

Niezawodność i diagnostyka układów cyfrowych

Sprawozdanie z zadania projektowego

Jacek Bogdański
Kamil Wojcieszak

Temat nr 9
Niezawodność naprawialnego systemu
szeregowo-równoległego - MTTF, MTBF

Wprowadzenie:

Celem projektu jest analiza niezawodności naprawialnego systemu szeregowo-równoległego obsługującego parking. Naszym celem jest ocena niezawodności tego systemu oraz identyfikacja potencjalnych słabych punktów, które mogą wymagać poprawy. Niezawodny system zapewnia płynne funkcjonowanie, minimalizuje opóźnienia i zapewnia zadowolenie klientów.

W ramach tego projektu będziemy analizować nie tylko czasy między awariami (MTBF), ale także czasy naprawy (MTTR) oraz inne parametry niezawodnościowe. Skupimy się na symulacji modelu systemu, który uwzględnia różne zmienne, takie jak czas do uszkodzenia, czas naprawy, nadmiarowość i koszty. Symulacje pozwolą nam ocenić niezawodność systemu w różnych scenariuszach i znaleźć optymalne rozwiązania.

Wyniki naszej analizy i symulacji pozwolą nam zidentyfikować słabe punkty systemu, które wymagają poprawy, oraz zaproponować strategię optymalizacji kosztów przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej niezawodności.

Metodologia:

W ramach tego projektu wykorzystano metodę Monte Carlo do oceny niezawodności systemu obsługi parkingu. Metoda Monte Carlo jest techniką symulacyjną opartą na wielokrotnym losowaniu wartości zmiennych wejściowych systemu w celu przeprowadzenia symulacji.

W kontekście naszego programu, zastosowaliśmy metodę Monte Carlo do generowania losowych wartości dla parametrów takich jak czas pobytu, czas do uszkodzenia, czas naprawy, i inne czynniki wpływające na niezawodność systemu. Implementacja programu opiera się na symulacji działania systemu w czasie rzeczywistym. Samochody są obsługiwane zgodnie z ich planowanymi czasami wyjazdu. Gdy czas symulacji równa się czasowi wyjazdu samochodu, jest on przenoszony do kolejki kas. Po krótkim okresie czasu jest przesuwany do kolejki wyjazdów, a następnie opuszcza parking. W przypadku awarii urządzenia, samochody nie mogą przez nie przejechać i muszą skorzystać z innego urządzenia do czasu naprawy.

Poprzez wielokrotne wykonanie symulacji i gromadzenie wyników, byliśmy w stanie przeprowadzić analizę statystyczną, która dostarczyła nam informacji na temat wskaźników niezawodności systemu, takich jak średni czas między awariami (MTBF), czas średni naprawy (MTTR) i dostępność systemu.

Założenia projektowe:

- **Parking jest czynny w godzinach 6:00 - 22:00:** wjazd na parking przed godziną 6:00 i po 22:00 nie jest możliwy, a auta pozostawione na parkingu na noc są odholowywane na koszt właściciela pojazdu. Właściciele pojazdów mają czas do godziny 23:00 na wyjazd z parkingu. Rano, o godzinie 5:59, wszystkie miejsca są wolne.
- **Droga dojazdowa:** istnieje jedna droga dojazdowa, kolejka samochodów do wszystkich wjazdów
- **Godziny szczytu:** symulacja uwzględnia godziny szczytu, w tym przypadku szczyt przyjazdów wypada o godzinie 8:00, a średni czas pobytu wynosi 3 godziny.
- **Parking jest pełny:** taka sytuacja nie wpływa na dostępność parkingu z perspektywy niezawodnościowej. Parking jest dostępny, samochody chętne do skorzystania z niego ustawiają się w kolejce przed wjazdem.
- **Roboty drogowe na terenie parkingu:** służby wykonujące prace wymagające blokady części miejsc parkingowych udostępniają dodatkowe miejsca parkingowe tak, aby ich łączna ilość zawsze była taka sama.
- **Przepustowość układu:** każdy element parkingu ma określoną szybkość działania, co się wiąże z ograniczoną przepustowością poszczególnych modułów: wjazdów, kas automatycznych, wyjazdów.
- **Parametry niezawodnościowe:** MTTR, MTTF, MTBF

Oznaczenia:

- przed_wj: liczba pojazdów oczekujących na wjazd
- wj: liczba pojazdów, które przejechały przez wjazd
- przed_k: liczba pojazdów, które są na parkingu i jeszcze nie opłaciły postoju
- k: liczba pojazdów, które opłaciły postój
- przed_wyj: liczba pojazdów, które oczekują na wyjazd z parkingu
- wyj: liczba pojazdów, które wyjechały z parkingu

Badane typy parkingów:

- 1) Parking przy galerii handlowej - charakteryzuje się szczytem przyjeżdżających pojazdów w godzinach 17-19. Posiada 200 miejsc parkingowych. Pojazdy przyjeżdżają średnio co 70 sekund (w skali całego dnia) oraz pozostają na parkingu przez średnio 2 godziny.

```

06:00:00, |-----|
07:00:00, |##-----|
08:00:00, |#####-----|
09:00:00, |#####-----|
10:00:00, |#####-----|
11:00:00, |#####-----|
12:00:00, |#####-----|
13:00:00, |#####-----|
14:00:00, |#####-----|
15:00:00, |#####-----|
16:00:00, |#####-----|
17:00:00, |#####-----|
18:00:00, |#####-----|
19:00:00, |#####-----|
20:00:00, |#####-----|
21:00:00, |#####-----|
22:00:00, |#-----|
23:00:00, |-----|

```

Obraz 1) Godzina szczytu na parkingu przy galerii handlowej.

- 2) Parking na uczelni - charakteryzuje się szczytem przyjazdów w godzinach 8-13, wówczas parking jest przepełniony. Posiada również 200 miejsc parkingowych. Średni czas między przyjazdami pojazdów to również 70 sekund, a średni czas pobytu to 4 godziny,

```

06:00:00, |-----|
07:00:00, |#####-----|
08:00:00, |#####-----|
09:00:00, |#####-----|
10:00:00, |#####-----|
11:00:00, |#####-----|
12:00:00, |#####-----|
13:00:00, |#####-----|
14:00:00, |#####-----|
15:00:00, |#####-----|
16:00:00, |#####-----|
17:00:00, |#####-----|
18:00:00, |#####-----|
19:00:00, |#####-----|
20:00:00, |#####-----|
21:00:00, |#####-----|
22:00:00, |#####-----|

```

Obraz 2) Godzina szczytu na parkingu przy uczelni.

Wyniki symulacji:

Symulacja nr 1 została przeprowadzona przy wskaźniku szczytu odpowiadającemu parkingowi przy galerii handlowej. Średni czas pobytu auta wynosi 2 godziny, a godziną szczytu jest 17:00 (wówczas przyjeżdża najwięcej pojazdów).

```
Dzien 2
### przed_wj: 0, wj: 0, przed_k: 0, k: 0, przed_wyj: 0, wyj: 0, 06:00:00, |-----|
### przed_wj: 0, wj: 29, przed_k: 22, k: 538, przed_wyj: 0, wyj: 7, 07:00:00, |##-----|
### przed_wj: 0, wj: 60, przed_k: 37, k: 1096, przed_wyj: 0, wyj: 23, 08:00:00, |###-----|
### przed_wj: 0, wj: 114, przed_k: 49, k: 1638, przed_wyj: 0, wyj: 65, 09:00:00, |####-----|
### przed_wj: 0, wj: 195, przed_k: 73, k: 2178, przed_wyj: 0, wyj: 122, 10:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 274, przed_k: 92, k: 2730, przed_wyj: 0, wyj: 182, 11:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 372, przed_k: 100, k: 3271, przed_wyj: 0, wyj: 272, 12:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 460, przed_k: 89, k: 3804, przed_wyj: 0, wyj: 371, 13:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 561, przed_k: 102, k: 4350, przed_wyj: 0, wyj: 459, 14:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 713, przed_k: 136, k: 4884, przed_wyj: 0, wyj: 577, 15:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 888, przed_k: 164, k: 5425, przed_wyj: 0, wyj: 724, 16:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 1089, przed_k: 196, k: 5971, przed_wyj: 0, wyj: 893, 17:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 3, wj: 1281, przed_k: 200, k: 6516, przed_wyj: 0, wyj: 1081, 18:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 1479, przed_k: 194, k: 7069, przed_wyj: 0, wyj: 1285, 19:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 1635, przed_k: 177, k: 7598, przed_wyj: 0, wyj: 1458, 20:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 1790, przed_k: 157, k: 8156, przed_wyj: 0, wyj: 1633, 21:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 1898, przed_k: 1, k: 8706, przed_wyj: 0, wyj: 1897, 22:00:00, |-----|
### przed_wj: 0, wj: 1898, przed_k: 0, k: 8707, przed_wyj: 0, wyj: 1898, 23:00:00, |-----|
```

Obraz 3) Symulacja dla parkingu przy galerii handlowej.

Przy powyższych parametrach parking posiadający 200 miejsc parkingowych jest w stanie obsłużyć 1900-2000 pojazdów jednego dnia bez przepełniania się (przy średnim czasie między przyjazdami równym 70 sekund). Gdy samochody będą przyjeżdżać z większą częstotliwością, np. 65-60s, to parking między godziną 16:00 a 21:00 jest przepełniony. Wówczas auta muszą poczekać w kolejce przed wjazdem i później opuszczają parking po 22:00, czyli godzinie, o której galeria jest zamykana.

```
06:00:00, |-----|
07:00:00, |##-----|
08:00:00, |###-----|
09:00:00, |####-----|
10:00:00, |#####-----|
11:00:00, |#####-----|
12:00:00, |#####-----|
13:00:00, |#####-----|
14:00:00, |#####-----|
15:00:00, |#####-----|
16:00:00, |#####-----|
17:00:00, |#####-----|
18:00:00, |#####-----|
19:00:00, |#####-----|
20:00:00, |#####-----|
21:00:00, |#####-----|
22:00:00, |#-----|
23:00:00, |-----|

06:00:00, |-----|
07:00:00, |##-----|
08:00:00, |###-----|
09:00:00, |####-----|
10:00:00, |#####-----|
11:00:00, |#####-----|
12:00:00, |#####-----|
13:00:00, |#####-----|
14:00:00, |#####-----|
15:00:00, |#####-----|
16:00:00, |#####-----|
17:00:00, |#####-----|
18:00:00, |#####-----|
19:00:00, |#####-----|
20:00:00, |#####-----|
21:00:00, |#####-----|
22:00:00, |#-----|
23:00:00, |-----|

06:00:00, |-----|
07:00:00, |##-----|
08:00:00, |###-----|
09:00:00, |####-----|
10:00:00, |#####-----|
11:00:00, |#####-----|
12:00:00, |#####-----|
13:00:00, |#####-----|
14:00:00, |#####-----|
15:00:00, |#####-----|
16:00:00, |#####-----|
17:00:00, |#####-----|
18:00:00, |#####-----|
19:00:00, |#####-----|
20:00:00, |#####-----|
21:00:00, |#####-----|
22:00:00, |-----|
23:00:00, |-----|
```

Obraz 4) Symulacja dla parkingu przy galerii handlowej 3 następnego dnia.

Badanie: Ile miejsc parkingowych należy dobudować, aby powyższy parking mógł obsłużyć wszystkie auta przyjeżdżające średnio co 40 sekund bez tworzenia się kolejki?

Po zwiększeniu obciążenia przyjazdów do wartości 1 pojazd co 40 sekund, parking zapelnia się już od godz. 14:00. Średnio ponad 400 pojazdów nie wjeżdża na parking, czekają w kolejce aż do godziny zamknięcia parkingu. Parking o powyższych parametrach obsługuje dziennie maksymalnie 2800 pojazdów.

### przed_wj: 0,	wyj: 0, 06:00:00, -----
### przed_wj: 0,	wyj: 13, 07:00:00, #####
### przed_wj: 0,	wyj: 65, 08:00:00, #####
### przed_wj: 0,	wyj: 138, 09:00:00, #####
### przed_wj: 0,	wyj: 219, 10:00:00, #####
### przed_wj: 0,	wyj: 339, 11:00:00, #####
### przed_wj: 0,	wyj: 487, 12:00:00, #####
### przed_wj: 0,	wyj: 652, 13:00:00, #####
### przed_wj: 22,	wyj: 831, 14:00:00, #####
### przed_wj: 68,	wyj: 1043, 15:00:00, #####
### przed_wj: 135,	wyj: 1245, 16:00:00, #####
### przed_wj: 256,	wyj: 1453, 17:00:00, #####
### przed_wj: 411,	wyj: 1668, 18:00:00, #####
### przed_wj: 524,	wyj: 1859, 19:00:00, #####
### przed_wj: 596,	wyj: 2051, 20:00:00, #####
### przed_wj: 643,	wyj: 2252, 21:00:00, #####
### przed_wj: 430,	wyj: 2672, 22:00:00, #####
### przed_wj: 430,	wyj: 2871, 23:00:00, -----

Obraz 5) Symulacja dla parkingu przy galerii handlowej 1 pojazd co 40 sekund.

Zwiększając liczbę miejsc parkingowych do 265 jesteśmy w stanie w większości dni zapewnić wjazd wszystkim chętnym pojazdom. Liczba 270 zapewni już w każdym zbadanym dniu wjazd wszystkich oczekujących.

Dzien 9									
### przed_wj: 0,	wj: 0,	przed_k: 0,	k: 0,	przed_wyj: 0,	wyj: 0,	06:00:00,	-----		
### przed_wj: 0,	wj: 66,	przed_k: 54,	k: 548,	przed_wyj: 0,	wyj: 12,	07:00:00,	#####		
### przed_wj: 0,	wj: 124,	przed_k: 64,	k: 1097,	przed_wyj: 0,	wyj: 60,	08:00:00,	#####		
### przed_wj: 0,	wj: 214,	przed_k: 82,	k: 1664,	przed_wyj: 0,	wyj: 132,	09:00:00,	#####		
### przed_wj: 0,	wj: 325,	przed_k: 99,	k: 2210,	przed_wyj: 0,	wyj: 226,	10:00:00,	#####		
### przed_wj: 0,	wj: 462,	przed_k: 127,	k: 2750,	przed_wyj: 0,	wyj: 335,	11:00:00,	#####		
### przed_wj: 0,	wj: 640,	przed_k: 156,	k: 3299,	przed_wyj: 0,	wyj: 484,	12:00:00,	#####		
### przed_wj: 0,	wj: 819,	przed_k: 166,	k: 3853,	przed_wyj: 0,	wyj: 653,	13:00:00,	#####		
### przed_wj: 0,	wj: 1003,	przed_k: 194,	k: 4402,	przed_wyj: 0,	wyj: 809,	14:00:00,	#####		
### przed_wj: 0,	wj: 1273,	przed_k: 251,	k: 4946,	przed_wyj: 0,	wyj: 1022,	15:00:00,	#####		
### przed_wj: 0,	wj: 1558,	przed_k: 264,	k: 5486,	przed_wyj: 0,	wyj: 1294,	16:00:00,	#####		
### przed_wj: 69,	wj: 1821,	przed_k: 265,	k: 6032,	przed_wyj: 0,	wyj: 1556,	17:00:00,	#####		
### przed_wj: 195,	wj: 2058,	przed_k: 265,	k: 6566,	przed_wyj: 0,	wyj: 1793,	18:00:00,	#####		
### przed_wj: 243,	wj: 2327,	przed_k: 265,	k: 7119,	przed_wyj: 0,	wyj: 2062,	19:00:00,	#####		
### przed_wj: 234,	wj: 2602,	przed_k: 264,	k: 7667,	przed_wyj: 0,	wyj: 2338,	20:00:00,	#####		
### przed_wj: 235,	wj: 2852,	przed_k: 265,	k: 8214,	przed_wyj: 0,	wyj: 2587,	21:00:00,	#####		
### przed_wj: 0,	wj: 3289,	przed_k: 223,	k: 8773,	przed_wyj: 0,	wyj: 3066,	22:00:00,	#####		
### przed_wj: 0,	wj: 3289,	przed_k: 0,	k: 8996,	przed_wyj: 0,	wyj: 3289,	23:00:00,	-----		

Obraz 6) Symulacja dla parkingu przy galerii handlowej zwiększenie l. miejsc do 265 1 pojazd co 40 sekund.

W powyższym wyniku symulacji widać, że w kolejce w godzinach szczytu pojawia się wysoka liczba pojazdów, jest to ponad połowa dostępnych miejsc na parking. Aby zminimalizować tę kolejkę,

nałżałoby zwiększyć liczbę miejsc parkingowych do 320 - taka liczba zapewni swobodny wjazd większości pojazdom, a kolejka nie będzie dłuższa niż 30-40 samochodów.

```
Dzien 5
### przed_wj: 0, wj: 0, przed_k: 0, k: 0, przed_wyj: 0, wyj: 0, 06:00:00, |-----|
### przed_wj: 0, wj: 55, przed_k: 46, k: 546, przed_wyj: 0, wyj: 9, 07:00:00, |##-----|
### przed_wj: 0, wj: 140, przed_k: 81, k: 1100, przed_wyj: 0, wyj: 59, 08:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 228, przed_k: 85, k: 1648, przed_wyj: 0, wyj: 143, 09:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 335, przed_k: 96, k: 2194, przed_wyj: 0, wyj: 239, 10:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 476, przed_k: 142, k: 2733, przed_wyj: 0, wyj: 334, 11:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 629, przed_k: 152, k: 3281, przed_wyj: 0, wyj: 477, 12:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 825, przed_k: 186, k: 3837, przed_wyj: 0, wyj: 639, 13:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 1030, przed_k: 195, k: 4386, przed_wyj: 0, wyj: 835, 14:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 1295, przed_k: 243, k: 4939, przed_wyj: 0, wyj: 1052, 15:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 1583, przed_k: 290, k: 5492, przed_wyj: 0, wyj: 1293, 16:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 1903, przed_k: 315, k: 6038, przed_wyj: 0, wyj: 1588, 17:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 33, wj: 2234, przed_k: 320, k: 6586, przed_wyj: 0, wyj: 1914, 18:00:00, |#####|
### przed_wj: 20, wj: 2563, przed_k: 320, k: 7142, przed_wyj: 0, wyj: 2243, 19:00:00, |#####|
### przed_wj: 18, wj: 2873, przed_k: 320, k: 7684, przed_wyj: 0, wyj: 2553, 20:00:00, |#####|
### przed_wj: 0, wj: 3137, przed_k: 260, k: 8232, przed_wyj: 0, wyj: 2877, 21:00:00, |#####----|
### przed_wj: 0, wj: 3340, przed_k: 59, k: 8769, przed_wyj: 0, wyj: 3281, 22:00:00, |##-----|
### przed_wj: 0, wj: 3340, przed_k: 0, k: 8828, przed_wyj: 0, wyj: 3340, 23:00:00, |-----|
```

Obraz 7) Symulacja dla parkingu przy galerii handlowej zwiększenie I. miejsc do 320 1 pojazd co 40 sekund.

Badanie: Ile miejsc parkingowych można wyłączyć z użytkowania, aby zachować płynność ruchu pojazdów na parkingu?

200 miejsc parkingowych zapewnia brak kolejki przy średnim czasie między przyjazdami równym 70 sekund. Obniżając liczbę dostępnych miejsc do 150, uzyskujemy zapelnienie parkingu w godzinach szczytu, natomiast wszystkie pojazdy są w stanie wjechać na parking.

```
Dzien 9
### przed_wj: 0, wj: 0, przed_k: 0, k: 0, przed_wyj: 0, wyj: 0, 06:00:00, |-----|
### przed_wj: 0, wj: 32, przed_k: 23, k: 533, przed_wyj: 0, wyj: 9, 07:00:00, |###-----|
### przed_wj: 0, wj: 69, przed_k: 30, k: 1079, przed_wyj: 0, wyj: 39, 08:00:00, |####-----|
### przed_wj: 0, wj: 112, przed_k: 44, k: 1640, przed_wyj: 0, wyj: 68, 09:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 186, przed_k: 63, k: 2185, przed_wyj: 0, wyj: 123, 10:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 255, przed_k: 68, k: 2726, przed_wyj: 0, wyj: 187, 11:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 340, przed_k: 86, k: 3272, przed_wyj: 0, wyj: 254, 12:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 452, przed_k: 109, k: 3815, przed_wyj: 0, wyj: 343, 13:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 560, przed_k: 122, k: 4367, przed_wyj: 0, wyj: 438, 14:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 695, przed_k: 132, k: 4915, przed_wyj: 0, wyj: 563, 15:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 845, przed_k: 141, k: 5460, przed_wyj: 0, wyj: 704, 16:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 51, wj: 988, przed_k: 150, k: 6013, przed_wyj: 0, wyj: 838, 17:00:00, |#####|
### przed_wj: 85, wj: 1143, przed_k: 150, k: 6561, przed_wyj: 0, wyj: 993, 18:00:00, |#####|
### przed_wj: 107, wj: 1281, przed_k: 150, k: 7112, przed_wyj: 0, wyj: 1131, 19:00:00, |#####|
### przed_wj: 130, wj: 1428, przed_k: 150, k: 7673, przed_wyj: 0, wyj: 1278, 20:00:00, |#####|
### przed_wj: 119, wj: 1583, przed_k: 149, k: 8213, przed_wyj: 0, wyj: 1434, 21:00:00, |#####|
### przed_wj: 0, wj: 1837, przed_k: 67, k: 8766, przed_wyj: 0, wyj: 1770, 22:00:00, |#####|
### przed_wj: 0, wj: 1837, przed_k: 0, k: 8833, przed_wyj: 0, wyj: 1837, 23:00:00, |-----|
```

Obraz 8) Symulacja dla galerii handlowej I. miejsc 200 1 pojazd co 70 sekund.

Zmniejszenie liczby miejsc do 130 powoduje już duże problemy z płynnością ruchu, w kolejce do wjazdu oczekuje się drugie tyle pojazdów, ile jest miejsc na parkingu.

```
Dzien 3
### przed_wj: 0, wj: 0, przed_k: 0, k: 0, przed_wyj: 0, wyj: 0, 06:00:00, |-----|
### przed_wj: 0, wj: 31, przed_k: 20, k: 515, przed_wyj: 0, wyj: 11, 07:00:00, |###-----|
### przed_wj: 0, wj: 84, przed_k: 43, k: 1055, przed_wyj: 0, wyj: 41, 08:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 155, przed_k: 68, k: 1596, przed_wyj: 0, wyj: 87, 09:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 205, przed_k: 62, k: 2151, przed_wyj: 0, wyj: 143, 10:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 265, przed_k: 59, k: 2698, przed_wyj: 0, wyj: 206, 11:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 382, przed_k: 96, k: 3238, przed_wyj: 0, wyj: 286, 12:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 478, przed_k: 91, k: 3791, przed_wyj: 0, wyj: 387, 13:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 622, przed_k: 125, k: 4346, przed_wyj: 0, wyj: 497, 14:00:00, |#####|
### przed_wj: 29, wj: 740, przed_k: 129, k: 4904, przed_wyj: 0, wyj: 611, 15:00:00, |#####|
### przed_wj: 72, wj: 862, przed_k: 130, k: 5461, przed_wyj: 0, wyj: 732, 16:00:00, |#####|
### przed_wj: 91, wj: 1001, przed_k: 130, k: 6004, przed_wyj: 0, wyj: 871, 17:00:00, |#####|
### przed_wj: 139, wj: 1135, przed_k: 130, k: 6541, przed_wyj: 0, wyj: 1005, 18:00:00, |#####|
### przed_wj: 196, wj: 1265, przed_k: 130, k: 7082, przed_wyj: 0, wyj: 1135, 19:00:00, |#####|
### przed_wj: 250, wj: 1398, przed_k: 130, k: 7639, przed_wyj: 0, wyj: 1268, 20:00:00, |#####|
### przed_wj: 237, wj: 1550, przed_k: 130, k: 8175, przed_wyj: 0, wyj: 1420, 21:00:00, |#####|
### przed_wj: 45, wj: 1865, przed_k: 130, k: 8721, przed_wyj: 0, wyj: 1735, 22:00:00, |#####|
### przed_wj: 45, wj: 1865, przed_k: 0, k: 8851, przed_wyj: 0, wyj: 1865, 23:00:00, |-----|
```

Obraz 9) Symulacja dla galerii handlowej I. miejsc 130 1 pojazd co 70 sekund.


```

Dzien 7
### przed_wj: 0, wj: 0, przed_k: 0, k: 0, przed_wyj: 0, wyj: 0, 06:00:00, |-----|
### przed_wj: 0, wj: 36, przed_k: 23, k: 563, przed_wyj: 0, wyj: 13, 07:00:00, |##-----|
### przed_wj: 0, wj: 74, przed_k: 37, k: 1108, przed_wyj: 0, wyj: 37, 08:00:00, |####-----|
### przed_wj: 0, wj: 121, przed_k: 41, k: 1641, przed_wyj: 0, wyj: 80, 09:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 193, przed_k: 63, k: 2179, przed_wyj: 0, wyj: 130, 10:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 273, przed_k: 68, k: 2730, przed_wyj: 0, wyj: 205, 11:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 365, przed_k: 86, k: 3273, przed_wyj: 0, wyj: 279, 12:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 483, przed_k: 112, k: 3822, przed_wyj: 0, wyj: 371, 13:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 609, przed_k: 121, k: 4360, przed_wyj: 0, wyj: 488, 14:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 754, przed_k: 137, k: 4903, przed_wyj: 0, wyj: 617, 15:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 0, wj: 925, przed_k: 148, k: 5436, przed_wyj: 0, wyj: 777, 16:00:00, |#####-----|
### przed_wj: 11, wj: 1095, przed_k: 180, k: 5982, przed_wyj: 0, wyj: 915, 17:00:00, |#####|
### przed_wj: 60, wj: 1267, przed_k: 180, k: 6529, przed_wyj: 0, wyj: 1087, 18:00:00, |#####|
### przed_wj: 50, wj: 1449, przed_k: 180, k: 7069, przed_wyj: 0, wyj: 1269, 19:00:00, |#####|
### przed_wj: 49, wj: 1628, przed_k: 180, k: 7609, przed_wyj: 0, wyj: 1448, 20:00:00, |#####|
### przed_wj: 0, wj: 1810, przed_k: 179, k: 8161, przed_wyj: 0, wyj: 1631, 21:00:00, |#####|
### przed_wj: 0, wj: 1944, przed_k: 14, k: 8709, przed_wyj: 0, wyj: 1930, 22:00:00, |#-----|
### przed_wj: 0, wj: 1944, przed_k: 0, k: 8723, przed_wyj: 0, wyj: 1944, 23:00:00, |-----|

```

Obraz 10) Symulacja dla galerii handlowej 1 pojazd co 70 sekund.

Spośród sprawdzonych liczb miejsc parkingowych, dla średniego czasu między przyjazdami wynoszącego 70 sekund najbardziej optymalną jest liczba 170. Tworzy się kolejka, która sukcesywnie się rozładowuje i wszystkie pojazdy są w stanie wjechać na parking na tyle wcześnie, aby mieć możliwość spędzenia czasu w galerii.

Badanie: Ile wjazdów, kas, wyjazdów należy zbudować, aby zapewnić najlepszy stosunek czasu niezawodności do ceny?

* liczba dni

Symulacja: czas do pierwszej awarii parkingu na uczelni *								
Nr próby	1 wjazd, 1 kasa, 1 wyjazd	1 wjazd, 3 kasy, 1 wyjazd	1 wjazd, 5 kas, 1 wyjazd	1 wjazd, 8 kas, 1 wyjazd	2 wjazdy, 3 kasy, 2 wyjazdy	2 wjazdy, 5 kas, 2 wyjazdy	2 wjazdy, 8 kas, 2 wyjazdy	2 wjazdy, 10 kas, 2 wyjazdy
1	770	1891	2927	4687	1864	2965	4591	4913
2	638	1837	2945	4482	1821	2935	4370	4928
3	621	1968	2998	4248	1899	2913	4361	4987
4	776	1814	2969	4586	1798	3025	4489	4904
5	642	1894	2984	4399	1909	2957	4518	4937
6	666	1887	2934	4602	1878	2898	4423	4984
7	694	1959	3009	4509	1859	2904	4397	4991
8	738	1881	2978	4458	1891	2944	4525	4931
9	701	1879	2948	4631	1801	3011	4478	4967
10	618	1888	2968	4476	1897	2948	4493	4959
Średnia	686,4	1889,8	2966	4507,8	1861,7	2950	4464,5	4950,1
Awaria	Kasa	Kasa	Kasa	Wjazd	Kasa	Kasa	Kasa	Wyjazd

Tabela 1) Czasy do pierwszej awarii dla parkingu przy uczelni.

Symulacja: czas do pierwszej awarii parkingu przy galerii handlowej *								
Nr próby	1 wjazd, 1 kasa, 1 wyjazd	1 wjazd, 3 kasy, 1 wyjazd	1 wjazd, 5 kas, 1 wyjazd	1 wjazd, 8 kas, 1 wyjazd	2 wjazdy, 3 kasy, 2 wyjazdy	2 wjazdy, 5 kas, 2 wyjazdy	2 wjazdy, 8 kas, 2 wyjazdy	2 wjazdy, 10 kas, 2 wyjazdy
1	231	916	1588	2372	992	1561	2371	2700
2	247	937	1561	2354	895	1587	2357	2612
3	296	915	1579	2390	978	1547	2369	2658
4	268	929	1510	2348	964	1569	2421	2689
5	243	1040	1577	2381	955	1598	2364	2714
6	245	996	1558	2324	981	1552	2383	2663
7	264	967	1569	2382	972	1571	2346	2677
8	233	1023	1513	2362	967	1538	2391	2619
9	242	966	1588	2387	995	1579	2430	2657
10	234	940	1591	2373	988	1589	2378	2648
Średnia	250,3	962,9	1563,4	2367,3	968,7	1569,1	2381	2663,7
Awaria	Kasa	Kasa	Kasa	Wjazd	Kasa	Kasa	Kasa	Wyjazd

Tabela 2) Czasy do pierwszej awarii dla parkingu przy galerii handlowej.

Koszty komponentów		
Element	Koszt budowy [zł]	Koszt utrzymania [zł/rok]
Wjazd	12000	200
Kasa	50000	500
Wyjazd	10000	200

Tabela 3) Koszty komponentów.

Orientacyjne koszty zostały obliczone na podstawie cen w sklepach internetowych.

Koszty parkingu przy uczelni							
Liczba wjazdów	Liczba kas	Liczba wyjazdów	Koszt budowy [zł]	Koszt utrzymania [zł/rok]	MTTF [dni]	Budowa / MTTF	Utrzymanie / MTTF
1	1	1	62000	900	686,4	90,33	1,31
1	3	1	142000	1900	1889,8	75,14	1,01
1	5	1	222000	2900	2966	74,85	0,98
1	8	1	342000	4400	4507,8	75,87	0,98
2	3	2	164000	2300	1861,7	88,09	1,24
2	5	2	244000	3300	2950	82,71	1,12
2	8	2	364000	4800	4464,5	81,53	1,08
2	10	2	444000	5800	4950,1	89,7	1,17

Tabela 4) Koszty parkingu przy uczelni.

Koszty parkingu przy galerii							
Liczba wjazdów	Liczba kas	Liczba wyjazdów	Koszt budowy [zł]	Koszt utrzymania [zł/rok]	MTTF [dni]	Budowa / MTTF	Utrzymanie / MTTF
1	1	1	62000	900	250,3	68,89	3,6
1	3	1	142000	1900	962,9	74,74	1,97
1	5	1	222000	2900	1563,4	76,55	1,85
1	8	1	342000	4400	2367,3	77,73	1,86
2	3	2	164000	2300	968,7	71,3	2,37
2	5	2	244000	3300	1569,1	73,94	2,1
2	8	2	364000	4800	2381	75,83	2,02
2	10	2	444000	5800	2663,7	76,55	2,18

Tabela 5) Koszty parkingu przy galerii.

Rozważane przypadki:

1 wjazd i 1 wyjazd, zmienna liczba kas

- To rozwiązanie zapewnia minimalny koszt.

2 wjazdy i 2 wyjazdy, zmienna liczba kas

- To rozwiązanie zapewnia bezawaryjne działanie parkingu, gdyż w przypadku awarii jednego z wjazdów/wyjazdów pozostaje drugi, który może przejąć ruch pojazdów na czas naprawy niedziałającego.

Wyniki analizy:

Powyższe wyniki wskazują, że najbardziej optymalną liczbą kas jest 5. Wówczas czas niezawodnej pracy jest długi, a stosunek kosztów budowy i utrzymania jest najlepszy w całej zestawieniu.

Warto zauważyć, że przy liczbie kas mniejszej niż 8, elementem powodującym awarię systemu jest najczęściej kasa. Liczby dni poniżej 8 kas dotyczą zatem czasu bezawaryjnej pracy kas, natomiast średni czas niezawodnej pracy wjazdów i wyjazdów widoczny jest przy liczbie kas wynoszącej 8. Wynika z tego, że zwiększając liczbę kas, zmniejszamy średnie obciążenie na poszczególnych kasach, co wydłuża ich średni czas bezawaryjnej pracy.

Gdy liczba kas wynosi 5, w przypadku awarii jednej z nich, pozostają 4 działające kasy, co cały czas pozwala na sprawną obsługę pojazdów, natomiast mniejsza liczba kas sprawiłaby, że awaria jednej kasy przeniosłaby proporcjonalnie więcej ruchu na pozostałe kasy - doprowadzi to do szybszej awarii kolejnych kas.

Analizując liczbę wjazdów i wyjazdów, mamy dwie możliwości, uzależnione od potrzeb właściciela parkingu. Jeden wjazd i jeden wyjazd zapewniają niższą cenę budowy i utrzymania, natomiast w sytuacji awarii parking staje się niedostępny. Pojazdy mogą albo nie wjechać na parking, albo nie wyjechać z niego, co jest niedopuszczalne. Zapewniając po dwa wjazdy i dwa wyjazdy, zabezpieczymy parking przed sytuacją, że nie będzie możliwości przejazdu przez niego. Na czas awarii jednego z modułów wjazdowych i wyjazdowych, drugi, działający, przejmie cały ruch pojazdów.

Wyniki symulacji dla obu rodzajów parkingów są bardzo podobne, różnice w czasach bezawaryjnej pracy wynikają wyłącznie z liczby samochodów korzystających z danego parkingu danego dnia. Na parkingu uczelnianym ruch odbywa się przede wszystkim w godzinach porannych, później jest on bardzo mały. Natomiast w przypadku parkingu przy galerii handlowej, ruch odbywa się przez cały dzień, w godzinach szczytu jest po prostu większy. Z tego powodu parking przy uczelni ma prawie dwukrotnie dłuższy MTTF, proporcjonalnie do parkingu przy galerii handlowej.

Optymalizacja systemu:

Parking przy uczelni

Na parking badanej uczelni pojazdy przyjeżdżają średnio co 70 sekund w godzinach porannych. Po południu ruch znacząco maleje.

Po przeprowadzeniu symulacji systemu obsługi parkingu dla różnych konfiguracji i parametrów, zaobserwowaliśmy, że rozwiązaniem optymalnym dla naszego systemu są następujące parametry:

Liczba miejsc parkingowych: 200 - założona maksymalna liczba, na jaką pozwala teren przy uczelni

Liczba wjazdów: 1

Liczba kas: 5

Liczba wyjazdów: 1

Rozwiązanie to zapewnia najlepszą niezawodność biorąc pod uwagę koszty. Parking przy uczelni nie wymaga pełnej niezawodności wjazdów i wyjazdów, ponieważ w razie awarii wystarczy otworzyć szlabany i pozwolić na swobodny przepływ pojazdów. Kontrola ruchu jest tutaj wskazana, ale nie konieczna. Nie wpływa na zarobki firmy, więc wystarczy jeden wjazd i jeden wyjazd.

Parking przy galerii handlowej

Na parking badanej galerii handlowej pojazdy przyjeżdżają średnio co 70 sekund

Po przeprowadzeniu symulacji systemu obsługi parkingu dla różnych konfiguracji i parametrów, zaobserwowaliśmy, że rozwiązaniem optymalnym dla naszego systemu są następujące parametry:

Liczba miejsc parkingowych: 180 (170 + 10 zapasowych w razie konieczności wyłączenia części miejsc parkingowych z użytku)

Liczba wjazdów: 2

Liczba kas: 5

Liczba wyjazdów: 2

Rozwiązanie to zapewnia najlepszą niezawodność biorąc pod uwagę koszty. Parking przy galerii handlowej potrzebuje niezawodnej kontroli dostępu, ponieważ duża część zarobków galerii pochodzi z biletów parkingowych. Ruch odbywa się przez całą dobę, więc w grę wchodzi duże pieniądze. Z tego powodu liczba wjazdów i wyjazdów wynosi dwa.

Podsumowanie:

W ramach projektu zdefiniowano wymagania projektowe, opracowano model systemu szeregowo-równoległego dla systemu obsługi parkingu oraz przeprowadzono symulację przy użyciu metody Monte Carlo. Analiza wyników symulacji pozwoliła na określenie czasów do pierwszej awarii i kosztów związanych z obsługą systemu.

Następnie, na podstawie wyników symulacji, przeprowadzono analizę, w której zidentyfikowano słabe punkty systemu wymagające poprawy. W oparciu o te wnioski, zaproponowano optymalizację systemu, mającą na celu zwiększenie niezawodności i minimalizację kosztów.

Podsumowując, projekt pozwolił na ocenę niezawodności systemu obsługi parkingu oraz zidentyfikowanie obszarów wymagających poprawy. Opracowane strategie optymalizacji mają na celu zwiększenie niezawodności systemu i minimalizację kosztów. Efektem projektu jest dokumentacja procesu analizy niezawodnościowej, wraz z opisem przyjętych założeń, modelem systemu, wynikami analizy, wnioskami oraz propozycjami dotyczącymi poprawy systemu.

Bibliografia:

- <https://www.napedy-bram.pl/pobierz-im5f15t2q15ujaze2k-4955076.html> - informacje o niezawodności bramek wjazdowych i wyjazdowych.
- K. Sawicki, "Niezwadność systemów informatycznych", Wydawnictwo Naukowe PWN - książka ta przedstawia metody i techniki oceny niezawodności systemów informatycznych, które mogą być zastosowane również w systemach obsługi parkingu.
- E. Zio, "Reliability Engineering: Theory and Practice", Springer - książka ta zawiera kompleksowe omówienie teorii niezawodności i metod jej oceny w różnych dziedzinach, w tym w systemach inżynierii ruchu.