

Usługi i Aplikacje Internetu

Laboratorium nr 4 - TCP

Adrian Zalewski, Wiktor Zawadzki, Juliusz Kuzyka

May 2023

Spis treści

1	Zadanie 1	2
1.1	Teoretycznie obliczenie wielkości okna	2
1.2	Wykres przepustowości w funkcji wielkości okna	2
1.3	Wykres cwnd od czasu symulacji	3
1.3.1	Dla okna o wartości 90% wartości optymalnej	3
1.3.2	Dla okna o wartości 110% wartości optymalnej	3
2	Zadanie 2	4
2.1	Przepustowość w zależności od wielkości bufora	4
2.2	Rozmiar okna cwnd w zależności od czasu symulacji	5
2.2.1	Dla optymalnej wielkości bufora	5
2.2.2	Dla minimalnej wielkości bufora	5
2.3	Czas rtt w zależności od czasu symulacji	6
2.3.1	Dla optymalnej wielkości bufora	6
2.3.2	Dla minimalnej wielkości bufora	6
2.4	Chwilowa przepływność połączenia TCP w zależności od czasu	7
2.4.1	Dla optymalnej wielkości bufora	7
2.4.2	Dla minimalnej wielkości bufora	7
2.5	Estymacja chwilowej przepływności TCP	8
2.5.1	Dla optymalnej wielkości bufora	8
2.5.2	Dla minimalnej wielkości bufora	9
2.6	Parametr cwnd a optymalna wartość bufora.	9
3	Zadanie 3	10
3.1	Przepływność połączeń w zależności od czasu RTT	10
4	Wnioski	11

1 Zadanie 1

Parametry sieci:

- Opóźnienie łącza R1-R2: 70ms
- Opóźnienie łączy dostępowych: 10ms
- Pojemność łącza R1-R2: 10Mbit/s
- Bufor łącza R1-R2: 5 pakietów
- Rozmiar segmentu TCP (z uwzględnieniem nagłówka): 1500B

1.1 Teoretycznie obliczenie wielkości okna

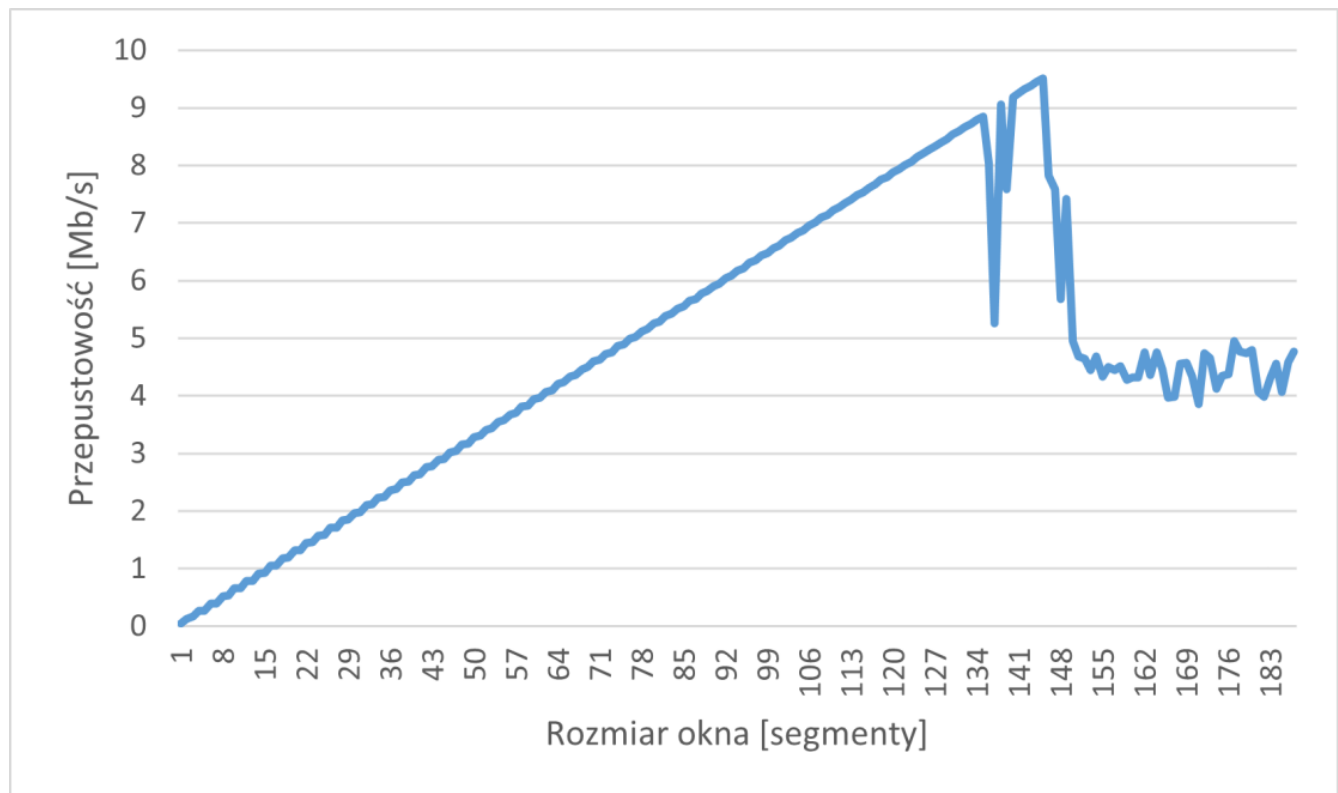
- $rtt = 0,18s$
- $rate = 10Mb/s = 1250000B/s$
- $segmentSize = 1500B$

$$windowSize = \frac{rtt \cdot rate}{segmentSize}$$
$$windowSize = 150$$

Optymalny rozmiar okna TCP ($windowSize$) to taki rozmiar który wykorzystuje maksymalną przepustowość sieci, u nas ten parametr po odpowiednich obliczeniach wyszedł 150.

1.2 Wykres przepustowości w funkcji wielkości okna

Na podstawie wykresu możemy stwierdzić że optymalna wartość wielkości okna wynosi 145.

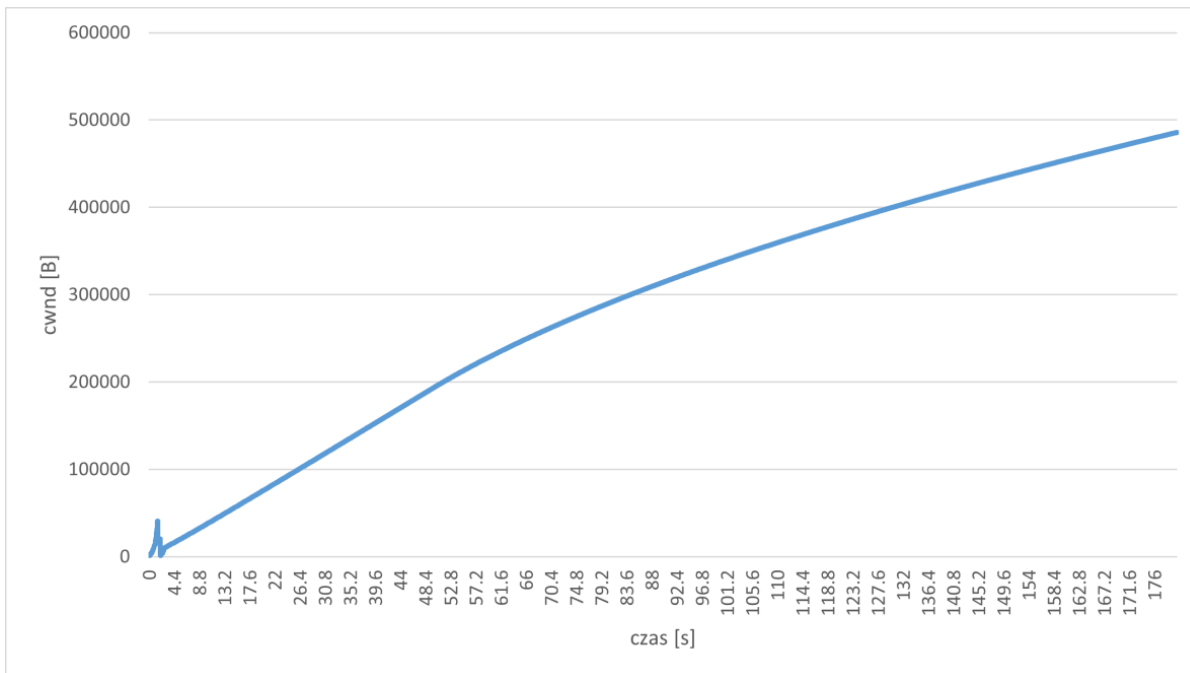


Rysunek 1: Przepustowość jako funkcja wielkości okna.

1.3 Wykres cwnd od czasu symulacji

1.3.1 Dla okna o wartości 90% wartości optymalnej

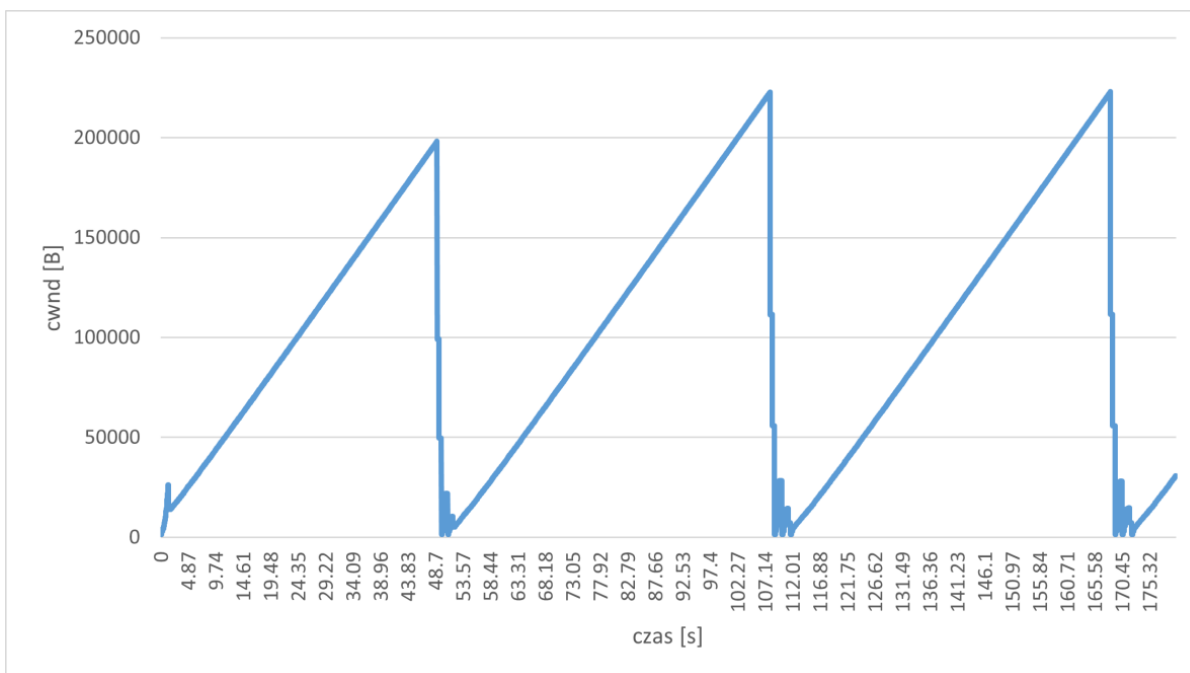
Dla rozmiaru okna o wartości 131 nie występuje utrata pakietów, zatem wartość cwnd nie jest redukowana.



Rysunek 2: cwnd jako funkcja czasu symulacji

1.3.2 Dla okna o wartości 110% wartości optymalnej

Dla rozmiaru okna o wartości 160 występuje utrata pakietów - połączenie przechodzi do stanu *slow start* i *congestion avoidance*, w konsekwencji wartość cwnd jest redukowana.



Rysunek 3: cwnd jako funkcja czasu symulacji

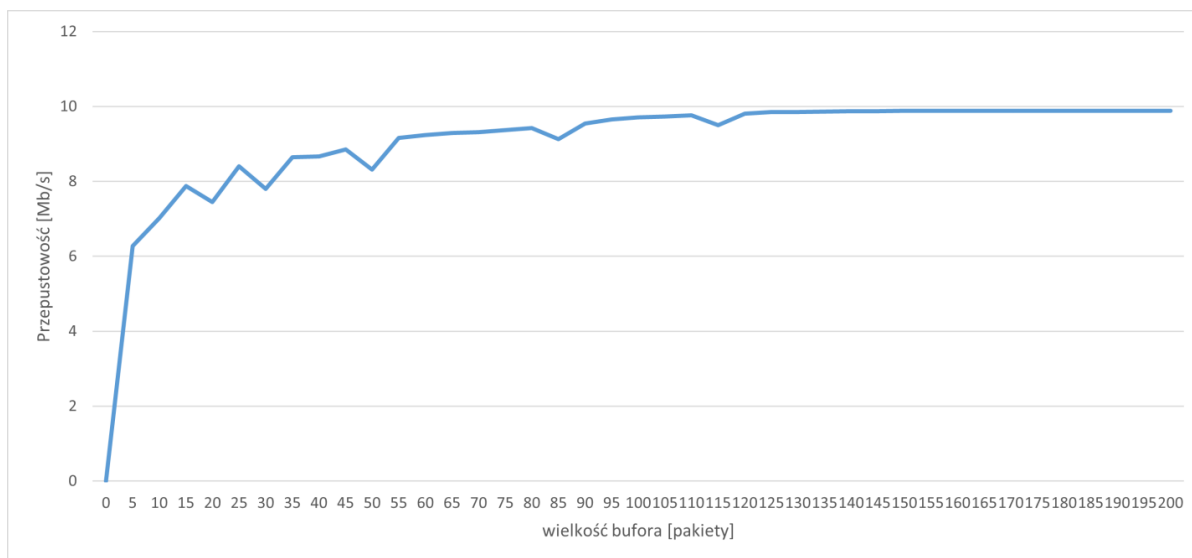
2 Zadanie 2

Parametry symulacji:

- opóźnienie łącza R1-R2: 70ms,
- opóźnienie łączy dostępowych: 10ms,
- pojemność łącza R1-R2: 10 Mbit/s,
- maksymalny rozmiar okna TCP: 5000 pakietów.
- Wartość próbkowania: 1

2.1 Przepustowość w zależności od wielkości bufora

Optymalną wielkość bufora wyznaczyliśmy za pomocą skryptu, za pomocą którego zmienialiśmy wielkość bufora, a następnie uruchamialiśmy symulację, która zapisywała wyniki stabilnej przepustowości do pliku .txt. Na podstawie wykresu możemy stwierdzić, że ta wielkość bufora wynosi 125.

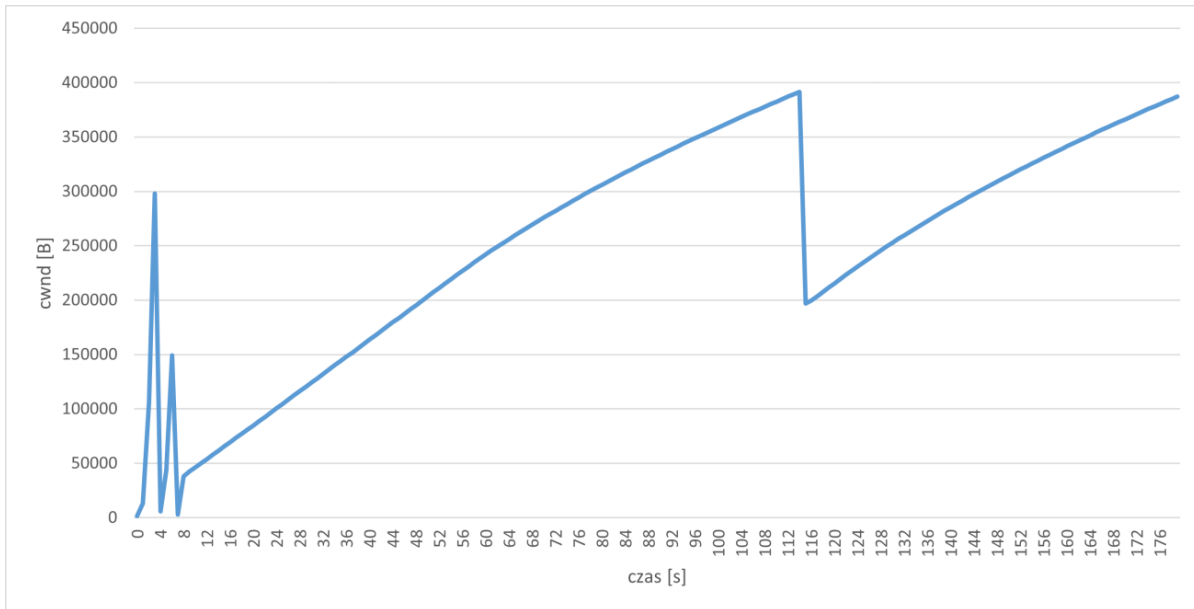


Rysunek 4: Przepustowość od wielkości bufra

2.2 Rozmiar okna cwnd w zależności od czasu symulacji

2.2.1 Dla optymalnej wielkości bufora

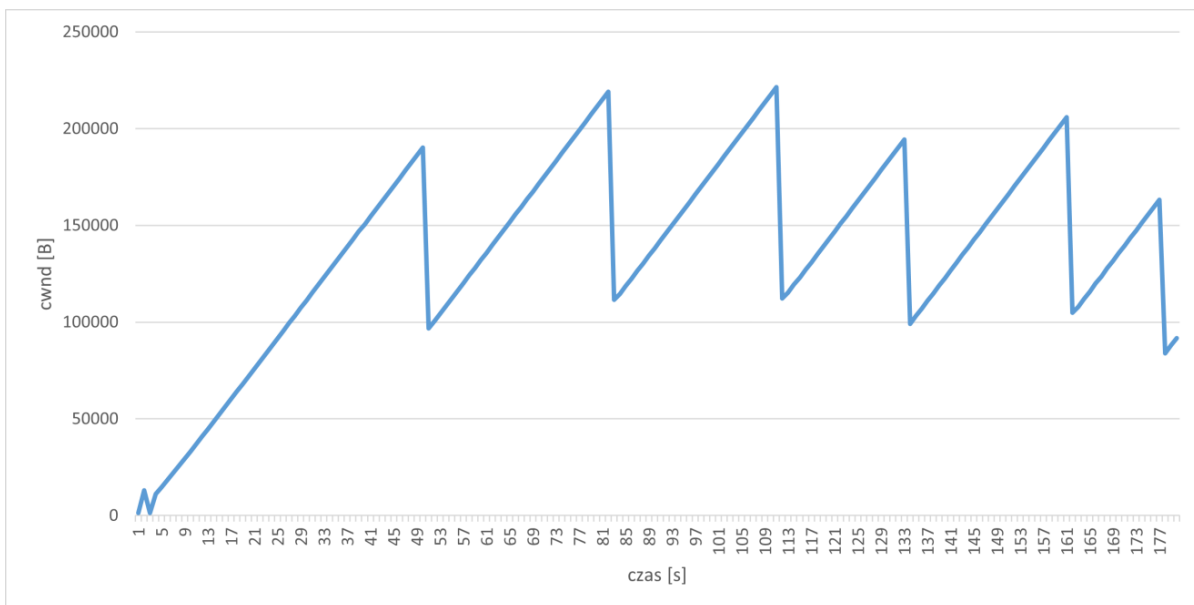
Ze względu na zbyt duże okno przesyłania danych, pojawiają się straty pakietów (3-DupACK), co skutkuje redukcją wartości cwnd (congestion window). W miarę wzrostu wartości cwnd, połączenie przechodzi w fazę unikania przeciążenia (congestion avoidance), a bufor sieciowy są opróżniane.



Rysunek 5: cwnd w zależności od czasu, dla bufora optymalnego

2.2.2 Dla minimalnej wielkości bufora

Wskutek zbyt dużej wielkości okna przesyłania danych, dochodzi do strat pakietów (3-DupACK), co powoduje cykliczne zmniejszanie wartości cwnd (congestion window). Obecnie połączenie znajduje się w fazie congestion avoidance, gdzie starannie monitoruje się i dostosowuje wielkość okna w celu uniknięcia przeciążenia.

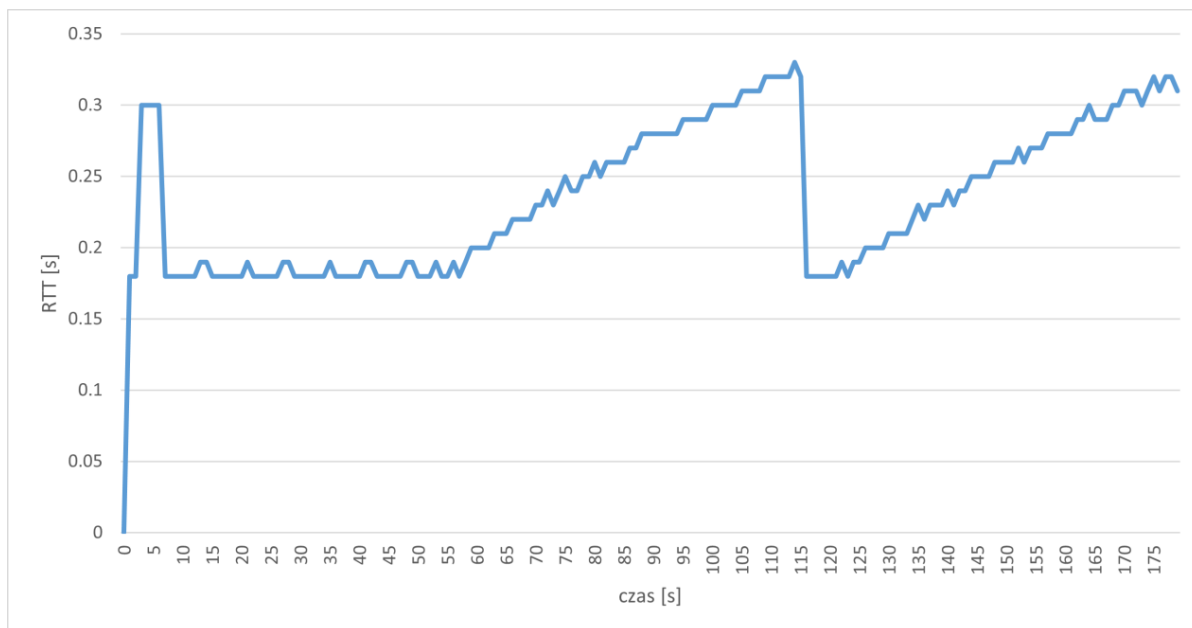


Rysunek 6: cwnd w zależności od czasu, dla bufora minimalnego

2.3 Czas rtt w zależności od czasu symulacji

2.3.1 Dla optymalnej wielkości bufora

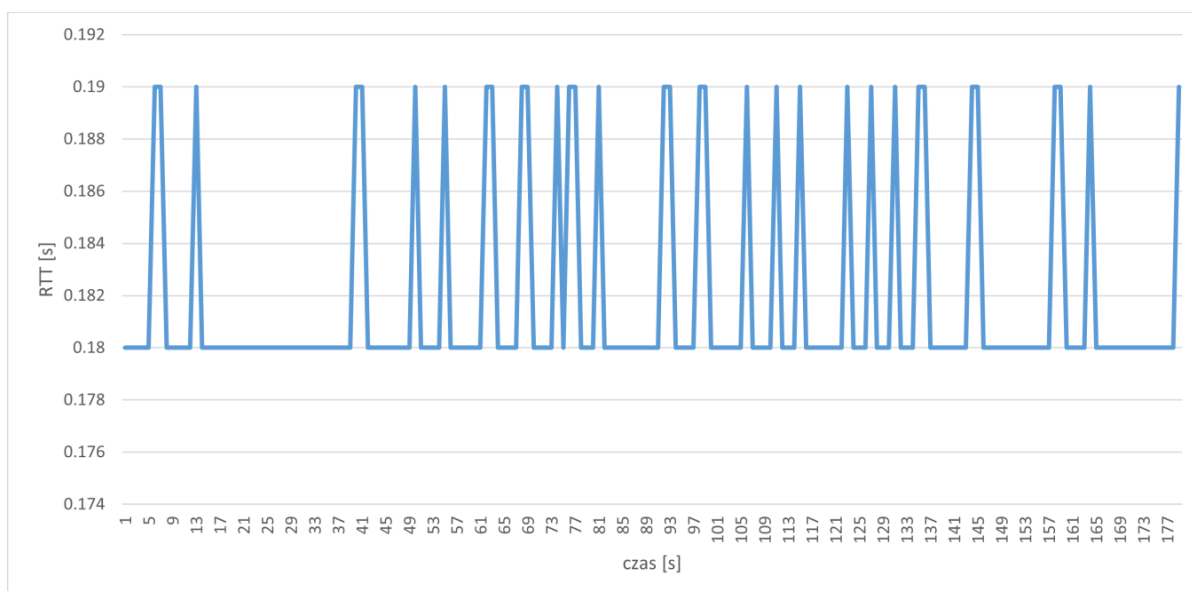
Ze względu na zapewnianie i opróżnianie buforów sieciowych, dochodzi do cyklicznego wzrostu i spadku czasu rtt (Round Trip Time).



Rysunek 7: rtt w zależności od czasu, dla bufora optymalnego

2.3.2 Dla minimalnej wielkości bufora

Ze względu na mały rozmiar bufora sieciowego, pakiety nie są magazynowane w nim. W rezultacie czas rtt jest zazwyczaj stały.

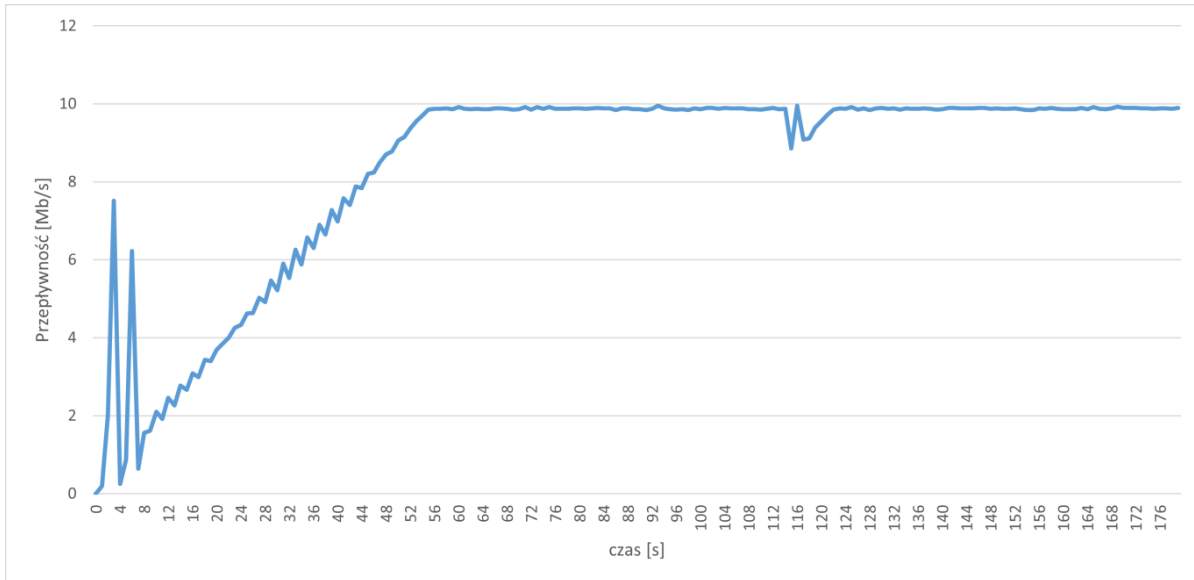


Rysunek 8: rtt w zależności od czasu, dla bufora minimalnego

2.4 Chwilowa przepływność połączenia TCP w zależności od czasu

2.4.1 Dla optymalnej wielkości bufora

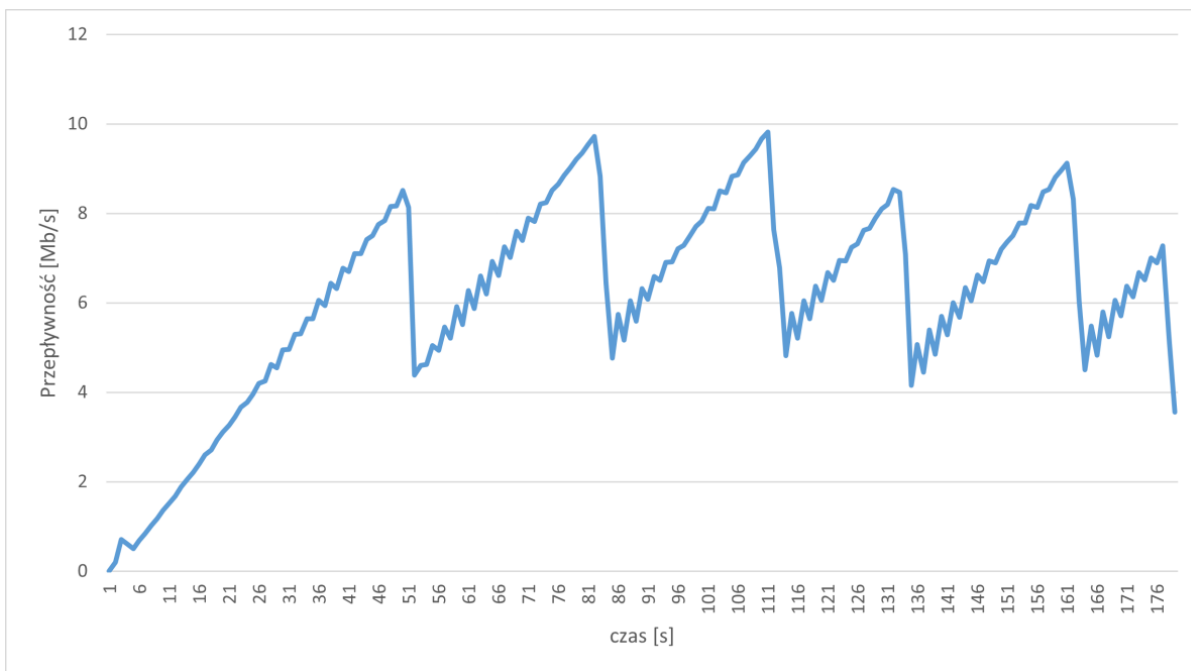
Przepływność łącza może zostać wyznaczona na podstawie ilości bitów przesłanych w odcinkach jednosekundowych. Po wystąpieniu timeout'u w fazie slow start, następuje przejście do fazy congestion avoidance, a w rezultacie łącze osiąga przepływność zbliżoną do maksymalnej.



Rysunek 9: Chwilowa przepływność w zależności od czasu, dla bufora optymalnego

2.4.2 Dla minimalnej wielkości bufora

Przepływność łącza może być obliczona na podstawie ilości bitów przesłanych w odcinkach jednosekundowych. W przypadku wystąpienia strat pakietów (3-DupACK) z powodu zbyt dużej wielkości okna, rozmiar okna jest cyklicznie redukowany. Połączenie przechodzi w fazę congestion avoidance, gdzie monitoruje się i dostosowuje wielkość okna w celu uniknięcia przeciążenia.

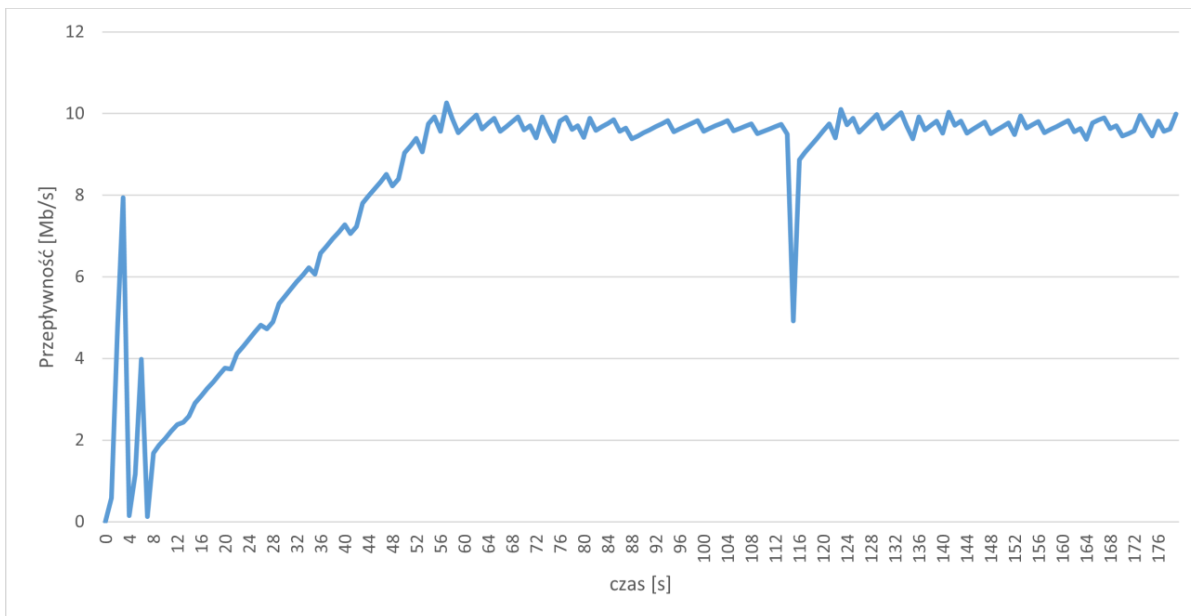


Rysunek 10: Chwilowa przepływność w zależności od czasu, dla bufora minimalnego

2.5 Estymacja chwilowej przepływności TCP

2.5.1 Dla optymalnej wielkości bufora

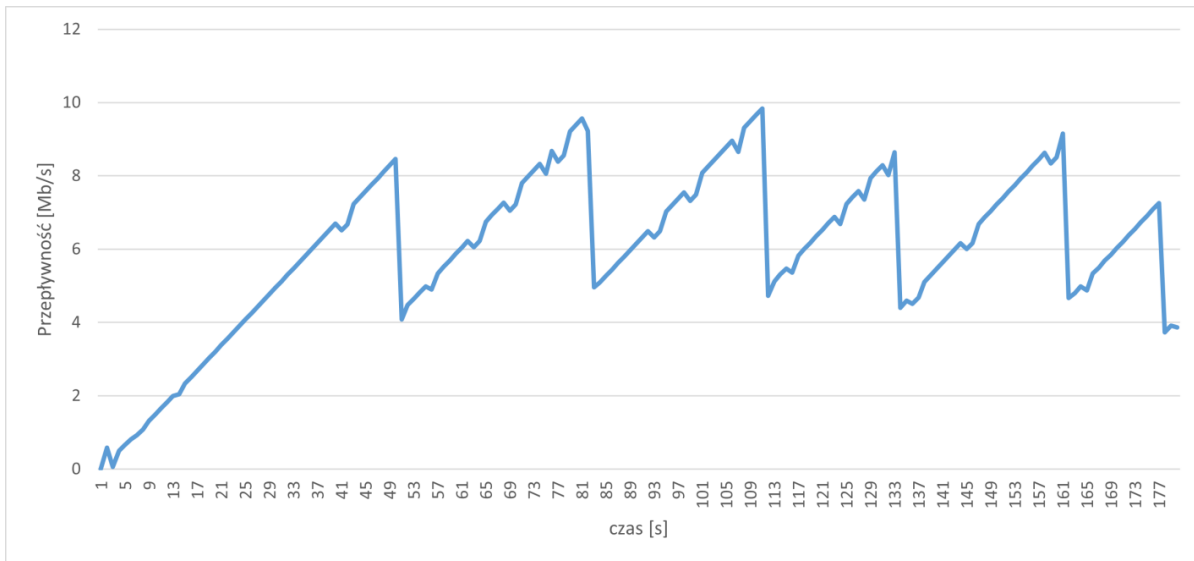
Estymacja przepływności łącza opiera się na parametrach cwnd (congestion window) oraz rtt (Round Trip Time). Po wystąpieniu timeout'u w fazie slow start, następuje przejście do fazy congestion avoidance. Cykliczne zmiany wartości cwnd i rtt mają istotny wpływ na dokładność estymacji przepływności łącza.



Rysunek 11: Estymacja chwilowej przepływności w zależności od czasu, dla bufora optymalnego

2.5.2 Dla minimalnej wielkości bufora

Na podstawie parametrów *cwnd* (congestion window) i *rtt* (Round Trip Time) można oszacować przepływność łącza. Jednakże, jeżeli okno przesyłania danych jest zbyt duże, może dojść do strat pakietów (3-DupACK), co skutkuje cyklicznym zmniejszaniem wartości *cwnd*. W takiej sytuacji połączenie przechodzi do fazy *congestion avoidance*, gdzie starannie monitoruje się i dostosowuje wielkość okna w celu uniknięcia przeciążenia.



Rysunek 12: Estymacja chwilowej przepływności w zależności od czasu, dla bufora minimalnego

2.6 Parametr *cwnd* a optymalna wartość bufora.

Czy wykres parametru *cwnd* może być pomocny przy wyznaczaniu optymalnej wielkości bufora łącza R1-R2?

Tak, parametr *cwnd* w protokole TCP odzwierciedla liczbę pakietów, jakie mogą być wysłane przez nadawcę przed otrzymaniem potwierdzenia odbioru (ACK) od odbiorcy. W przypadku optymalnego połączenia, wartość *cwnd* będzie dobrana tak, aby maksymalizować przepustowość łącza przy minimalizacji utraty pakietów.

Na wykresie nr 6 wartości *cwnd* od czasu dla minimalnego bufora (5 pakietów) możemy określić jaka jest maksymalna wartość *cwnd* przed przejściem do fazy *congestion avoidance*. Występuje wiele zbliżonych do siebie wartości maksymalnego *cwnd*, które wahają się w zakresie 170000 - 220000. Na tej podstawie możemy oszacować optymalny bufor:

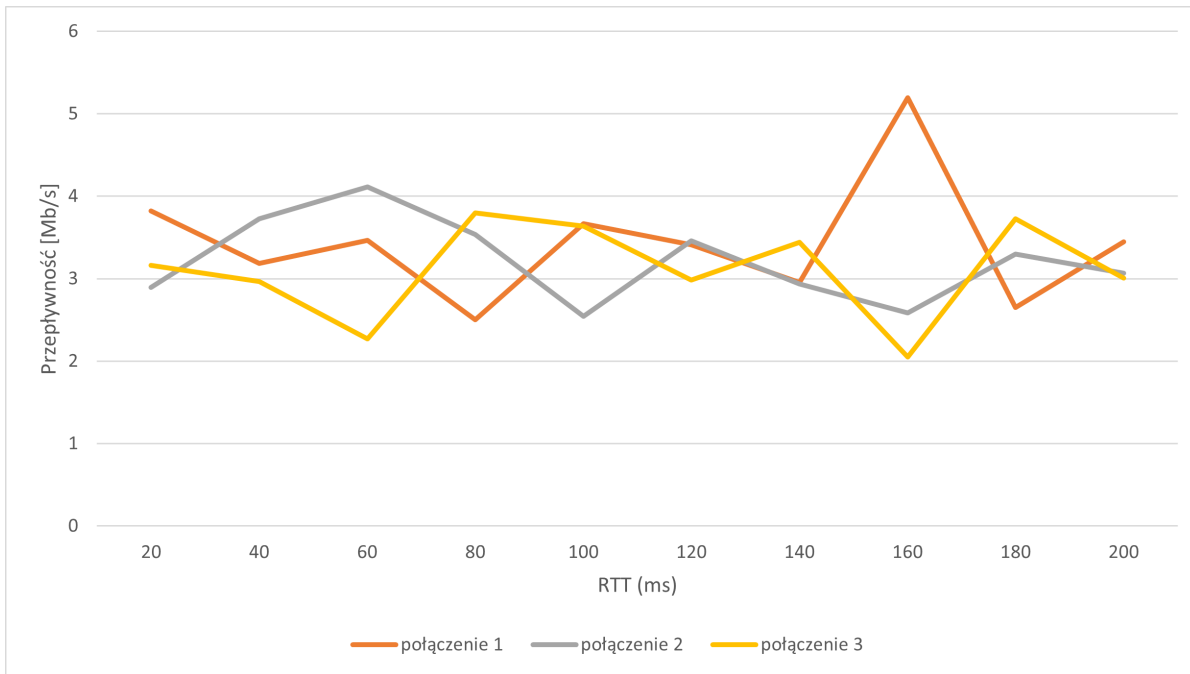
$$\begin{aligned} &segmentSize - 1500B \\ B_{min} &= 170000B/1500B \approx 113(segments) \\ B_{max} &= 220000B/1500B \approx 147(segments) \\ &B \in < 113, 147 > \end{aligned}$$

Z oszacowania wychodzi, że bufor powinien być w zakresie 113-147. Zgadza się to ze stanem faktycznym, gdzie optymalny bufor wynosi 120 segmentów.

3 Zadanie 3

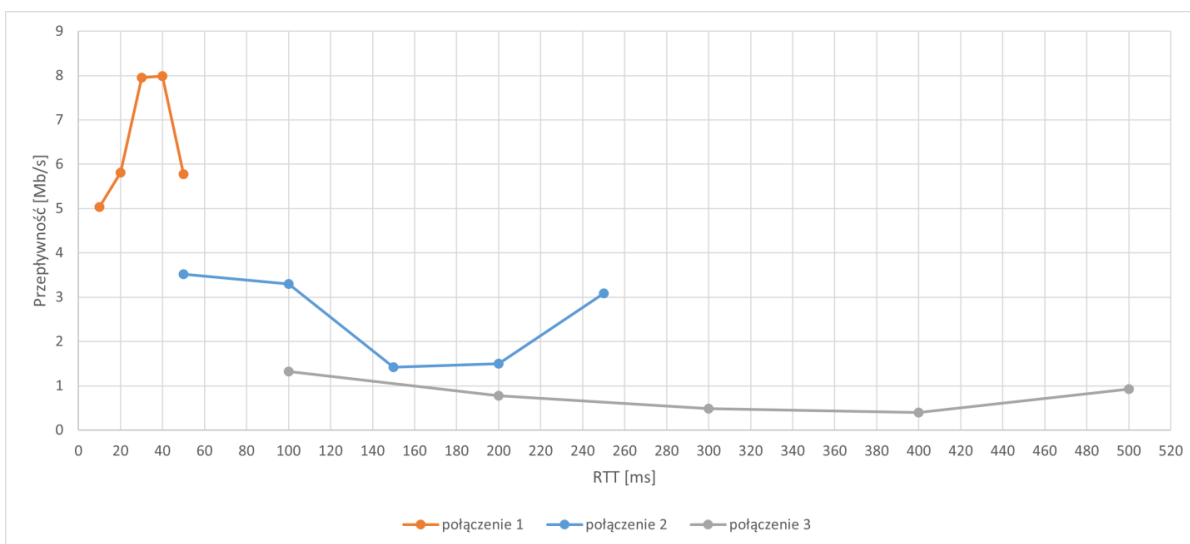
3.1 Przepływność połączeń w zależności od czasu RTT

Wykonano badanie, w którym czas RTT jest stały dla każdego połączenia. Pomiary wykonaliśmy manipulując parametrem opóźnienia dostępowego w zakresie 20-200ms, dla każdego kolejnego pomiaru zwiększaliśmy opóźnienie o 20ms.



Rysunek 13: Estymacja chwilowej przepływności w zależności od czasu, dla bufora minimalnego

Następnie wykonano badanie w którym każde połączenie miało inny czas RTT. Czasy RTT dla każdego połączenia w tym badaniu były w stosunku 1:5:10. Wykonano 5 pomiarów, opóźnienie połączenia 1 zmieniano w zakresie 10-50ms, w każdym następnym pomiarze zwiększaliśmy opóźnienie o 10ms.



Rysunek 14: Estymacja chwilowej przepływności w zależności od czasu, dla bufora minimalnego

4 Wnioski

Zadania laboratoryjne umożliwiły nam zapoznanie się z działaniem protokołu TCP w praktyce. W szczególności działanie mechanizmu *congestion control* oraz jakie czynniki mają wpływ na przepustowość łącza. Dowiedzieliśmy się w jaki sposób protokół współdzieli dostępną pojemność łącza i jaki wpływ mają różne opóźnienia w sieci na przepustowość danych połączeń.