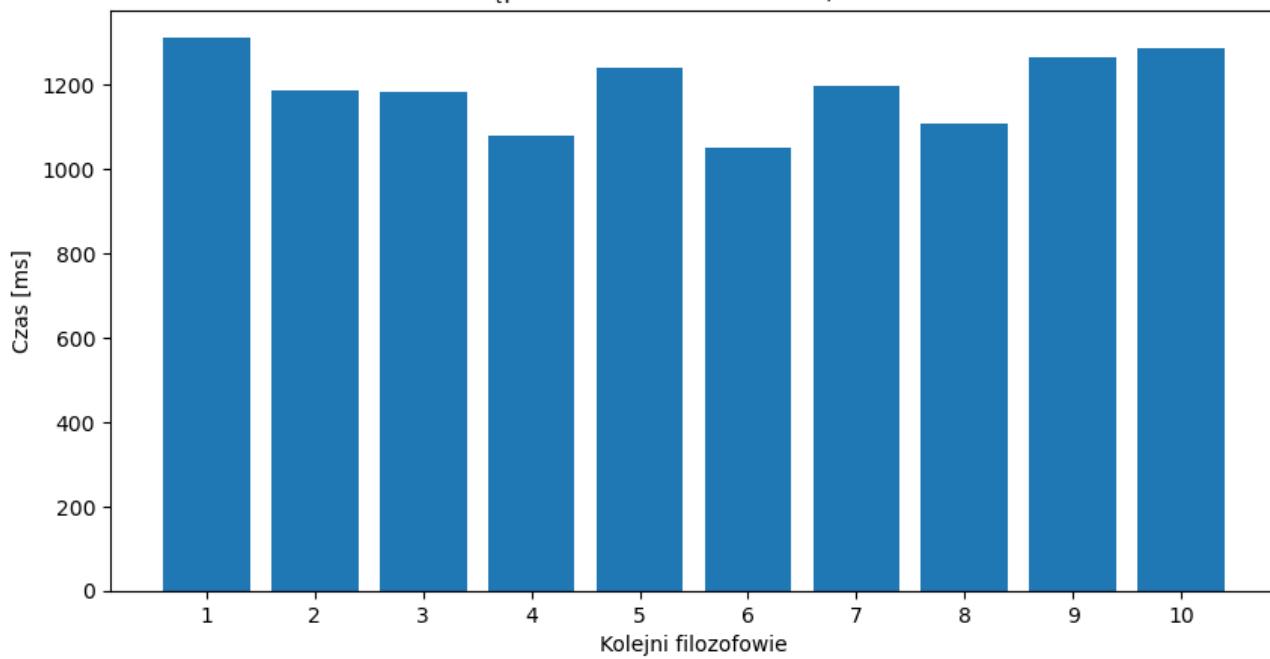


3.3 Wyniki dla wariantu nr 3

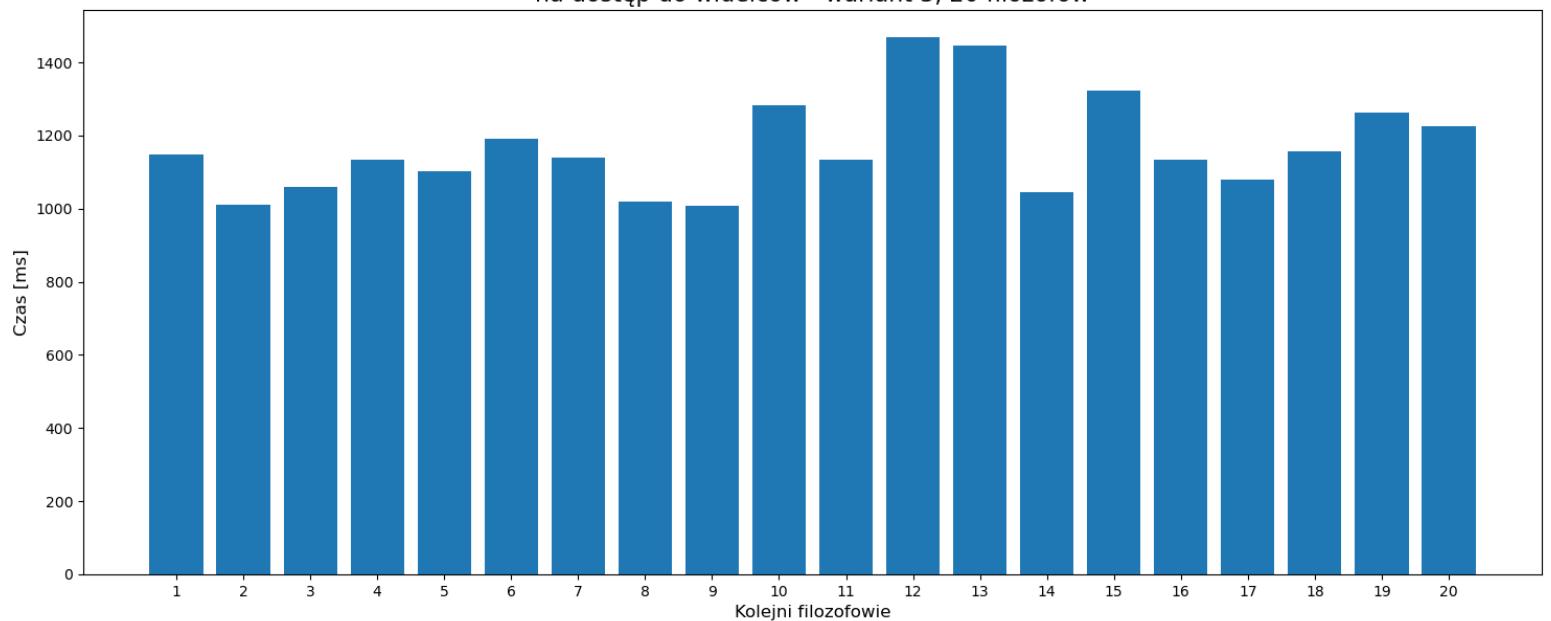
Średni czas oczekiwania każdego filozofa
na dostęp do widelców - wariant 3, 5 filozofów



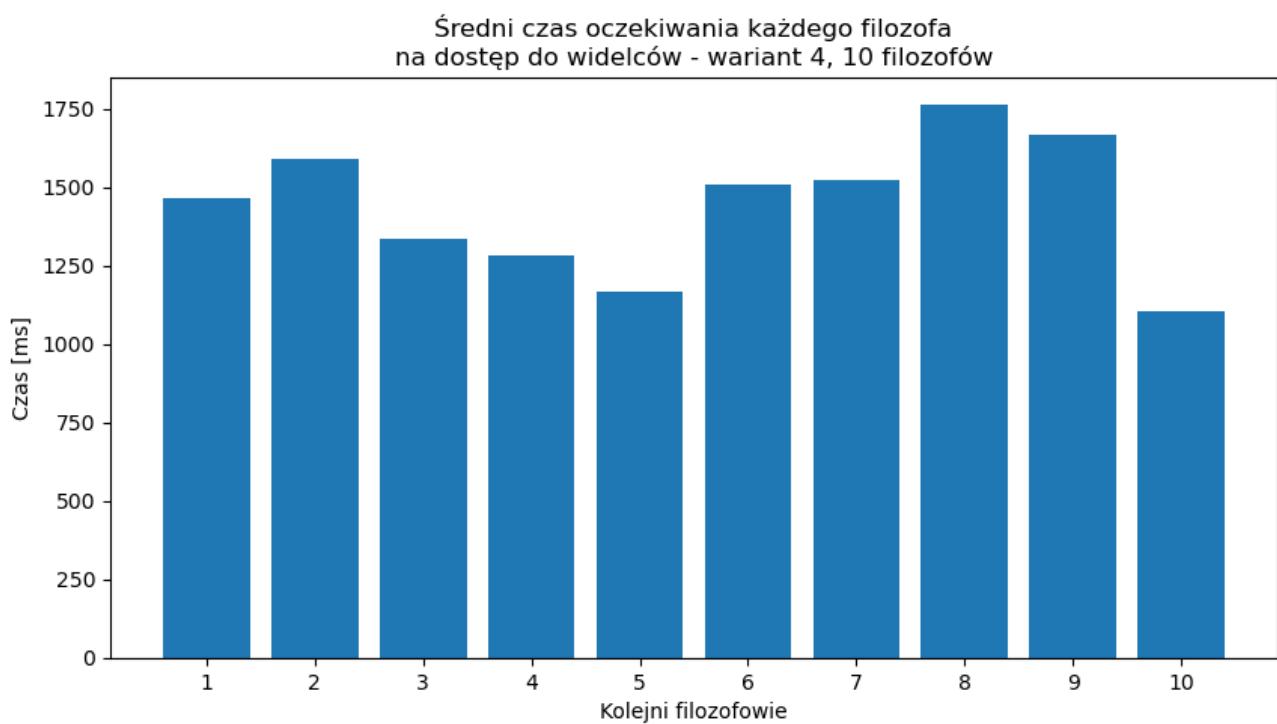
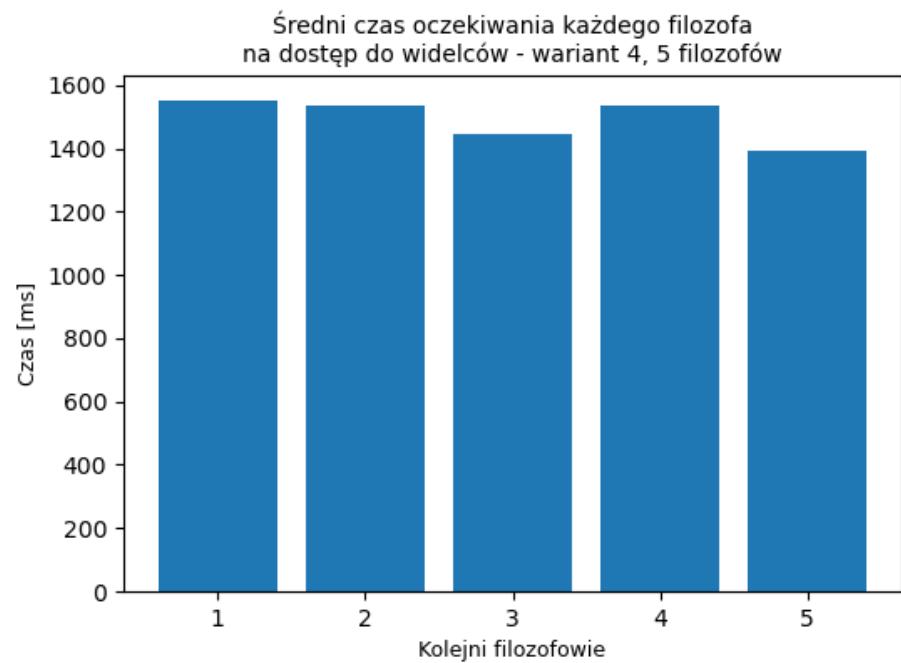
Średni czas oczekiwania każdego filozofa
na dostęp do widelców - wariant 3, 10 filozofów



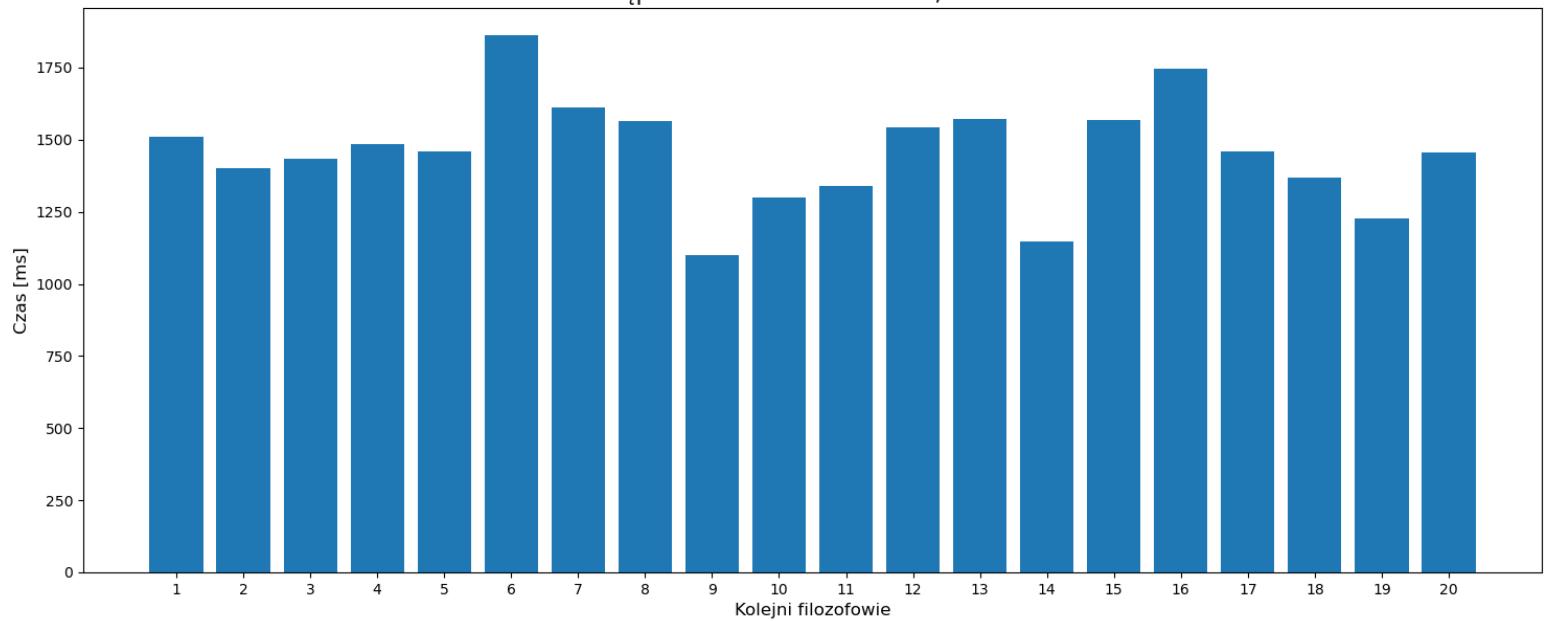
Średni czas oczekiwania każdego filozofa
na dostęp do widelców - wariant 3, 20 filozofów



3.4 Wyniki dla wariantu nr 4

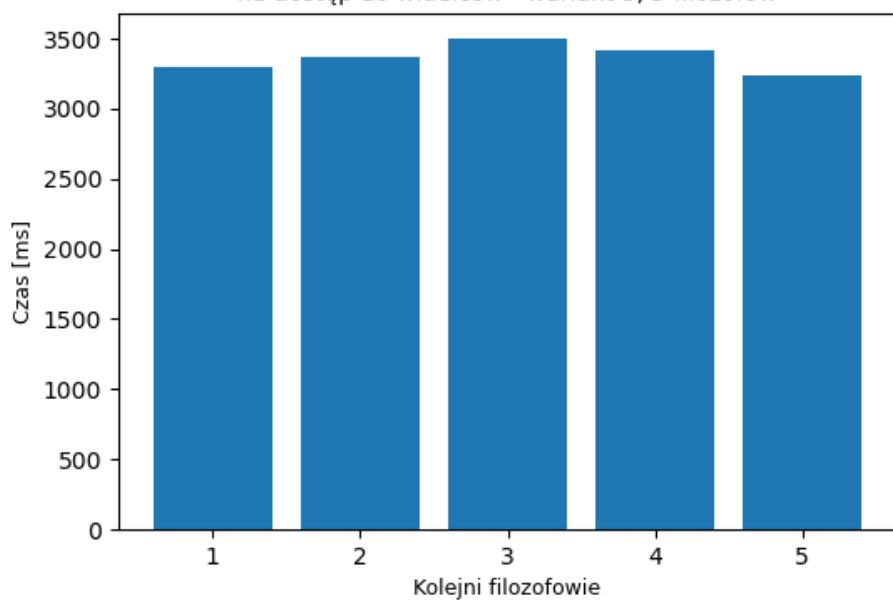


Średni czas oczekiwania każdego filozofa
na dostęp do widelców - wariant 4, 20 filozofów

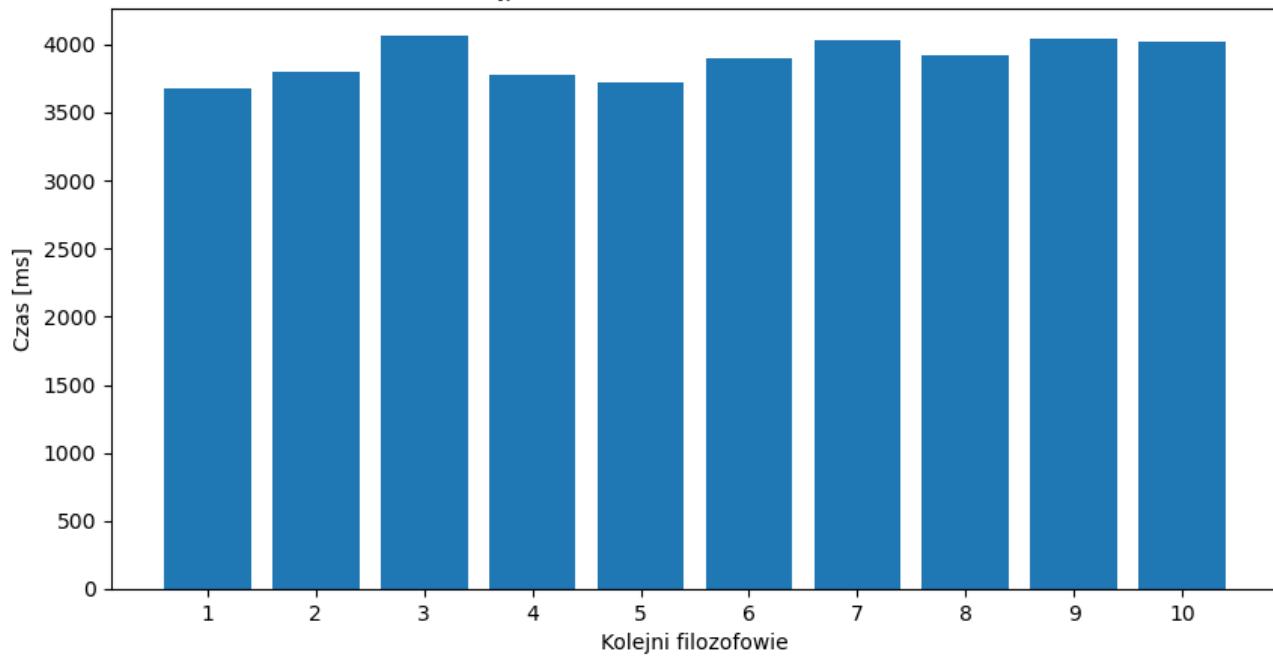


3.5 Wyniki dla wariantu nr 5

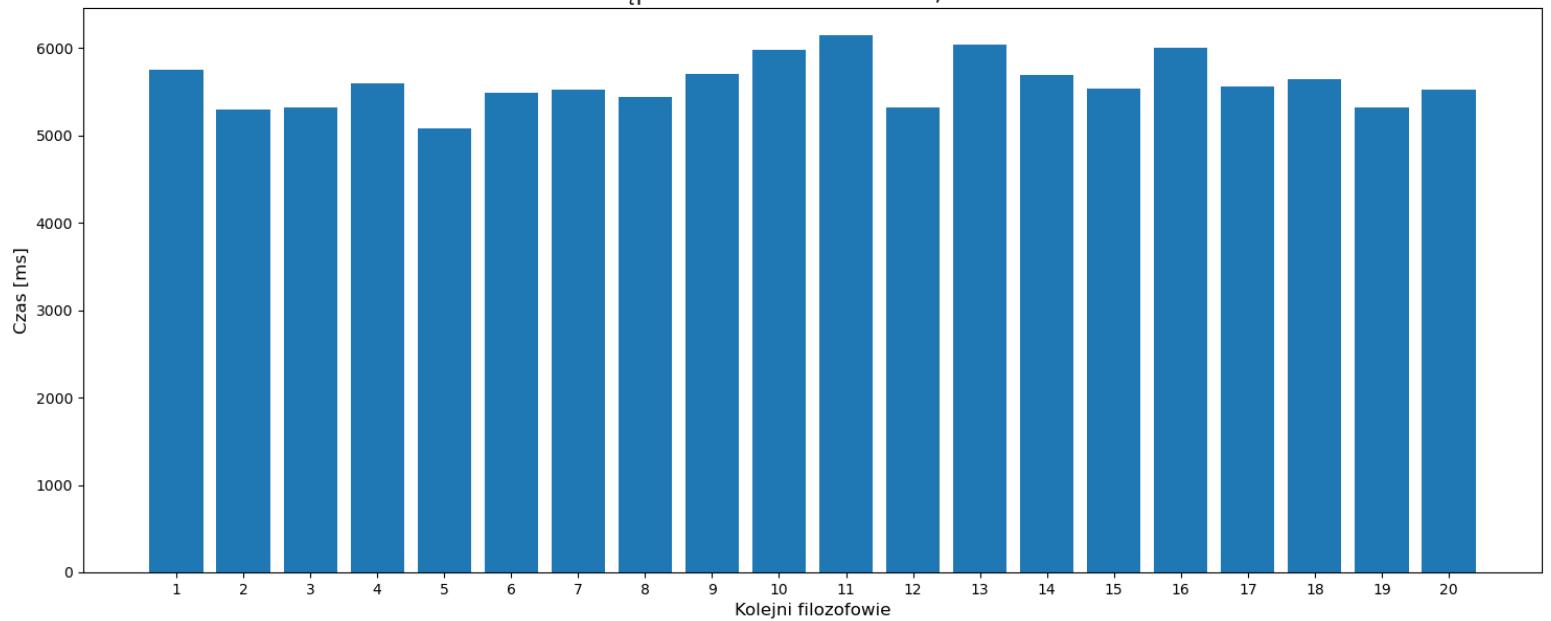
Średni czas oczekiwania każdego filozofa
na dostęp do widelców - wariant 5, 5 filozofów



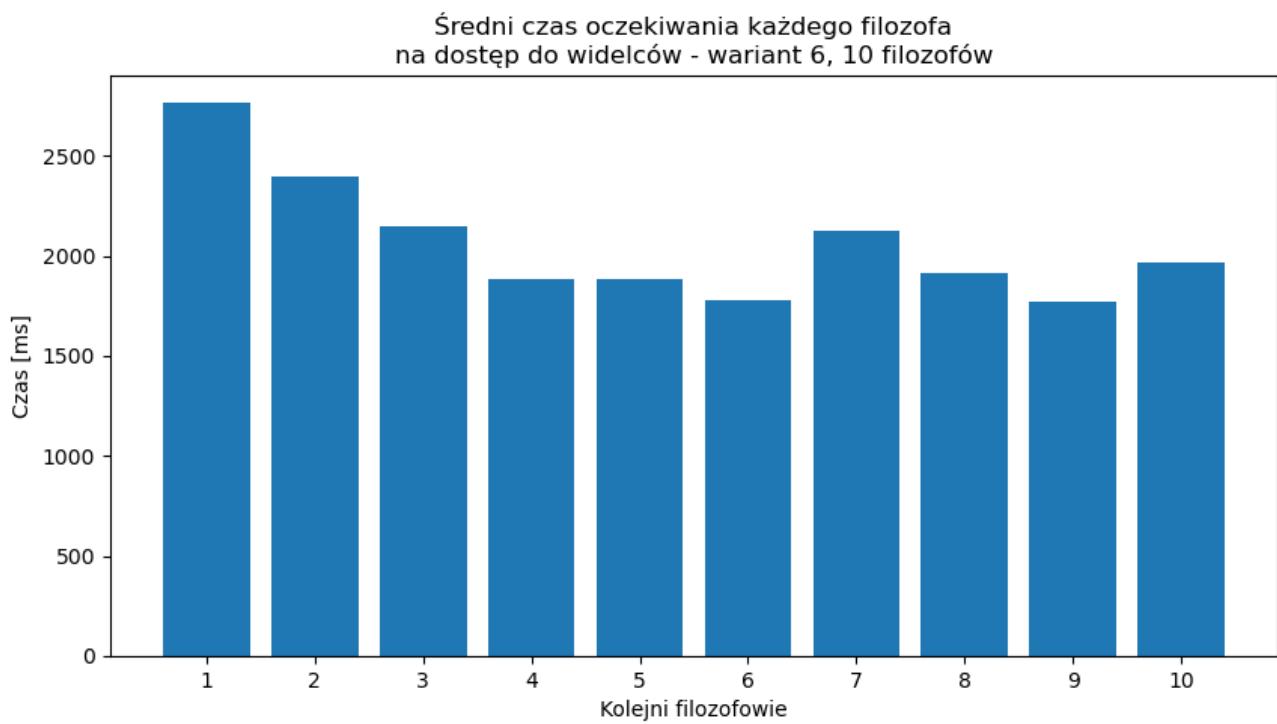
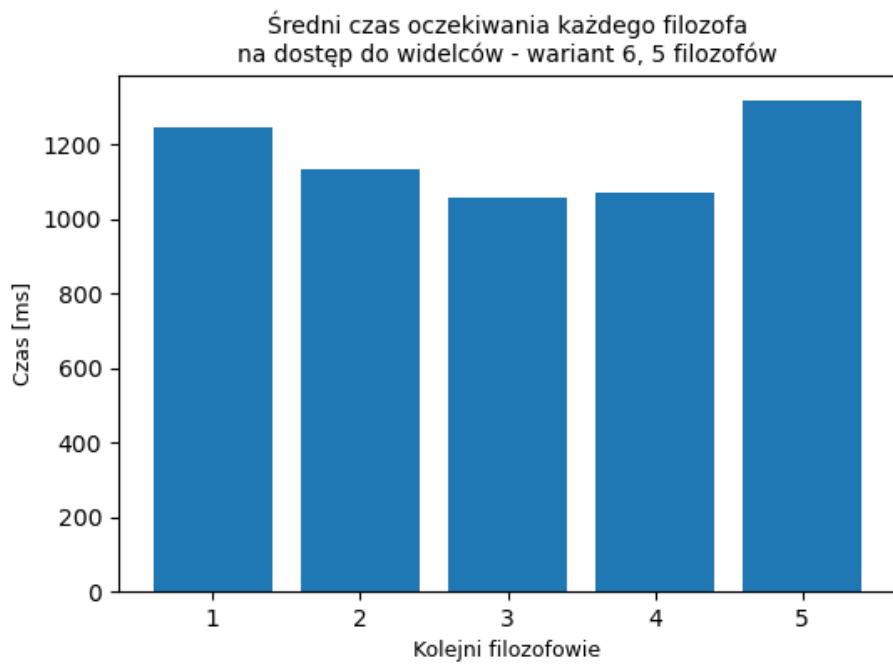
Średni czas oczekiwania każdego filozofa
na dostęp do widelców - wariant 5, 10 filozofów



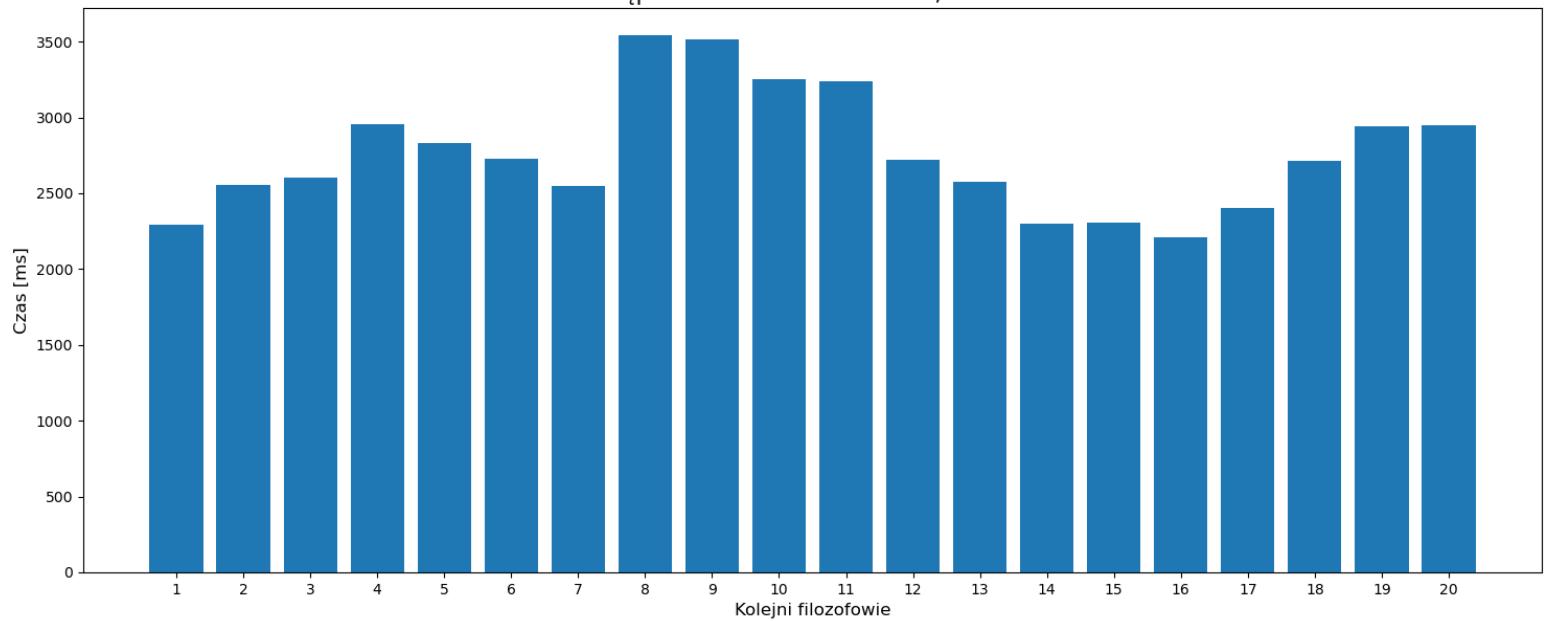
Średni czas oczekiwania każdego filozofa
na dostęp do widelców - wariant 5, 20 filozofów



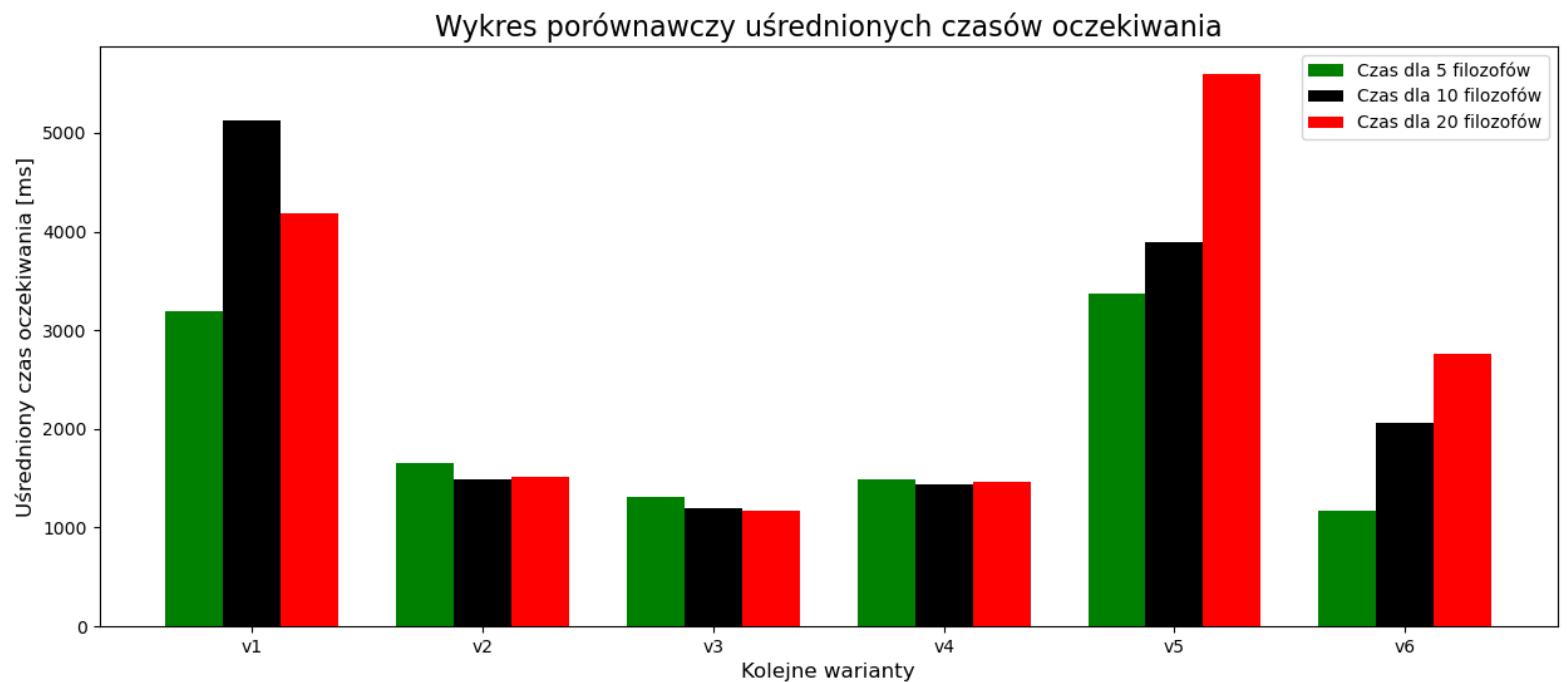
3.6 Wyniki dla wariantu nr 6



Średni czas oczekiwania każdego filozofa
na dostęp do widelców - wariant 6, 20 filozofów



3.7 Wykres porównawczy



4 Analiza otrzymanych wyników

Co prawda jednym z celów zadania było zmierzenie średniego czasu oczekiwania dla wariantów nie powodujących zakleszczenia, ale zmierzyłem także czasy dla wariantów 1. i 4., w których może dojść do zakleszczenia (podczas przeprowadzania symulacji do niego akurat nie doszło).

Przeanalizujmy wyniki dla poszczególnych wariantów i porównajmy je. Patrząc na wykres porównawczy, warianty 2., 3. i 4. mają wyjątkowo krótkie średnie czasy oczekiwania w porównaniu do pozostałych. Co więcej, dla każdej z testowanej liczby filozofów średni wynik jest bardzo podobny. Wydaje mi się, że wynika to z pewnego rodzaju "symetrii" w tych wariantach - w wariantie 2. filozof musi podnieść oba widelece jednocześnie, w wariantie 3. kolejność podnoszenia zależy od parzystości, a w wariantie 4. zależy od "rzutu monetą" - ale uśredniając, mniej więcej powinna się podzielić po równo.

W przypadku wariantu nr 2, patrząc na szczegółowe wykresy z punktu 3.2, widzimy, że doszło do zagłodzenia - np. w wersji z 5 filozofami, filozof nr 4 jest zagłodzony przez sąsiadów, w wersji z 10 filozofami filozofowie nr 2, 4 i 6 są zagłodzeni. W pozostałych wariantach, w których może dojść do zagłodzenia, tj 1., 3. i 4., zjawisko to jest mniej widoczne (nie ma charakterystycznej sekwencji: niski słupek - wysoki - niski), ale różnice w średnich czasach (szczególnie dla wariantów nr 3 i 4) wydają się być całkiem duże.

Przyjrzymy się teraz wynikom dla pozostałych wariantów. W wariantach 5. i 6. dla większej liczby filozofów zwiększa się średni czas oczekiwania. W wariantach 1. wyjątkowo dla 10 filozofów czas okazał się bardzo wysoki, ale mogło to być wyjątkowo "niekorzystne" wywołanie programu, pewnego rodzaju odstępstwo od reguły. Takie zachowanie można było przewidzieć, gdyż tu wspomnianej "symetrii" brakuje - a dla większej liczby filozofów, jeśli dojdzie do "łańcuchowego" podniesienia tylko lewego widełka przez większość z nich, to późniejsze odwrócenie tego łańcucha przeciętnie zajmie dłużej, bowiem więcej filozofów będzie w to zamieszanych.

Zbadajmy użyte mechanizmy synchronizacji w wariantach 5. i 6. W obu z nich występował *kelner*, który dbał o to, aby nie doszło do zakleszczenia. Zasadnicza różnica między tymi wariantami jest w sposobie postępowania z niesfornym filozofem, który chciał jeść wtedy, gdy wszyscy pozostali filozofowie też chcą i przez to ich potencjalnie zakleszczyć. W wariantie nr 5 kelner go powstrzymywał - więc musiał czekać, aż któryś filozof skończy jeść, a w wariantie nr 6 był wypraszany z jadalni, ale mógł (próbować) jeść na korytarzu.

Zatem jeżeli w wariantie 5. mielibyśmy hipotetyczną sytuację (dla 5 filozofów dla ustalenia uwagi): filozofowie 1 - 4 podnieśli lewy widelec, filozof 5 jest powstrzymywany przez kelnera - następnie filozof 4 może jeść i jak skończy, to filozof 3 podnosi prawy widelec i je, a filozof 5 podnosi lewy widelec i nie może podnieść prawego, bo jest on zajęty przez filozofa 1. Przez to blokuje filozofa 4, dopiero po "odwróceniu łańcucha" sytuacja może się uspokoić. Co prawda filozof 5 dość długo wtedy czeka, aż może zjeść, ale ten wariant powinien być odporny na zagłodzenie, bowiem każdemu z filozofów może się zdarzyć taka sytuacja, więc uśredniając wyniki wychodzą podobne.

Z kolei w podobnej sytuacji w wariantie 6., przez to że "ostatni" filozof podnosi widelece w odwrotnej kolejności, wydaje się, jakoby miał dłużej czekać, ale nie blokuje pozostałych filozofów, przez co uspokojenie się sytuacji, kiedy $N - 1$ filozofów jednocześnie chce jeść, następuje sprawniej. Widać to po wykresie porównawczym, gdzie czasy dla wariantu nr 6 są znacznie krótsze niż dla wariantu nr 5. Co prawda z podobnych przyczyn co w wariantie 5. tutaj również nie powinno dojść do zagłodzenia, ale ze względu na czas trwania symulacji wynoszący 2 minuty - który wydawał mi się rozsądny, ale zapewne nie zawsze jest wystarczający - mogły się uwiadoczyć pewne anomalie, występują istotne różnice w średnich czasach pomiędzy filozofami, szczególnie dla 20 filozofów.

5 Podsumowanie i wnioski

W większości otrzymane wyniki pokrywają się ze spodziewanymi, teoretycznymi, chociaż nieco zaskoczyły mnie aż tak krótkie średnie czasy oczekiwania w wariantach nr 2, 3 i 4. Początkowo próbowałem zaimplementować rozwiązanie z wykorzystaniem mechanizmu *synchronized*, ale popełniłem błąd i zdecydowałem się wykorzystać semafory. Nie mogę wykluczyć błędu w tym poprawionym rozwiążaniu, natomiast konsultowałem się z kolegą, który miał zatwierdzone poprawne rozwiązanie na zajęciach - oczywiście zamieszczone rozwiązanie zostało napisane samodzielnie przeze mnie, przy wykorzystaniu dokumentacji i analizy poruszanych tematów na różnych forach programistycznych.

Podsumowując, w wyniku przeprowadzonych przeze mnie eksperymentów, mechanizmy synchronizacji polegające na zmianie kolejności podnoszenia widelców dają o wiele krótszy średni czas oczekiwania niż mechanizm arbitra (kelnera), który podejmował reakcję w stosunku do filozofa, który zachciał jeść jako ostatni w danej turze (wariant nr 6 jest niejako połączeniem tych dwóch podejść). Jednakże, w teorii warianty z tej pierwszej grupy dopuszczają możliwość zagłodzenia (co było szczególnie widać w wariantce 2.), ale dają podobne czasy dla różnej liczby filozofów - lepsza skalowalność. Natomiast te drugie powinny nie dopuszczać ani zagłodzenia, ani zakleszczenia, jednakże dla większej liczby filozofów średnie czasy oczekiwania są dłuższe.

Ze wszystkich wariantów, co może być zaskoczeniem, najgorsze wyniki ma wariant nr 5, a tuż za nim jest wariant nr 1, w którym nie użyto żadnych mechanizmów synchronizacji, jest potencjalne ryzyko zakleszczenia (wtedy wyniki dla niego na pewno byłyby mniejsze korzystne).