

## Technologie sieciowe

### Lista 2

Małgorzata Orłowska

#### 1. Opis zadania

Celem zadania jest stworzenie modelu sieci oraz wykonanie badań jej niezawodności.

Należy zaproponować:

- topologię grafu  $G(V, E)$ , tak aby był spójny oraz  $|V| = 20$ ,  $|E| < 30$
- macierz strumienia natężeń  $N[n(i,j)]$  - gdzie  $n(i, j)$  to liczba przesyłanych pakietów od  $i$  do  $j$
- funkcję przepustowości - maksymalna liczba bitów, jaką można wprowadzić do kanału komunikacyjnego na sekundę
- funkcję przepływu - liczba pakietów wprowadzanych do kanału komunikacyjnego na sekundę

Należy zbadać niezawodność sieci w zależności od:

- macierzy natężeń
- przepustowości sieci
- liczby dodanych krawędzi

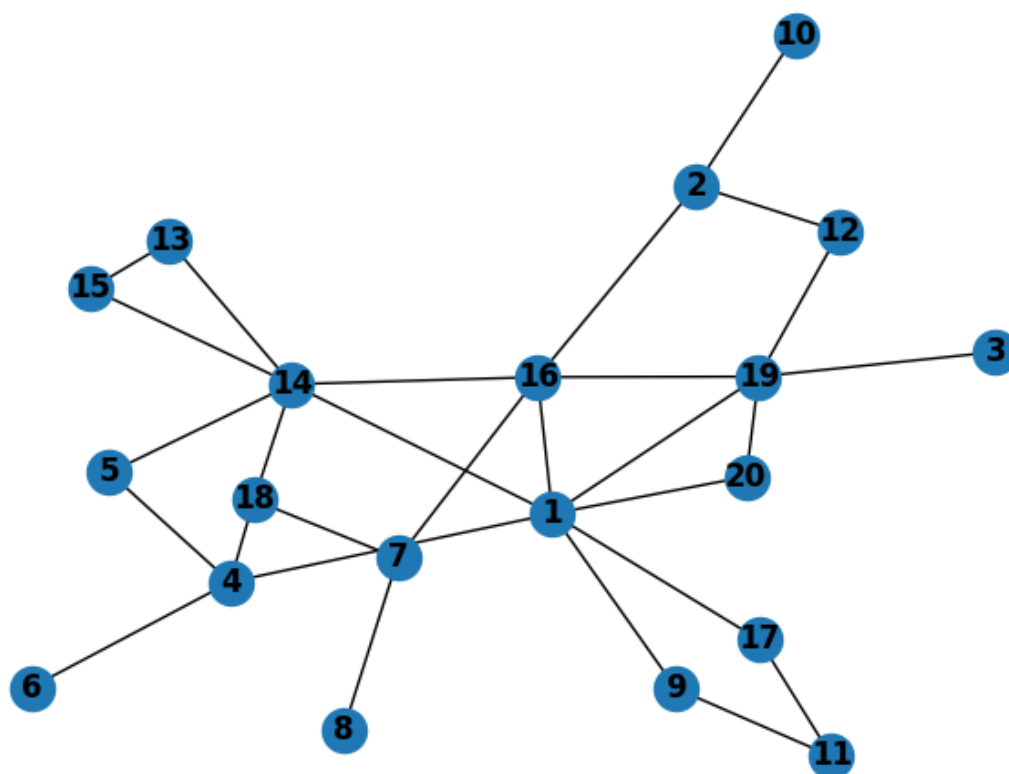
#### 2. Model sieci

##### 2.1. Struktura topologiczna

Badania zostały przeprowadzone na niżej zaprezentowanym grafie. Został on wygenerowany w następujący sposób:

- pierwszy wierzchołek połączono z losowo wybranym wierzchołkiem spośród pozostałych
- następnie kolejno losowano jeden wierzchołek, z tych znajdujących się w tak uzyskanym grafie i łączono go z losowym wierzchołkiem spośród wierzchołków jeszcze niepołączonych
- powyższa czynność była powtarzana dopóki nie dołączono do grafu wszystkich wierzchołków, w ten sposób uzyskaliśmy graf spójny z 19 krawędziami
- następnie dodano 9 losowych połączeń

Zaproponowana struktura topologiczna jest siecią nieregularną, podobną do tych z których korzystamy obecnie.



## 2.2. Macierz natężeń przesyłanych pakietów

Przyjęto, że każdy węzeł wysłał pakiety do pozostałych węzłów. Liczby pakietów były losowane w zakresie [1, 9].

$N =$  [0, 8, 4, 9, 3, 3, 4, 6, 5, 5, 6, 5, 4, 6, 3, 1, 4, 3, 7, 3]  
 [5, 0, 1, 2, 3, 6, 3, 4, 3, 7, 3, 4, 4, 9, 2, 9, 9, 8, 7, 1]  
 [1, 4, 0, 8, 5, 9, 7, 4, 7, 3, 8, 6, 3, 7, 5, 1, 9, 1, 7, 2]  
 [2, 2, 3, 0, 9, 8, 6, 7, 5, 5, 5, 6, 1, 1, 1, 8, 8, 5, 5, 9]  
 [9, 4, 9, 9, 0, 9, 2, 3, 3, 2, 9, 9, 9, 5, 5, 9, 8, 9, 7, 8]  
 [8, 7, 8, 1, 5, 0, 5, 6, 3, 6, 3, 8, 6, 2, 5, 9, 8, 4, 2, 5]  
 [5, 1, 3, 1, 4, 7, 0, 1, 4, 9, 8, 9, 8, 6, 4, 8, 5, 2, 6, 4]  
 [9, 3, 1, 2, 7, 8, 2, 0, 8, 4, 9, 3, 8, 4, 6, 4, 7, 7, 6, 7]  
 [4, 8, 9, 8, 7, 5, 5, 6, 0, 1, 7, 1, 6, 8, 9, 6, 6, 4, 9, 7]  
 [5, 3, 3, 8, 9, 7, 4, 6, 1, 0, 5, 6, 9, 9, 4, 7, 5, 1, 6, 6]  
 [9, 4, 7, 5, 3, 7, 3, 3, 3, 9, 0, 6, 5, 3, 4, 8, 8, 7, 6, 6]  
 [3, 9, 8, 1, 6, 5, 6, 1, 1, 5, 9, 0, 4, 9, 5, 3, 7, 1, 3, 1]  
 [6, 8, 5, 3, 5, 6, 6, 3, 9, 3, 3, 1, 0, 3, 7, 2, 8, 4, 4, 5]  
 [2, 8, 9, 1, 2, 5, 1, 2, 7, 6, 2, 9, 2, 0, 6, 4, 6, 8, 7, 9]  
 [4, 6, 7, 1, 5, 2, 4, 5, 8, 4, 4, 8, 5, 6, 0, 3, 7, 9, 9, 5]  
 [3, 4, 8, 3, 1, 1, 9, 8, 1, 5, 8, 2, 6, 7, 3, 0, 3, 5, 8, 1]  
 [5, 4, 5, 4, 7, 6, 5, 4, 2, 2, 5, 1, 2, 9, 9, 3, 0, 9, 2, 2]  
 [3, 1, 8, 9, 4, 6, 5, 2, 4, 5, 5, 2, 7, 8, 5, 3, 1, 0, 2, 2]  
 [6, 9, 2, 9, 1, 1, 2, 1, 5, 2, 5, 9, 9, 1, 6, 8, 5, 9, 0, 4]  
 [7, 2, 1, 9, 4, 1, 1, 4, 2, 3, 4, 2, 6, 2, 8, 5, 9, 2, 2, 0]

### 2.3. Funkcje krawędzi.

Funkcja przepływu sieci była wyznaczona ze względu na macierz natężeń, pomiędzy każdymi dwoma węzłami pakiety płyną po najkrótszej ścieżce..

Dla wszystkich krawędzi przyjęto tą samą przepustowość, liczoną jako pewna stała pomnożona przez maksymalny przepływ w sieci i wielkość pakietu.

Poniżej macierz rzeczywistego przepływu:

```
[ 0.  0.  0. 164. 0. 0. 0. 0. 170. 0. 0. 0. 0. 183. 0. 147.119.0. 163.80.]
[ 0.  0.  0.  0.  0. 0. 0. 0. 0. 86. 0. 68. 0. 0. 0. 176.0. 0. 0. 0.]
[ 0.  0.  0.  0.  0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 97. 0.]
[197.0.  0.  0.  0. 44.102.0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 61. 0. 0.]
[ 0.  0.  0. 76.  0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 52. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[ 0.  0.  0. 101.0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[ 0.  0.  0.  0.  0. 0. 0. 76. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 154.0. 66. 0. 0. 0.]
[ 0  0.  0.  0.  0. 0. 105.0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[195. 0.  0.  0.  0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 99. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[ 0. 104. 0.  0.  0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.]
[ 0.  0.  0.  0.  0. 0. 0. 0. 89. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 17. 0. 0. 0.]
[ 0. 33.  0.  0.  0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 71. 0.]
[ 0.  0.  0.  0.  0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 84. 7.  0.  0.  0.  0.  0.]
[162. 0. 101. 0.  0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 46. 0.  0.  0. 41.  0.  0.  7.]
[69.  0.  0.  0.  0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.  0.  0.  0.  5.  0.]
```

### 3. Algorytm szacowania niezawodności sieci

Wykonuje następujące kroki dla n eksperymentów:

01. dla każdej z krawędzi losuje prawdopodobieństwo jej usunięcia i porównuje ją z jej współczynnikiem niezawodności, jeżeli wylosowane prawdopodobieństwo jest większe to daną krawędź usuwamy
02. sprawdzenie czy otrzymana w ten sposób sieć spełnia określone wymagania, jeśli sieć jest spójna to:
  - a. obliczamy funkcję przepływu dla nowego grafu (ponownie są wyznaczane najkrótsze ścieżki pomiędzy węzłami)
  - b. sprawdzamy, czy wyznaczone przepływy nie przekraczają przepustowości, jeśli nie, to:
    - i. liczymy nowy średni czas opóźnienia przesyłanego pakietu ze wzoru  $((\sum_{i \in E} (a(i) / (c(i) / m - a(i))) / |N|)$ , gdzie  $a(i)$  - przepływ,  $c(i)$  - przepustowość,  $m$  - rozmiar pakietu,  $|N|$  - zsumowane elementy macierzy natężeń), jeśli jest mniejszy od granicznego to zwiększamy liczbę sukcesów przeprowadzanych eksperymentów (początkowo wynosi ona zero), w przeciwnym wypadku przechodzimy do kolejnego eksperymentu

#### 4. Testy

Niżej prezentowane wykresy przedstawiają średnią ze 100 otrzymanych wyników.

Przyjęto stały rozmiar pakietu  $m = 12\,000$  bitów.

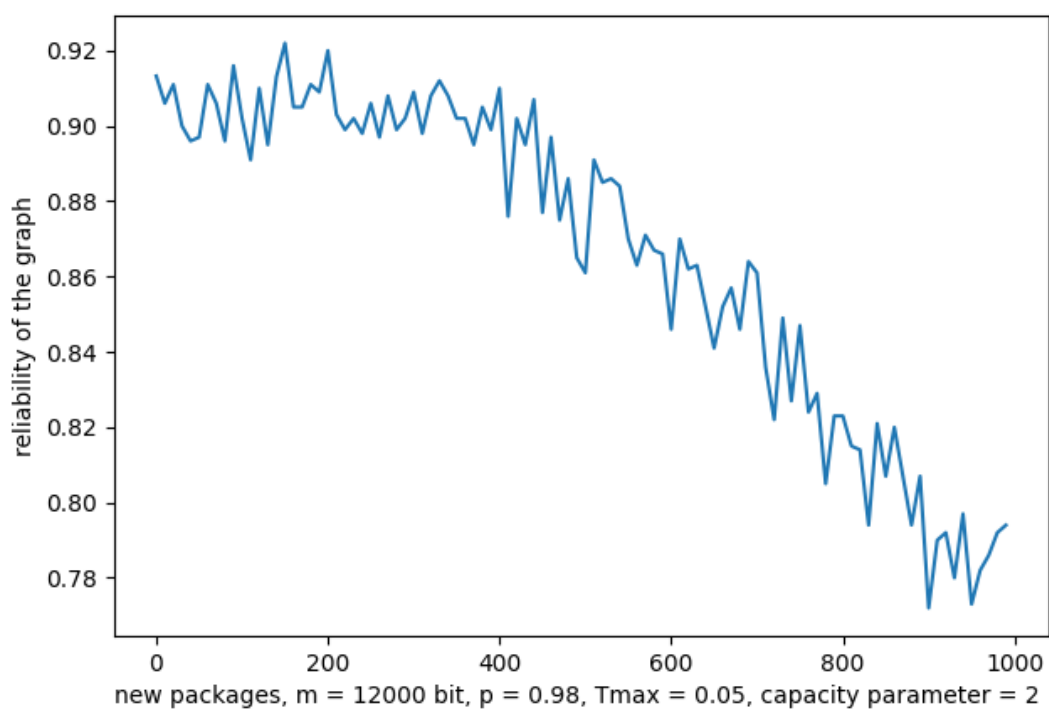
Pod wykresami opisano przyjęte parametry, oznaczone jako:

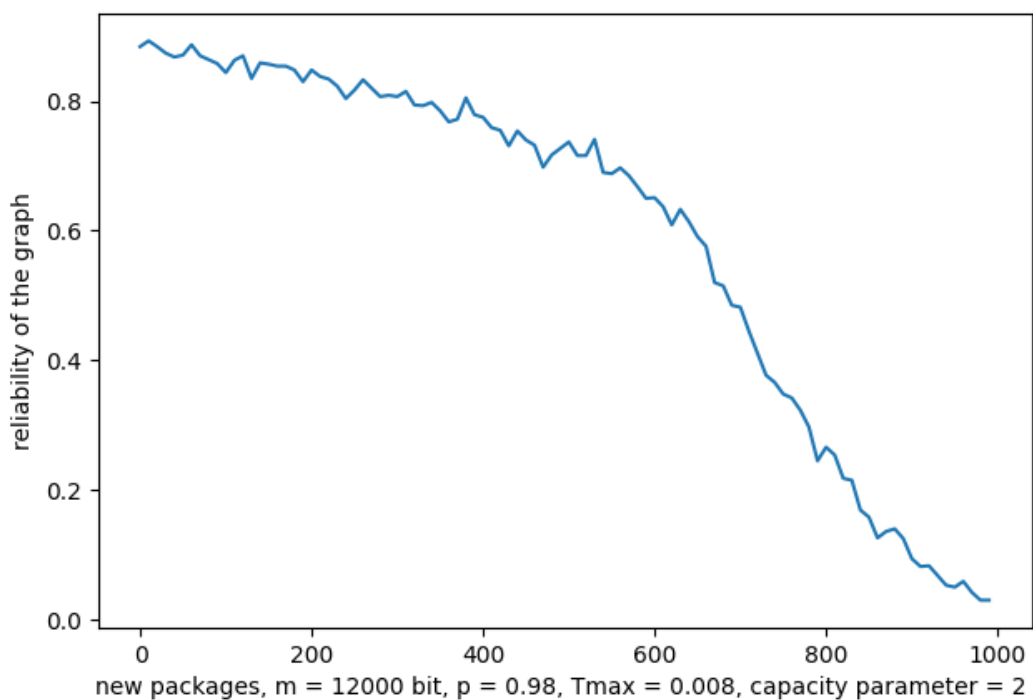
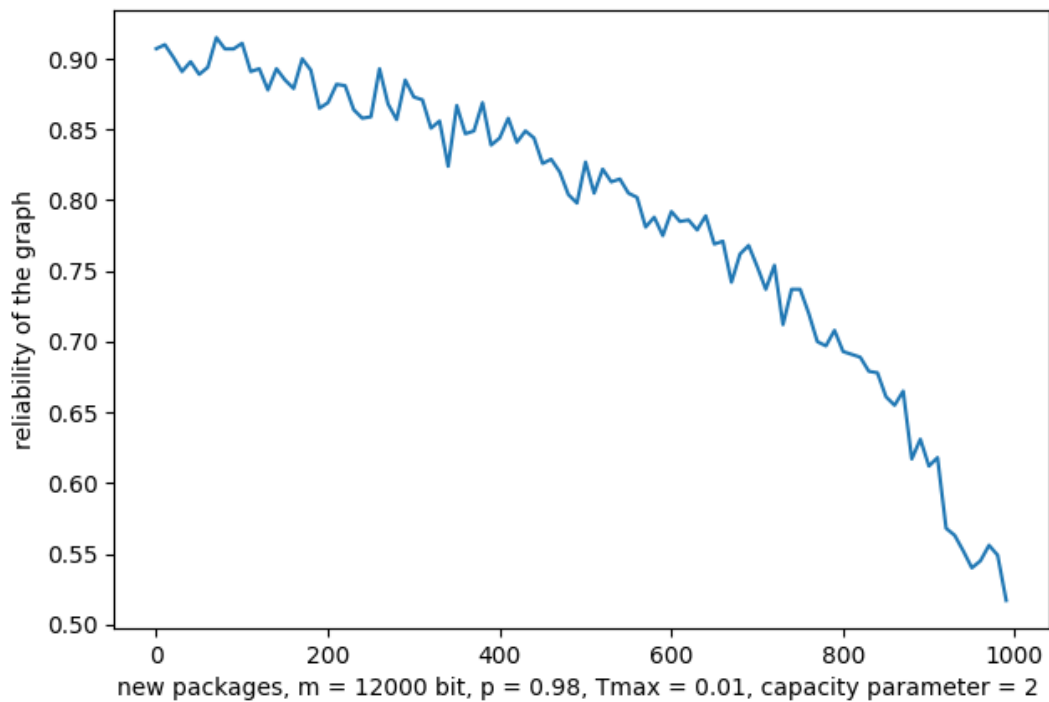
- $m$  - rozmiar pakietu (bity)
- $p$  - niezawodność krawędzi ( $[0, 1]$ )
- $T_{max}$  - maksymalne średnie opóźnienie pakietu
- capacity parameter - patrz 2.3

##### 4.1. Badanie niezawodności sieci w zależności od liczby przesyłanych pakietów.

100 razy zwiększamy natężenie jednej z losowych krawędzi o 10 pakietów.

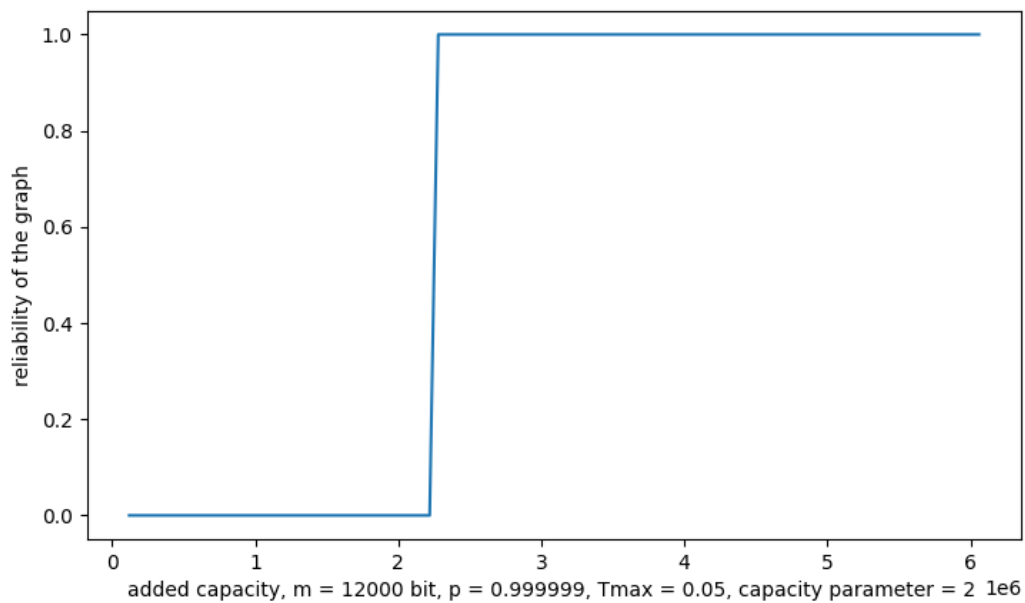
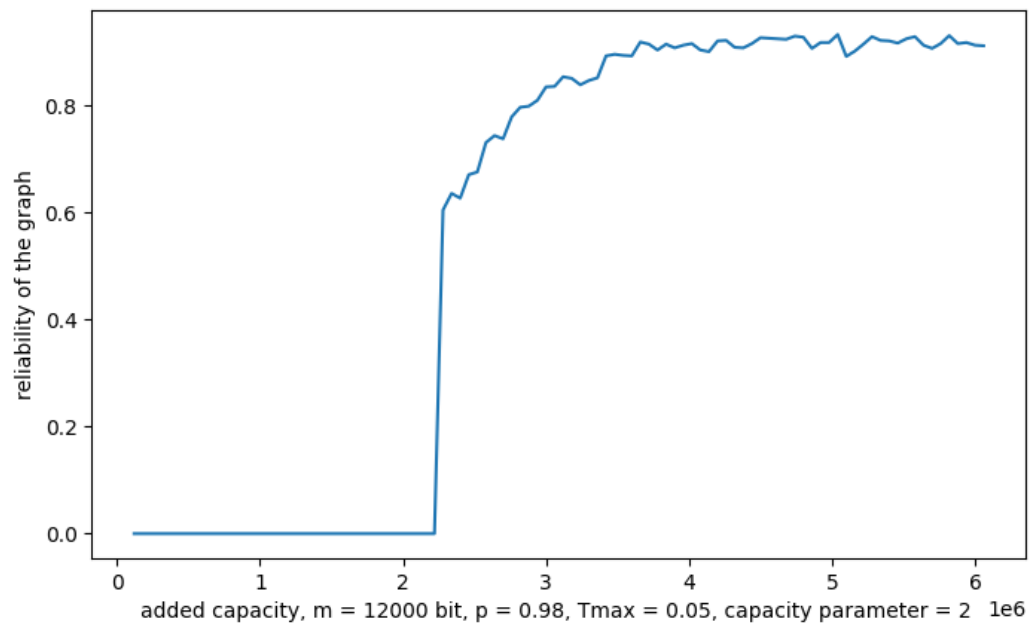
Sprawdzono jak zmienia się niezawodność przy wzroście liczby pakietów oraz jaki wpływ na nią ma  $T_{max}$ .

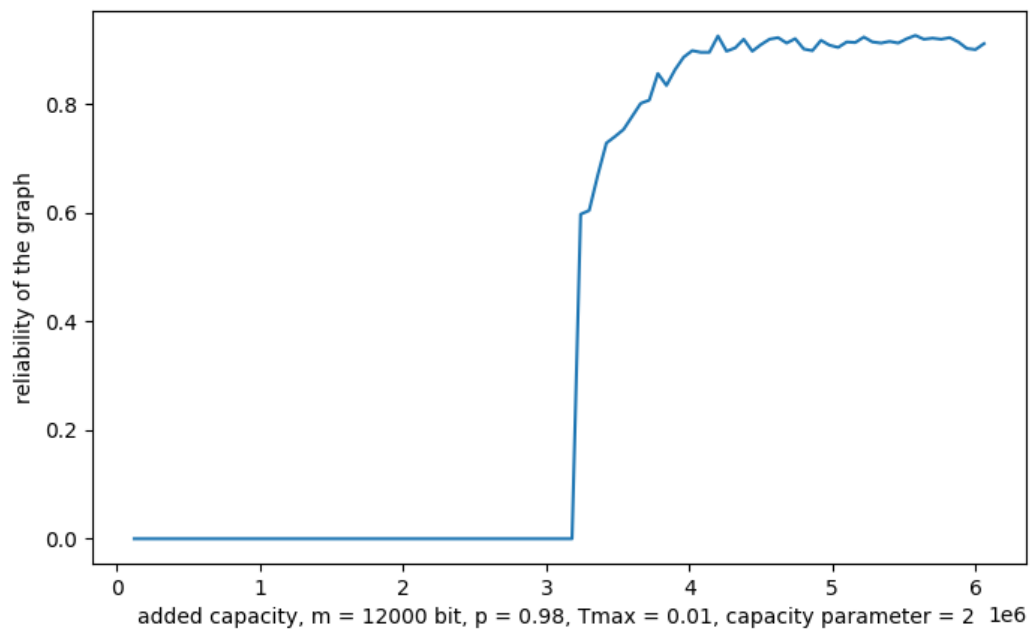
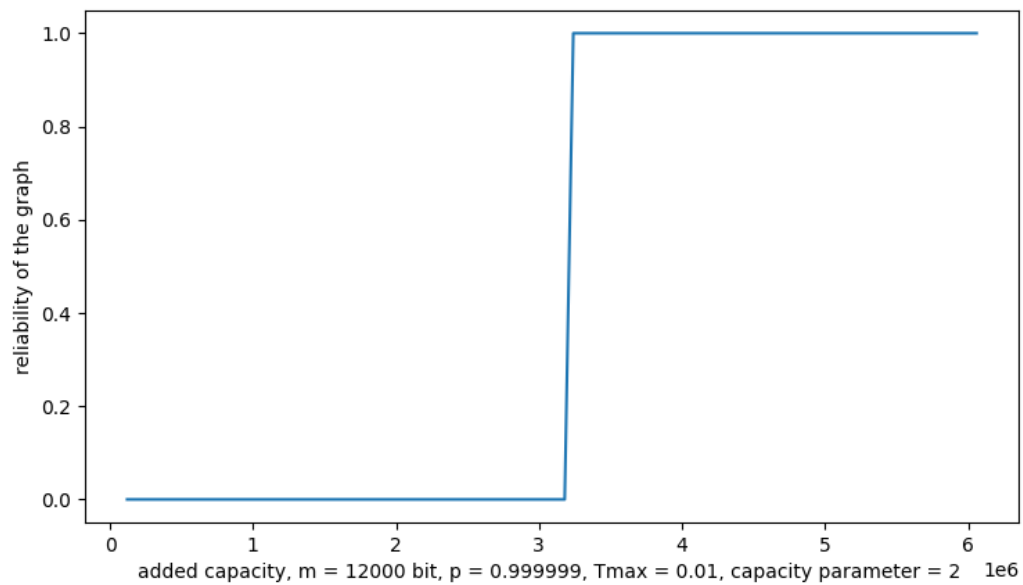




Wnioski: Im większa liczba pakietów, tym niezawodność coraz szybciej spada. Dla  $T_{\max} > 0.05$  niezawodność była na zbliżonym poziomie, a dla  $T_{\max} = 0.005$  spadała do zera. Powyższe wykresy pokazują, że dla bardzo małych  $T_{\max}$ , przy dużym wzroście liczby pakietów, niezawodność sieci zaczyna bardzo szybko spadać. W trakcie badań zauważono również, że znaczącą poprawę niezawodności uzyskiwano przy dużych  $p$ , np.  $p = 0.999999$ , a wzrost  $m$  powodował większą gwałtowność spadku niezawodności wraz ze wzrostem liczby pakietów.

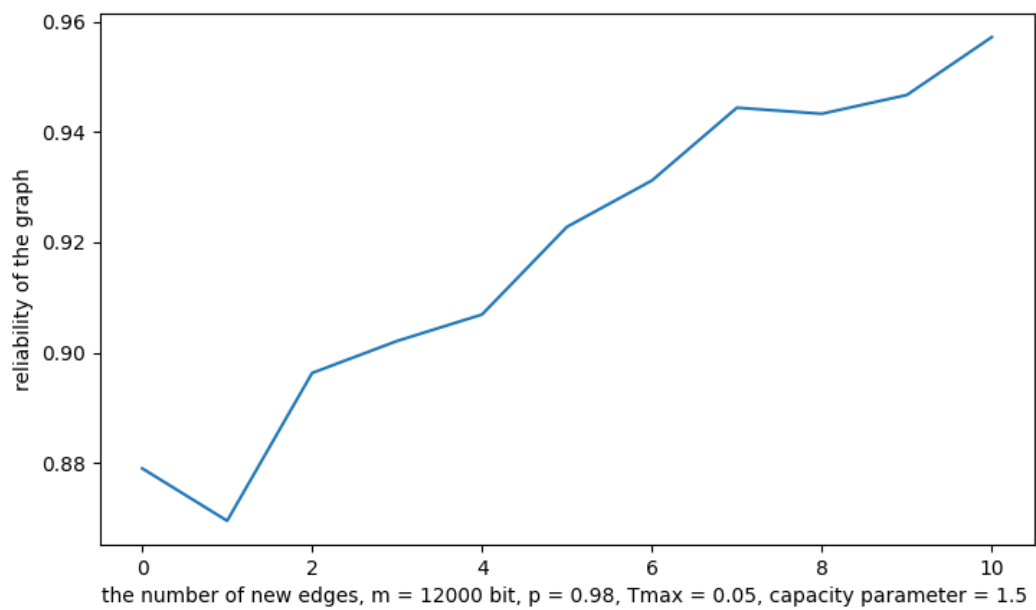
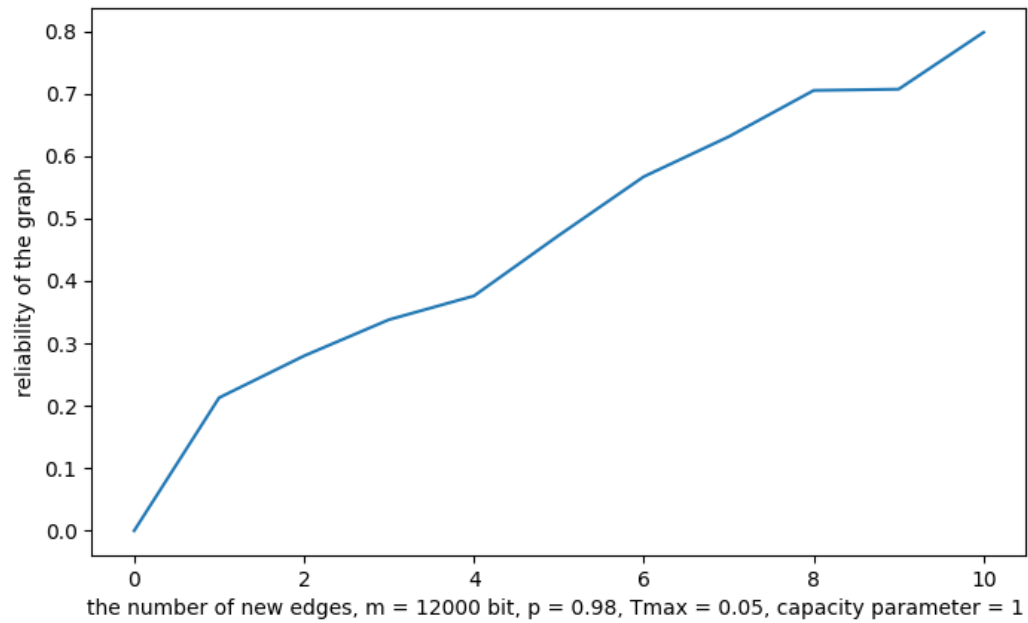
4.2. Badanie niezawodności sieci w zależności od przepustowości.  
Na potrzeby eksperymentu przyjęto za przepustowość początkową wartość  $10 \cdot m$  i zwiększano ją stopniowo o  $5 \cdot m$ .



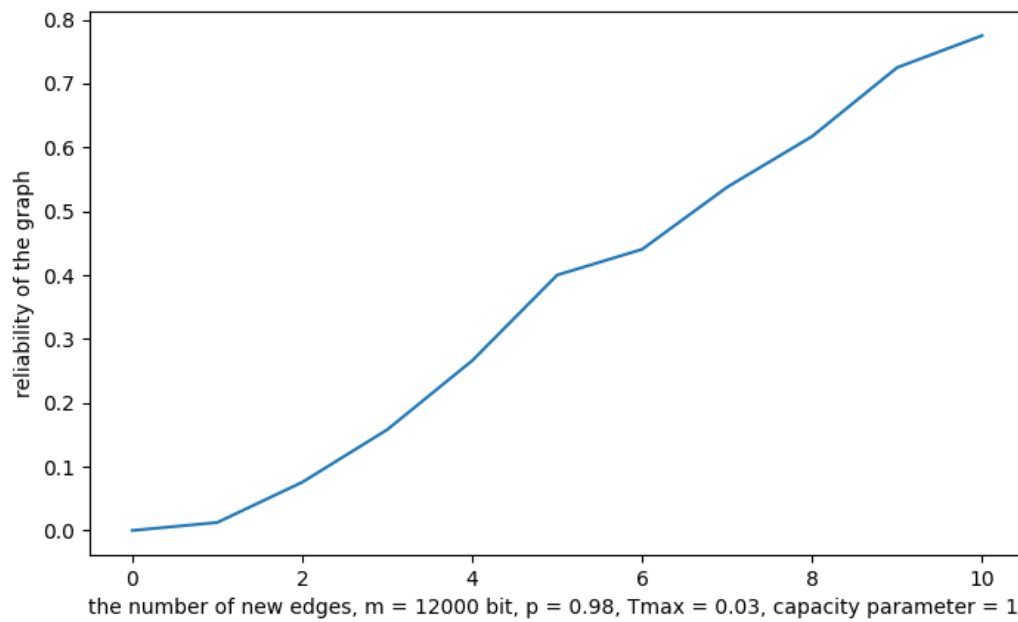
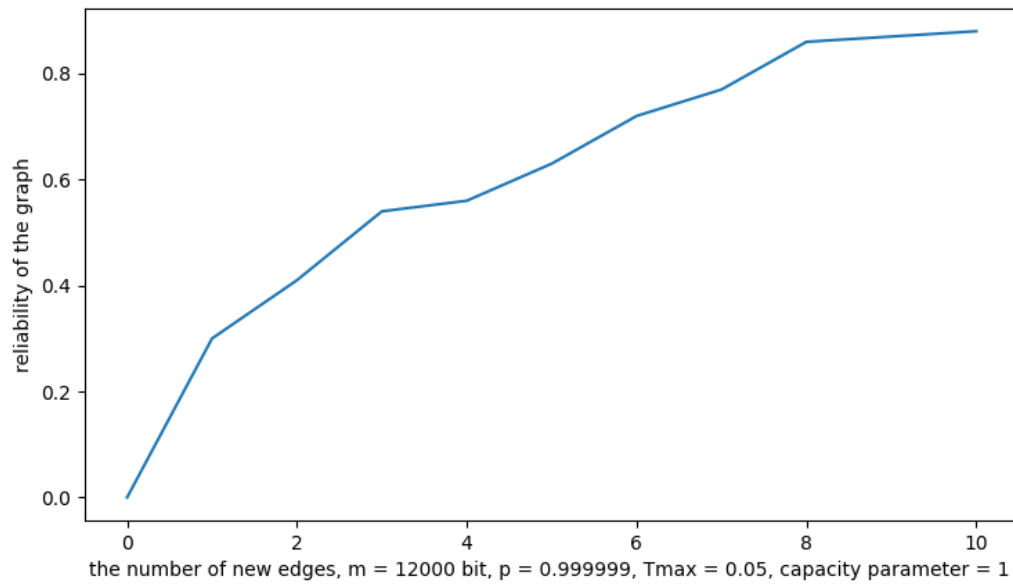


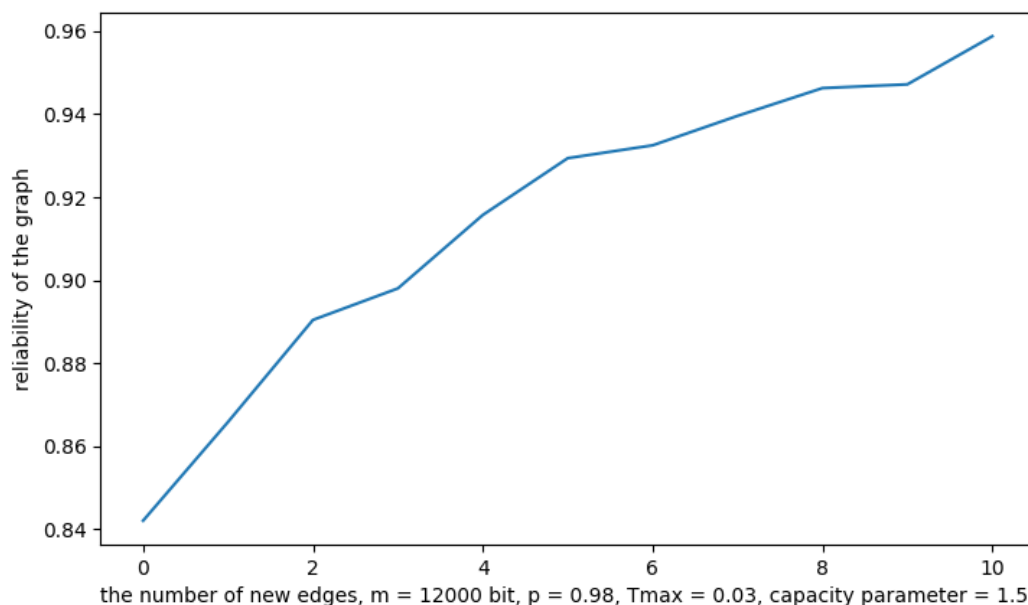
Wnioski: Łatwo wyznaczyć najmniejszą przepustowość, dla której sieć zaczyna funkcjonować, powyżej tego progu w zależności od przyjętego  $p$  wzrasta niezawodność. Im wyższe  $p$  tym szybciej nie opłaca się zwiększać przepustowości. Ten próg możemy przesuwać w zależności od  $T_{max}$ .

4.3. Badanie niezawodności sieci w zależności od liczby połączeń.  
Do ustalonej wcześniej struktury sieci dodawano po 1 dodatkowej krawędzi.









Wnioski: Dodanie kilku dodatkowych krawędzi znacząco wpływa na niezawodność sieci. Różnice w zmianie niezawodności poprzez dodawanie krawędzi zależą od przyjętej przepustowości. Zazwyczaj wraz z każdą dodatkową krawędzią niezawodność rośnie coraz wolniej.

##### 5. Wnioski

Im bardziej zbliżamy się do maksymalnego wykorzystania przepustowości połączeń tym większe znaczenie ma niezawodność tych połączeń (prawdopodobieństwo ich awarii), wzrasta wtedy prawdopodobieństwo przepełniania kanału oraz opóźnienie w przesyłaniu pakietów.