

Kotarski Sebastian, 212776

Malarski Mateusz, 212878

Zawisza Artur, 212675

Grupa śr. 13:15

Teoria i Inżynieria Ruchu Teleinformatycznego

Badanie symulacyjne pracy przełącznika sieciowego

Prowadzący:
dr hab. inż. Krzysztof Juszczyński

Wrocław, 07.06.2017 r.

Spis treści

Architektury przełączników sieciowych	3
Cel projektu	6
Architektura symulatora.....	6
Symulator – interfejs użytkownika.....	7
Badania	8
Przełącznik z kolejkowaniem wejściowym	8
Wzmożony ruch sieciowy	8
Wnioski.....	13
Problem blokowania kolejek (head-of-line problem)	13
Wnioski.....	20
Wpływ rozmiaru komórki.....	20
Wnioski.....	27
Przełącznik z kolejkowaniem wyjściowym	27
Problem N-krotnego przyśpieszenia (N-speedup problem).....	27
Wnioski.....	34
Wpływ obciążenia urządzeń wyjściowych.....	34
Wnioski.....	41
Przełącznik z wirtualnym kolejkowaniem wyjściowym.....	41
Wzmożony ruch sieciowy	41
Wnioski.....	46
Wpływ rozmiaru kolejek wejściowych	46
Wnioski.....	53
Podsumowanie.....	53
Bibliografia.....	54

Architektury przełączników sieciowych

Przełącznik sieciowy (ang. switch) jest urządzeniem pracującym w drugiej warstwie modelu ISO/OSI, którego zadaniem jest przekazywanie pakietów tej warstwy (ramek) między urządzeniami sieci lokalnej.

Przełączniki posiadają serię wejść oraz wyjść nazywanych portami, które to umożliwiają podłączenie innych urządzeń. Porty nie muszą być w obrębie switcha jednorodne - mogą występować zarówno porty jednokierunkowe – wejściowe oraz wyjściowe, jak i mieszane - wejściowo-wyjściowe, a każdy z nich może pracować na innej warstwie fizycznej – pojedyncze urządzenie może posiadać zarówno np. porty Ethernet, jak i te oparte na światłowodzie.

Jak wspomniane zostało wcześniej, główną rolą przełącznika jest przesyłanie pakietów między portami. W praktyce sprowadza się do czterech możliwych sytuacji pracy przełącznika – przełącznik może albo przysyłać pakiety w całości, albo dzielić je na tzw. Komórki (ang. cells) o stałym rozmiarze, zaś sama sieć może operować albo na pakietach o stałym rozmiarze, albo pakietach o rozmiarach różnych, o czego konsekwencjach mówi patent [1].

Cykl pracy dowolnego przełącznika składa się z czterech etapów:

1. Odbiór na porcie wejściowym,
2. Decyzja o przekierowaniu,
3. Przesłanie z poru wejściowego na port wyjściowy,
4. Transmisja w medium,

Etap pierwszy sprowadza się do odbioru pakietu przez port wejściowy, co oznacza odczytanie pakietu z medium transmisyjnego przez protokoły warstwy fizycznej.

W etapie drugim switch podejmuje decyzję odnośnie tego, czy odebrany pakiet ma być dalej przetwarzany, czy też pakiet ten należy odrzucić.

Etap trzeci polega na komunikacji między portem wejściowym, a odpowiednim portem wyjściowym, w efekcie czego przyjęty w etapie drugim pakiet zostaje przesłany z portu wejściowego na port wyjściowy.

Ostatni etap polega na wysłaniu pakietu w medium transmisyjne portu wyjściowego.

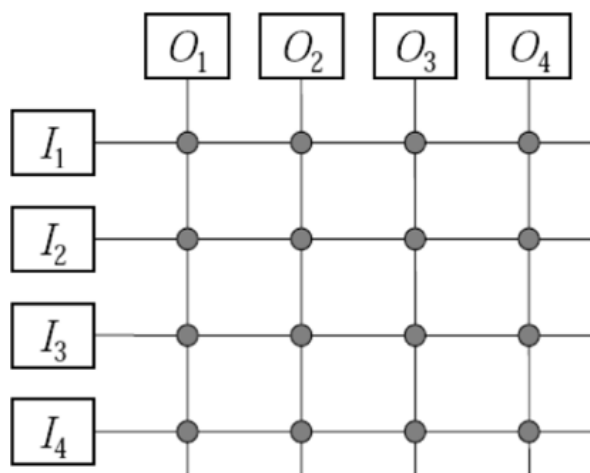
Fizyczne implementacje tego prostego schematu poskutkowały powstaniem dwóch rodzin rozwiązań różniących się realizacją trzeciego etapu cyklu [1]:

- przełączniki z pamięcią współdzieloną,
- przełączniki bazujące na przełącznicy krzyżowej.

Rozwiązania bazujące na pamięci współdzielonej charakteryzuje się obecnością dużego bloku pamięci, do którego dostęp współdzielą wszystkie porty przełącznika. Pakiety z portów wejściowych umieszczane są w pamięci, skąd odpowiednie porty wyjściowe je odczytują

- pamięć stanowi zarówno bufor, jak i miejsce transmisji pakietów. Rozwiązanie przypomina pracę w środowisku wieloprocesowym, w którym procesy komunikują się za pośrednictwem pamięci współdzielonej i charakteryzuje się podobnymi problemami – występuje ciągła walka portów o dostęp do pamięci, co wraz ze wzrostem liczby i rozmiaru pakietów oraz liczby konkurujących portów skutkuje powstawaniem dużych opóźnień [1]. Tego typu przełączniki nie posiadają jednak pewnych wad drugiego podejścia, na co zwraca uwagę dokument [2].

Przełączniki bazujące na przełącznicy krzyżowej opierają się o strukturę, w której każdy port wejściowy może zostać połączony z każdym portem wyjściowym poprzez dynamiczne zestawianie fizycznych połączeń – porty wejściowe, jak i wyjściowe posiadają własne magistrale, które, w dowolnej chwili, mogą zostać ze sobą zwarte. Nazwa pochodzi od struktury kraty, którą tworzą magistrale portów wejściowych i wyjściowych, co przedstawione zostało na Rys. 1.



Rysunek 1 Budowa przełącznicy krzyżowej (kratowej) [3]

Podstawowymi zaletami, w porównaniu do urządzeń z pamięcią współdzieloną, są brak rywalizacji o pamięć oraz znacznie większe prędkości transmisji między portami wejściowymi i wyjściowymi [1]. W tym podejściu pamięć jest rozproszona pod postacią kolejek pakietów/komórek, które to stanowią bufony przełącznika [1]. Jako, że kratownica może mieć jednocześnie zestawionych wiele niekonfliktowych połączeń (podobnie jak rozłączne obszary pamięci przełączników pierwszego rodzaju), ale prędkości transmisji są wyższe, tak więc opóźnienia dla tego rodzaju przełączników powinny być niższe niż w tych o współdzielonej pamięci [1].

Kolejki w danym przełączniku mogą być zlokalizowane w różnych miejscach, co skutkuje obecnością trzech podrodzajów przełączników kratownicowych [3]:

1. Przełączniki o kolejkowaniu wyjściowym (ang. output queueing),
2. Przełączniki o kolejkowaniu wejściowym (ang. input queueing),
3. Przełączniki o wirtualnym kolejkowaniu wyjściowym (ang. virtual output queueing, VOQ),

Dla kolejkowania wyjściowego każdy port wyjściowy switch'a posiada kolejkę pakietów oczekujących na transmisję do medium. Jest to bardzo prosta do implementacji opcja, jednak tego typu kolejkowanie wymusza natychmiastowe odrzucenie pakietu jeśli nie można zestawzić połączenia portu wejściowego z wyjściowym oraz generuje problem N-krotnego przyspieszenia (ang. N-speedup problem), dlatego też nie jest ono pożądane [3, 4, 5]. Problem N-krotnego przyspieszenia sprowadza

się do tego, że każdy port wyjściowy musi posiadać kolejkę zdolną pomieścić tyle pakietów o możliwym największym, ile jest wejść (N) oraz prędkość transmisji portu wyjściowego musi być N -razy większa od prędkości transmisji portu wejściowego [3, 5].

Rozwiązanie tego problemu stanowić ma kolejkowanie wejściowe, gdzie tym razem każde wejście posiada kolejkę. Pozwala to rozwiązać problem N -krotnego przyspieszenia, ale wprowadza problem blokowania kolejki przez pakiet na czele (ang. head-of-line blocking, HOL bloking) [3, 4, 5]. Dla kolejki FIFO (ang. First In First Out) może to skutkować zmniejszeniem przepustowości do 58,6% [3].

Problem blokowania ma rozwiązywać wirtualne kolejkowanie wyjść będące rozszerzeniem kolejkowania wejściowego. Polega ono na tym, że każde wejście posiada po kolejce na wyjście przełącznika i odebrawszy pakiet skierowany na konkretne wyjście umieszcza go w jego dedykowanej kolejce. W przypadku tego kolejkowania pozostaje tylko problem wyboru wejścia, z którego w danym momencie będą pakiety przekazywane [3].

Ostatnim elementem przełącznika jest jego algorytm szeregujący (ang. scheduler). Zadaniem algorytmu jest ustalenie, które porty są ze sobą, w danym takcie, zestawione. Dla przełączników sieciowych wykorzystuje się wiele różnych algorytmów np. WFQ, WF^2Q , Deficit Round-Robin [3, 4, 5], a tworzenie nowych stanowi temat wielu prac naukowych.

Dokument [3] stwierdza, że obecnie standard szeregowania dla przełączników stanowi algorytm iSLIP, przy czym jest on szczególnie popularny przy wirtualnym kolejkowaniu wyjść. Zakłada on, że przełącznik bazuje na kratownicy i pomiędzy portami dokonywana jest transmisja komórek. Jedno okno czasowe, w którym następuje przesyłanie komórki nazywamy czasem komórkowym (ang. cell-time). Podczas jednego czasu komórkowego algorytm ustala połączenia między portami wejściowymi i wyjściowymi oraz dokonuje synchronicznej transmisji komórek uszeregowanych na ten konkretny takt.

Niech przełącznik ma N_I wejść I_1, I_2, \dots, I_{N_I} oraz N_O wyjść O_1, O_2, \dots, O_{N_O} . W iSLIP każde wejście I_i ma listę cykliczną O_1, O_2, \dots, O_{N_O} ze wskaźnikiem a_i domyślnie wskazującym na O_1 . Lista ta nazywa się harmonogramem karuzelowym (ang. Round Robin Schedule) dla wejścia I_i . Wyjście wskazywane przez a_i ma najwyższy priorytet, a kolejne (mod N_O) – odpowiednio niższe. Analogicznie każde wyjście O_j ma wskaźnik g_j wskazujący wejście o najwyższym priorytecie.

Algorytm iSLIP składa się z trzech kroków:

1. Żądanie (ang. request): Każde niesparowane wejście wysyła żądania do każdego wyjścia, dla którego ma oczekującą komórkę,
2. Zezwolenie (ang. grant): Jeżeli niesparowane wyjście otrzyma jakieś żądania, to przyznaje zezwolenie wejściu o najwyższym priorytecie według jego harmonogramu. Wyjście informuje każde z wejść, czy otrzymało zezwolenie, czy też nie. Wskaźnik g_j zostaje zwiększony (mod N_I) do jednej pozycji za wejściem, które uzyskało zezwolenie wtedy i tylko wtedy, gdy zezwolenie zostanie zaakceptowane w kroku 3.

Jak zostało przedstawione na diagramie, implementację przełącznika tworzy raptem parę klas. Głównymi elementami tej implementacji są klasy: *Switch* – reprezentująca cały przełącznik, *InputPort* – port wejściowy przełącznika, *OutputPort* – port wyjściowy przełącznika, *Packet* – klasa pakietu, *IPacketSource* – interfejs urządzeń generujących pakiety, *APacketDestination* – interfejs urządzeń odbierających pakiety oraz *IScheduler* – interfejs algorytmu szeregowania.

Przełącznik tworzy przynajmniej parę portów – jeden wejściowy oraz jeden wyjściowy. Każdy port, w zależności od typu przełącznika, może posiadać kolejki pakietów, zgodnie z definicją danego typu przełącznika. Do każdego wejścia podłączone jest urządzenie generujące pakiety, które co takt odpytywane jest o to, czy pojawił się już nowy pakiet. Analogicznie każde wyjście powiązane jest z jednym urządzeniem docelowym, które odbiera pakiety, aczkolwiek w danej chwili może ono być zajęte np. przeprowadzaniem obliczeń. Przełącznik w każdym takcie dokonuje odbierania pakietów na portach wejściowych, zestawiania połączeń na podstawie odpowiedzi algorytmu szeregującego, przesłania komórek pomiędzy połączonymi portami i przesłania, o ile jest w tym takcie możliwe, fragmentu pakietu do urządzenia docelowego.

Przełącznik utrzymuje dwa rodzaje list pakietów – listy pakietów, które zostały odrzucone oraz listy pakietów przesłanych od źródła do ujścia. Każda lista pakietów odrzuconych oraz przetworzonych reprezentuje port wyjściowy, do którego pakiet zmierzał.

Każdy pakiet zapisane ma parametry – identyfikator portu wejściowego oraz wyjściowego, stemple czasowe odebrania pakietu oraz jego całkowitego przesłania do celu oraz rozmiar. Takie dane umożliwiają wyznaczenie kilku statystyk odnośnie pracy przełącznika.

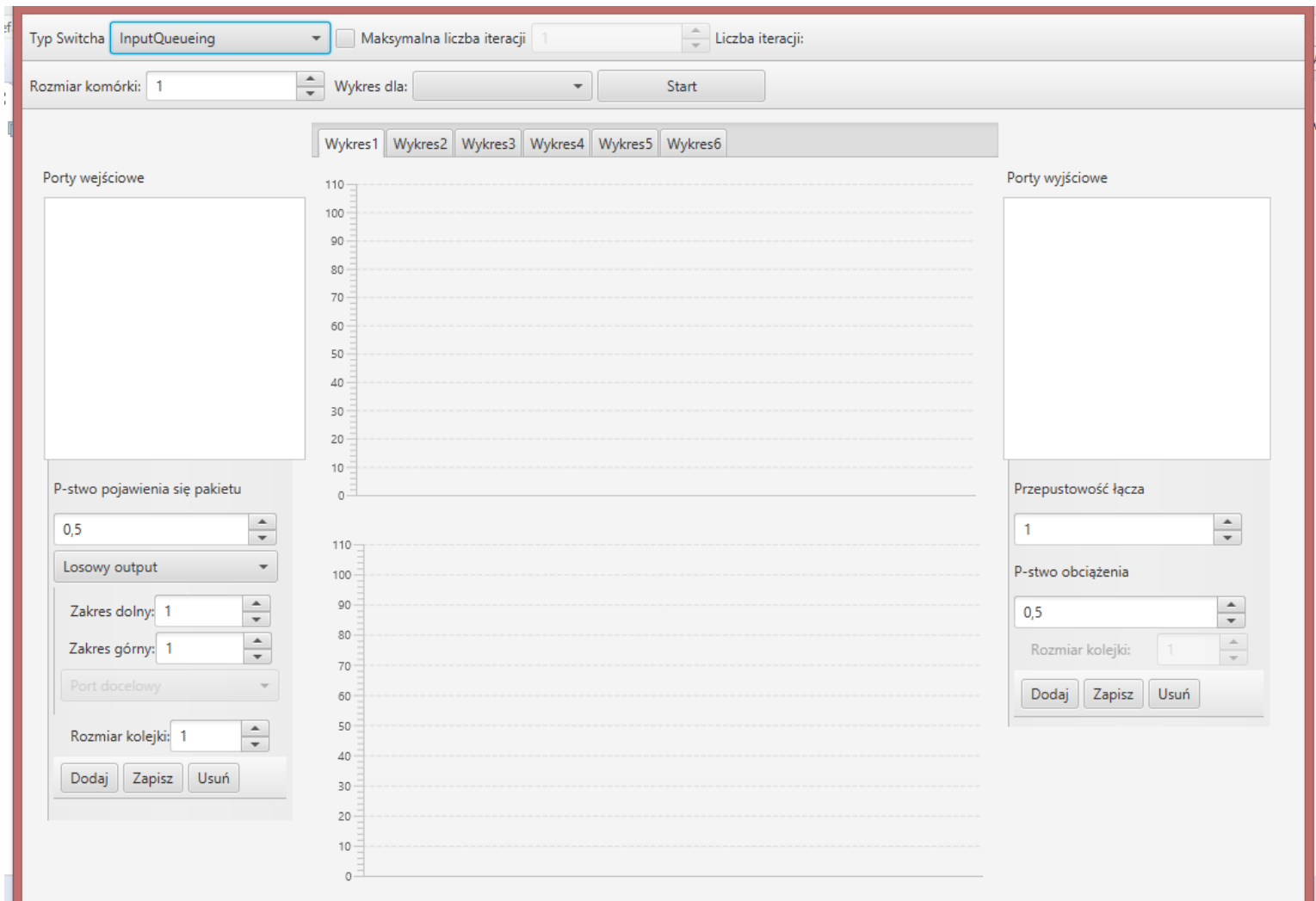
Należy zwrócić uwagę, że implementacja jest bardzo elastyczna i w łatwy sposób umożliwia rozszerzanie symulatora o nowe rodzaje źródeł pakietów, ich ujść oraz algorytmów szeregowania.

Symulator – interfejs użytkownika

Rys. 3 przedstawia wygląd powstałej aplikacji.

Interfejs składa się z czterech głównych sekcji:

- Górnego paska nawigacyjnego umożliwiającego ustawienie takich parametrów symulacji jak typ przełącznika, maksymalną liczbę iteracji oraz rozmiar komórki przesyłanej w przełączniku. Dodatkowo na pasku wyświetlana jest aktualna liczba iteracji, umiejscowiony jest przycisk uruchamiający symulację oraz lista pozwalająca wybrać wyjście przełącznika dla którego wyświetlane są wykresy (o ile danych wykresów to dotyczy),
- Lewy panel pozwala dodawać, edytować i usuwać porty wejściowe przełącznika. Istniejące porty wyświetlane są na liście. Każdy port może mieć ustalone takie parametry jak prawdopodobieństwo pojawienia się pakietu, wybór tego, czy port docelowy jest losowany, czy też jeden wybrany, ustalenie minimalnego i maksymalnego rozmiaru pakietu, a w przypadku przełączników z kolejkowaniem wejściowym oraz VOQ – ustalenie rozmiaru kolejki/kolejek,



Rysunek 3 Interfejs symulatora

- Prawy panel umożliwia utworzenie, edycję i usuwanie portów wyjściowych przełącznika. Wyświetlana jest tu lista obecnie utworzonych portów wyjściowych. Parametrami portów są – przepustowość łącza, prawdopodobieństwo tego, że port będzie w danej chwili obciążony oraz rozmiar kolejki wyjściowej, jeżeli przełącznik obsługuje kolejkowanie wyjściowe,
- Środkowa sekcja aplikacji zawiera zakładki z wykresami. Każda zakładka zawiera dwa wykresy – jeden prezentujący zmiany w perspektywie czasu i drugi – dane zagregowane. Pierwsze trzy zakładki zawierają wykresy procentu odrzuceń pakietów ze względu na: rozmiar, port wejściowy oraz port wyjściowy. Kolejne trzy zakładki zawierają wykresy średniego opóźnienia pakietów (średniego czasu spędzanego przez pakiet w przełączniku) ze względu na: rozmiar, port wejściowy oraz port wyjściowy.

Badania

Przełącznik z kolejkowaniem wejściowym

Wzmóżony ruch sieciowy

Pierwszym badaniem przeprowadzonym na tym typie przełącznika było sprawdzenie jego efektywności przy wzmożonym ruchu sieciowym składającym się z dużej liczby małych pakietów tj. pakietów rozmiarami porównywalnych z rozmiarem komórki przełącznika. Badanie polegało

na czterokrotnym powtórzeniu tego samego doświadczenia. Przełącznik wyposażony został w cztery porty wejściowe oraz cztery porty wyjściowe. Prawdopodobieństwa pojawienia się pakietów były równe 75%. Za rozmiar komórki przyjęto 10, a pakiety losowano z przedziału $<5, 10>$. Rozmiar kolejek ustalono na 50. Każde wyjście wyposażono w łącze o przepustowości 100, a prawdopodobieństwo, że w danej chwili urządzenie wyjściowe jest zajęte wyniosło 25%. Każda symulacja trwała 200 iteracji.

Wyniki zebrano w tabelach 1-5.

Tabela 1 Wyniki pierwszego powtórzenia eksperymentu

I	WEJŚCIA				WYJŚCIA			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Odrzucone pakiety [%]	26,5	26,5	27,0	34,0	29,5	32,0	21,5	30,5
Średnie opóźnienie	11,5	11,5	11,0	12,5	11,4	11,8	11,3	11,4

Tabela 2 Wyniki drugiego powtórzenia eksperymentu

II	WEJŚCIA				WYJŚCIA			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Odrzucone pakiety [%]	31,0	28,0	32,0	32,0	30,0	29,5	32,5	32,0
Średnie opóźnienie	12,7	12,3	12,3	12,7	12,6	12,5	13,0	12,3

Tabela 3 Wyniki trzeciego powtórzenia eksperymentu

III	WEJŚCIA				WYJŚCIA			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Odrzucone pakiety [%]	17,7	21,0	30,0	19,0	25,0	21,0	21,0	21,2
Średnie opóźnienie	9,9	10,5	11,5	9,5	10,2	10,4	10,1	10,6

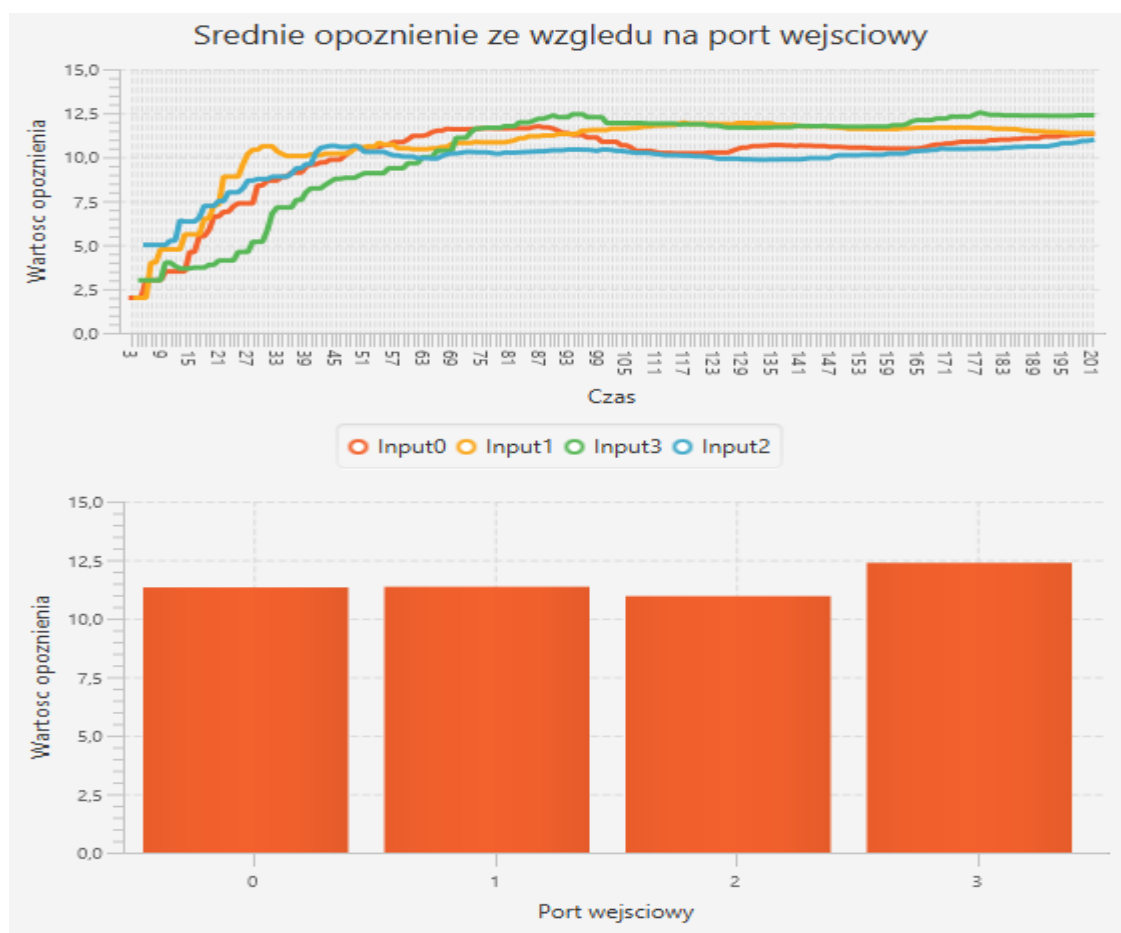
Tabela 4 Wyniki czwartego powtórzenia eksperymentu

IV	WEJŚCIA				WYJŚCIA			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Odrzucone pakiety [%]	26,0	18,0	21,5	31,0	26,0	22,3	25,5	23,5
Średnie opóźnienie	10,2	10,1	10,0	12,5	10,3	10,8	10,4	10,8

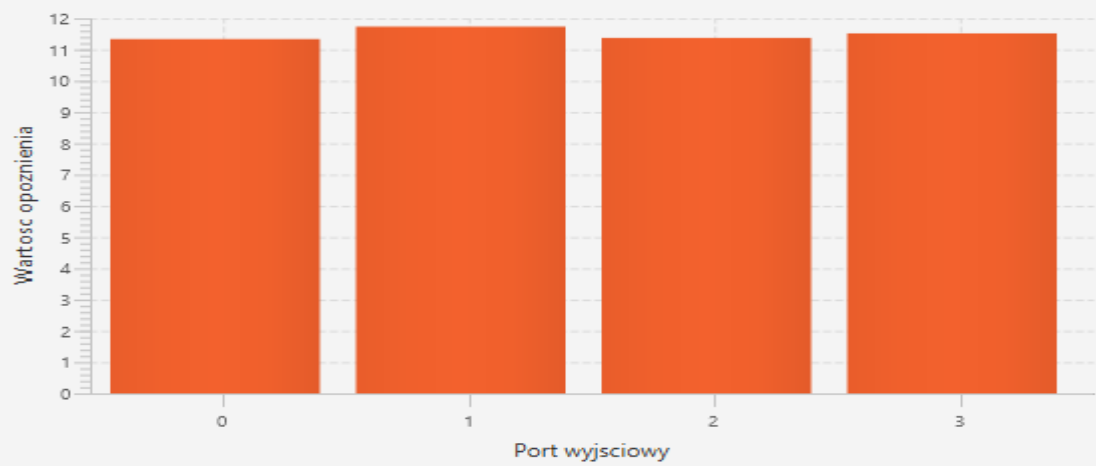
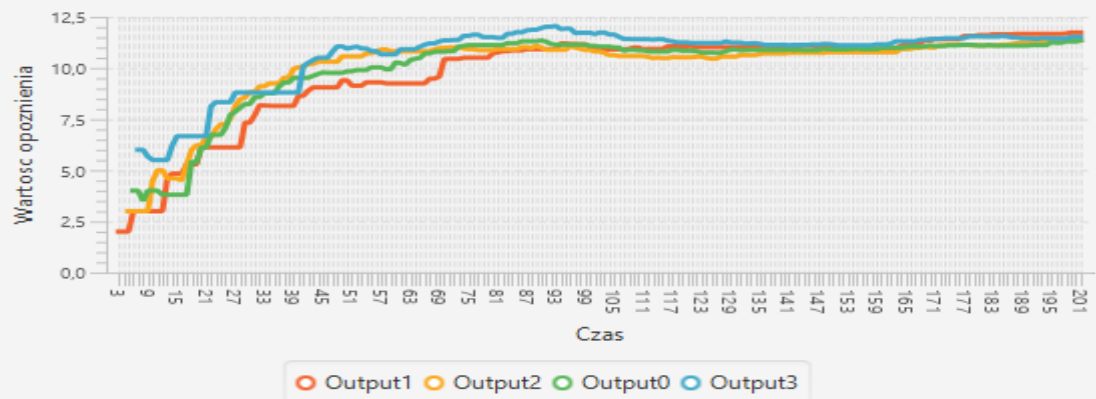
Tabela 5 Średnie wyniki eksperymentu

ŚREDNIA	WEJŚCIA				WYJŚCIA			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Odrzucone pakiety [%]	25,3	23,4	27,6	29,0	27,6	26,2	25,1	26,8
Średnie opóźnienie	11,1	11,1	11,2	11,8	11,1	11,4	11,2	11,3

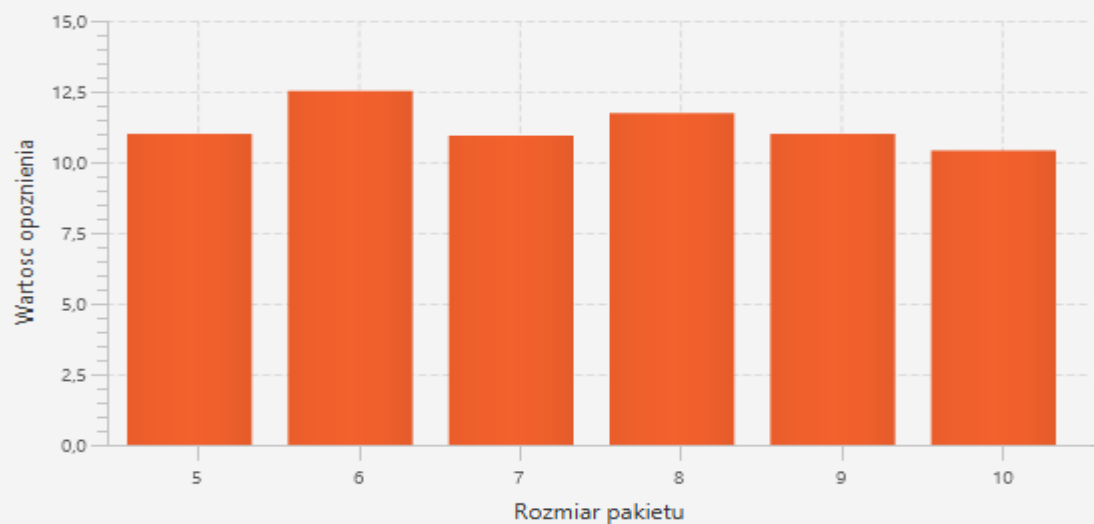
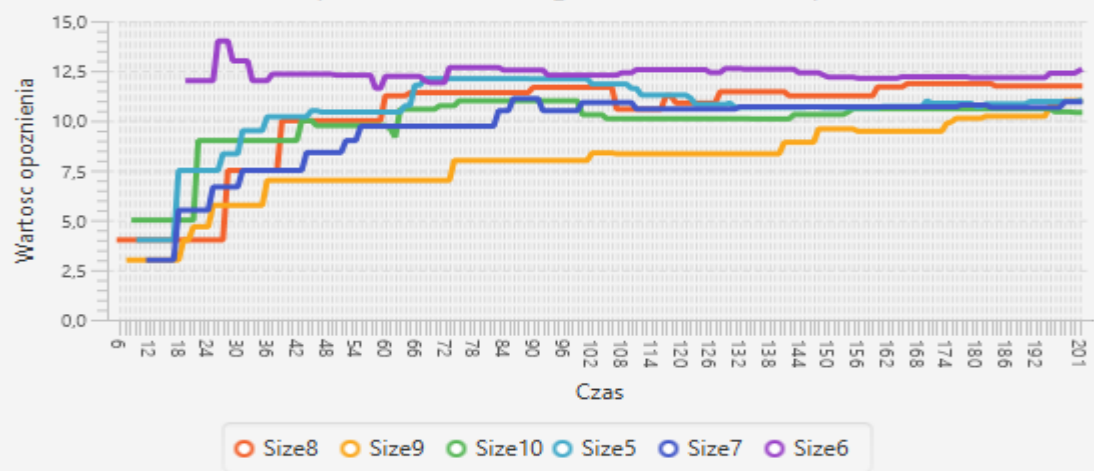
Poniższe rysunki zawierają wyniki symulacji uzyskane dla jednego z powtórzeń badania.

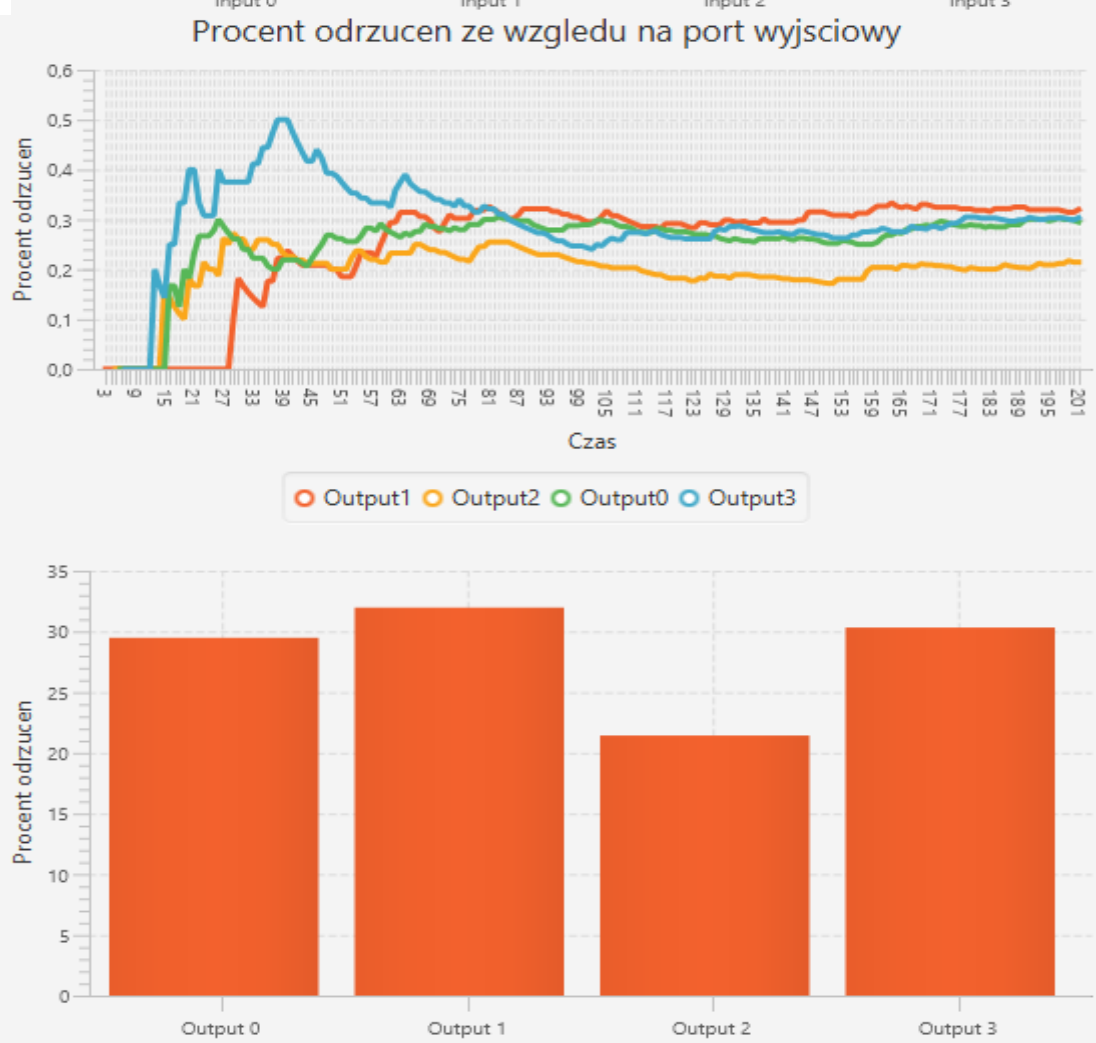
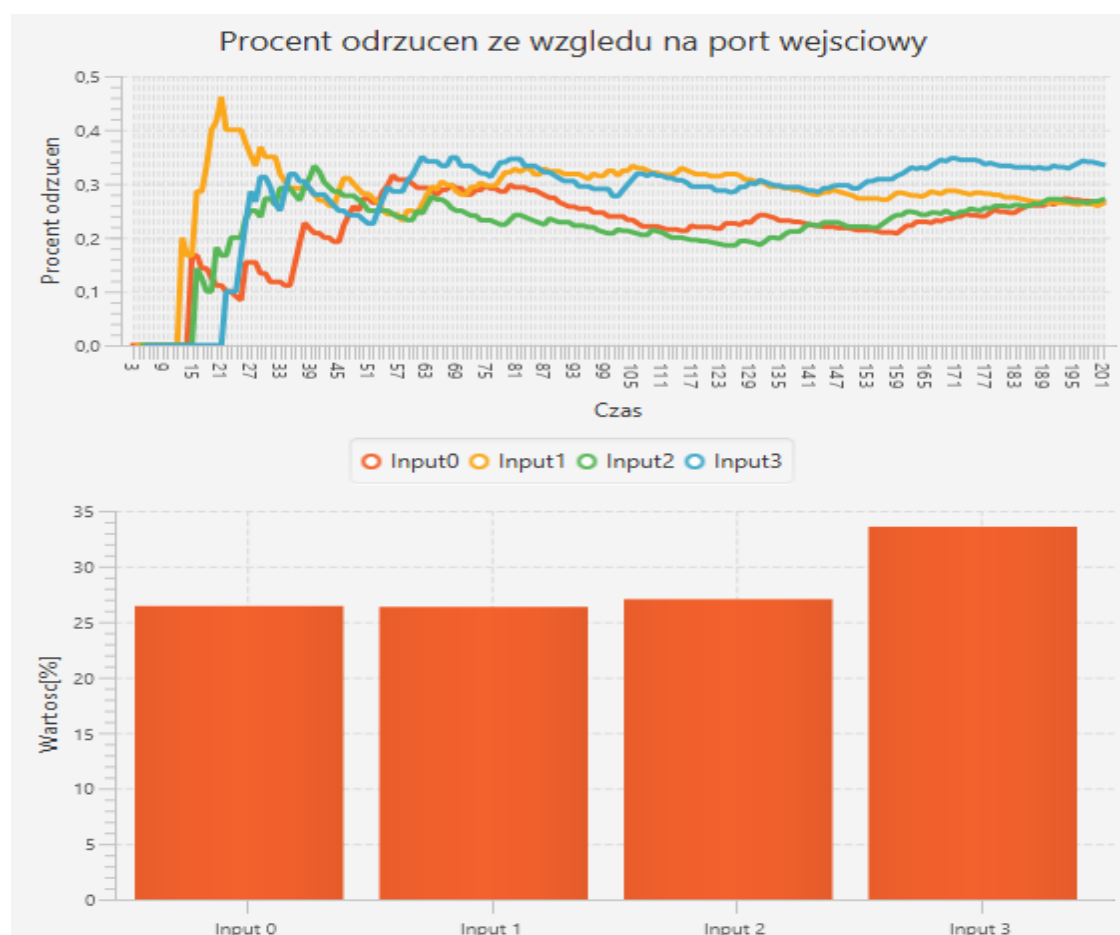


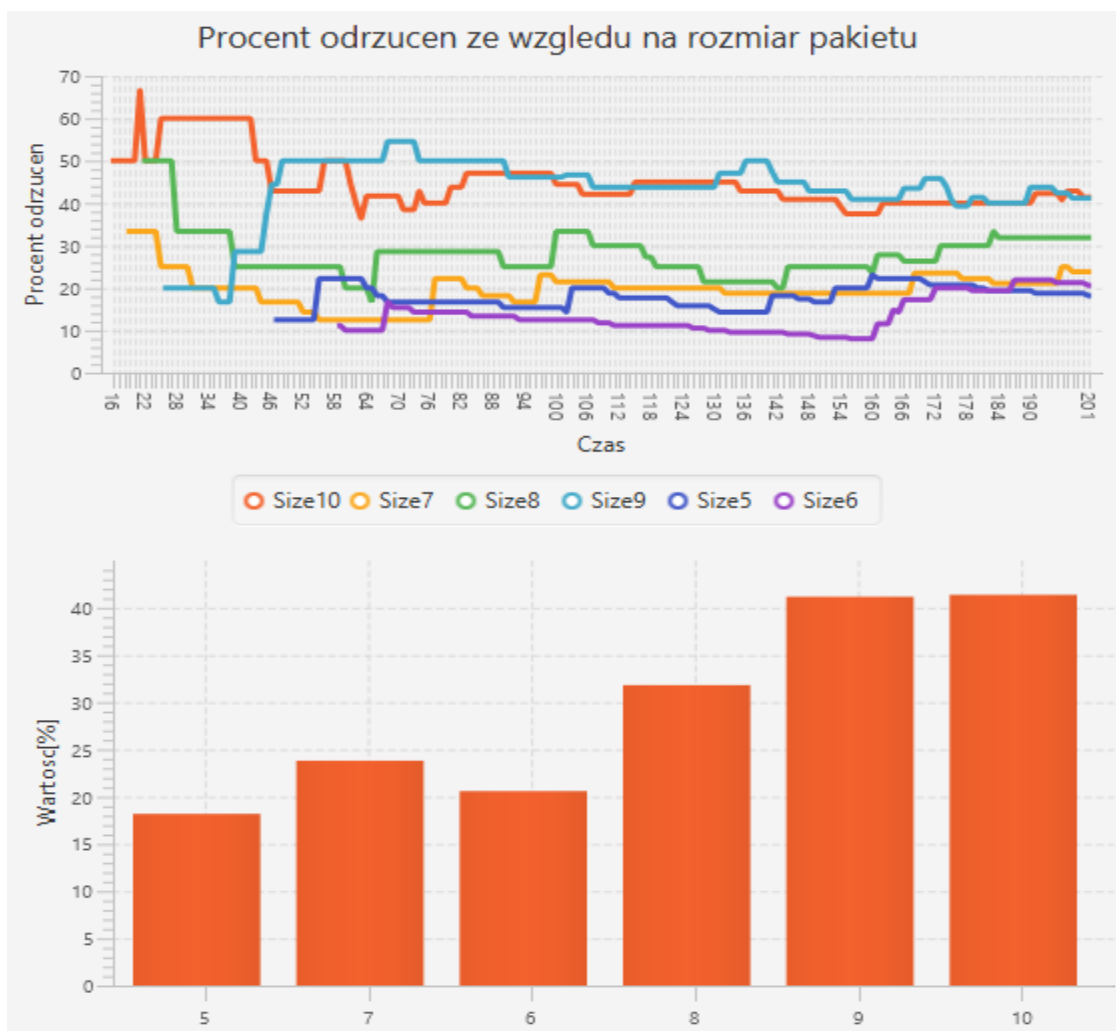
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wyjsciowy



Srednie opoznienie ze wzgledu na rozmiar pakietu







Wnioski

Dla przedstawionego przypadku przełącznik zachowuje się dosyć dobrze – odrzuca około 23 – 30 procent pakietów i wprowadza opóźnienie nieco mniej niż 12 cykli pracy. Uzyskane wyniki mogą mieć dwie przyczyny – pierwszą z nich mogą być rozmiary kolejek, które w naszym przypadku wyniosły jedynie 5 pakietów największego możliwego rozmiaru, zaś drugim powodem może być dosyć duże obciążenie urządzeń wyjściowych, bo wynoszące 25%. Oznacza to, że dane wyjście nie może transmitować średnio przez jedną czwartą czasu, a przez to wzrasta odpowiednio liczba pakietów odrzuconych oraz całkowite opóźnienie jakie switch wprowadza. Niemniej jednak wynik należy uznać za dobry, gdyż obciążenie sieci jest wysokie, a przełącznik – zalewany dużą ilością małych pakietów.

Problem blokowania kolejek (head-of-line problem)

Dla tej architektury przełącznika notorycznie wskazywanym problemem jest blokowanie kolejek wejściowych przez duże pakiety stojące na ich czele. Niniejsze badanie miało na celu stwierdzenie, czy symulator pozwala na zaobserwowanie tego efektu.

W obecnej postaci symulator nie umożliwia wygenerowania interesującego nas typu ruchu tzn. ruchu, w którym jedno wejście generuje duże pakiety wysyłane na pewne wyjścia, oraz małe pakiety wysyłane na inne wyjścia. Taki rodzaj ruchu, w przypadku występowania blokowania, spowodowałby powstanie wyraźnych opóźnień pakietów na wyjściach, do których skierowane były by małe pakiety. Oczywiście symulator jest rozszerzalny i można by przygotować odpowiednie źródło pakietów,

ale w obecnej postaci można podejść do problemu inaczej. Badanie polegało na wysyłaniu pakietów z jednego portu wejściowego na dwa porty wyjściowe i sprawdzeniu, czy wraz z powiększaniem rozmiaru generowanych pakietów rośnie liczba odrzuceń i opóźnienie. Oczywiście wraz ze zwiększeniem rozmiaru pakietów należało proporcjonalnie zwiększać rozmiar kolejki, aby nie miała ona znacznego wpływu na liczbę odrzuceń – kolejka o stałym rozmiarze mieściła by coraz mniej pakietów, co zwiększyło by liczbę odrzuceń.

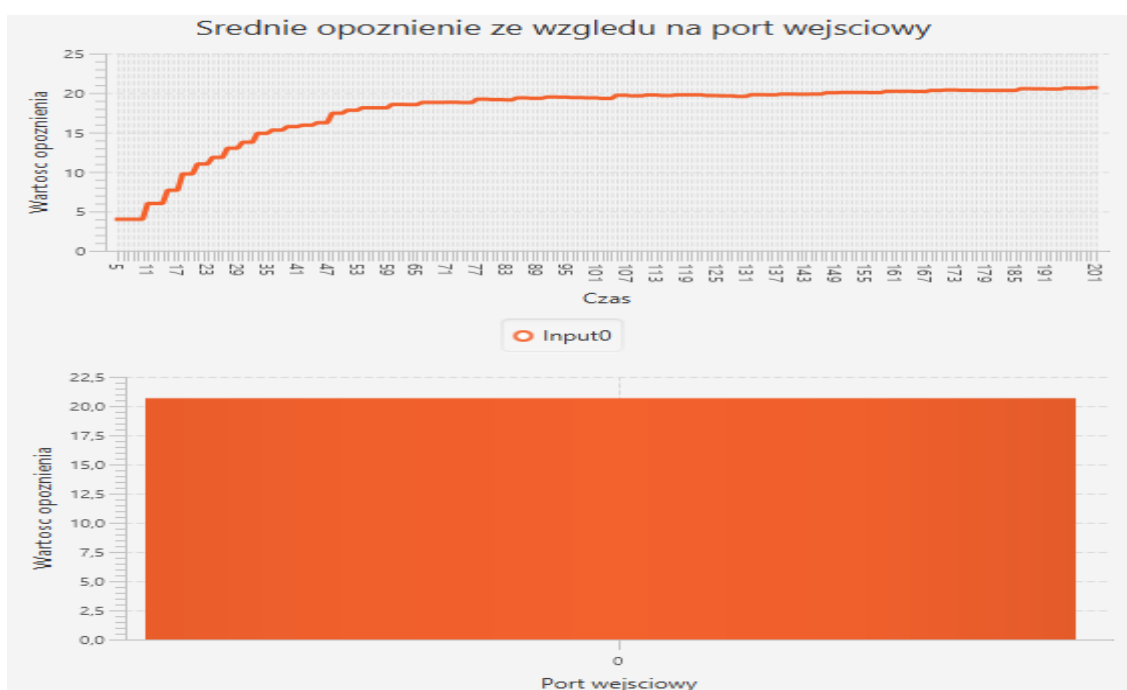
Tak samo jak w poprzednim doświadczeniu przyjęto: rozmiar komórki równy 10, prawdopodobieństwo pojawienia się pakietu na wejściu równe 75% oraz liczbę iteracji równą 200. Przepustowość łącz wyjściowych – 1000, a prawdopodobieństwo obciążenia – 1%. Rozmiary losowanych pakietów należały do przedziału $<20, 30>$, a rozmiar kolejki na 150, przy czym w kolejnych próbach końce przedziału były przesuwane o pewną stałą wartość, a rozmiar kolejki – skalowany proporcjonalnie.

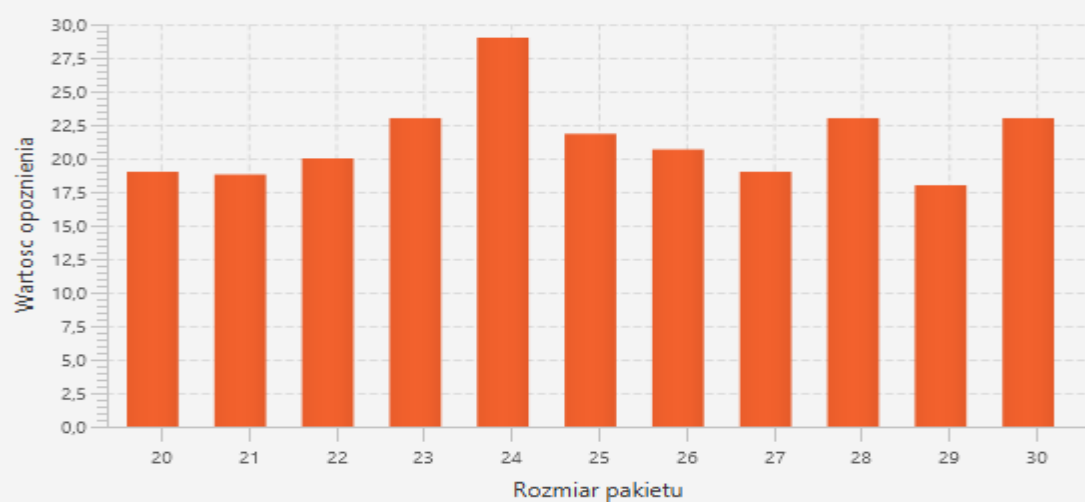
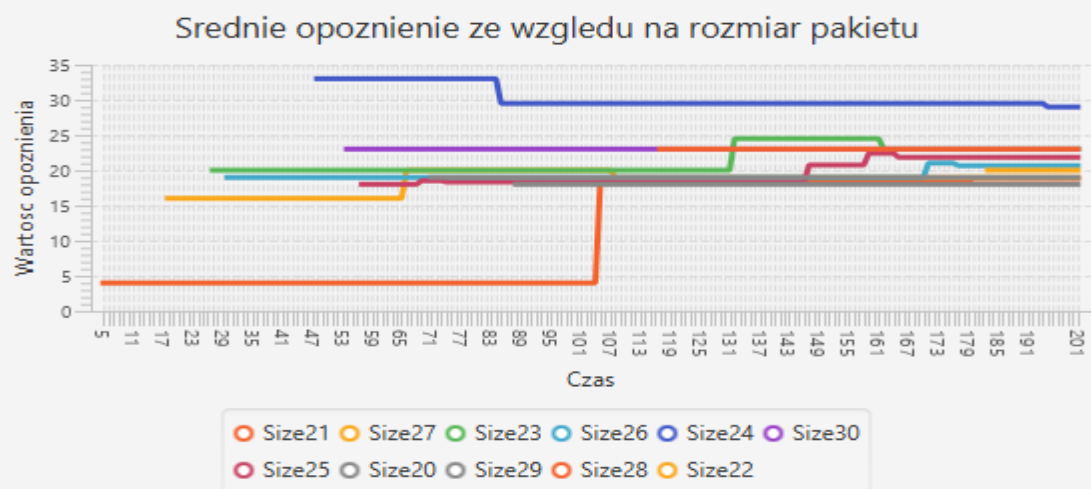
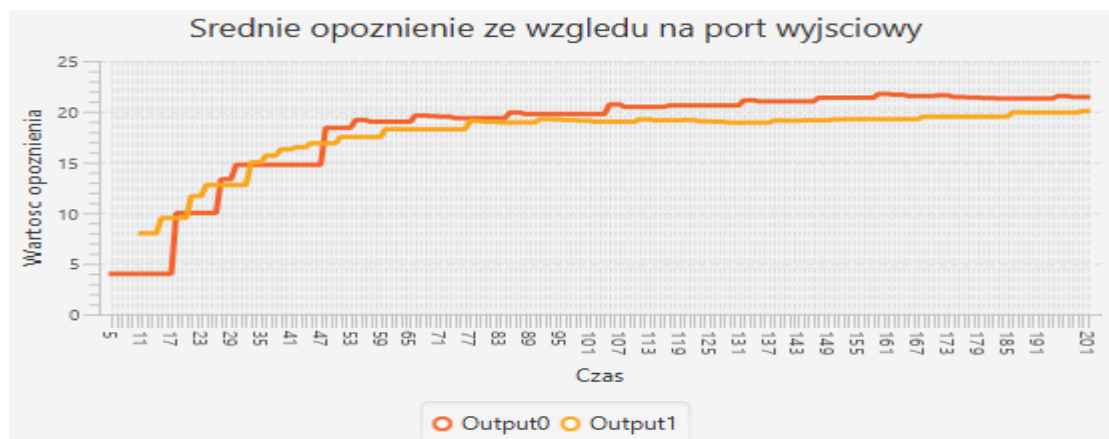
Doświadczenie przeprowadzono dla przedziałów $<20, 30>$, $<40, 50>$, $<90, 100>$ oraz $<190, 200>$. Wyniki zebrano w tabeli 6.

Tabela 6 Wyniki badania efektu HOL

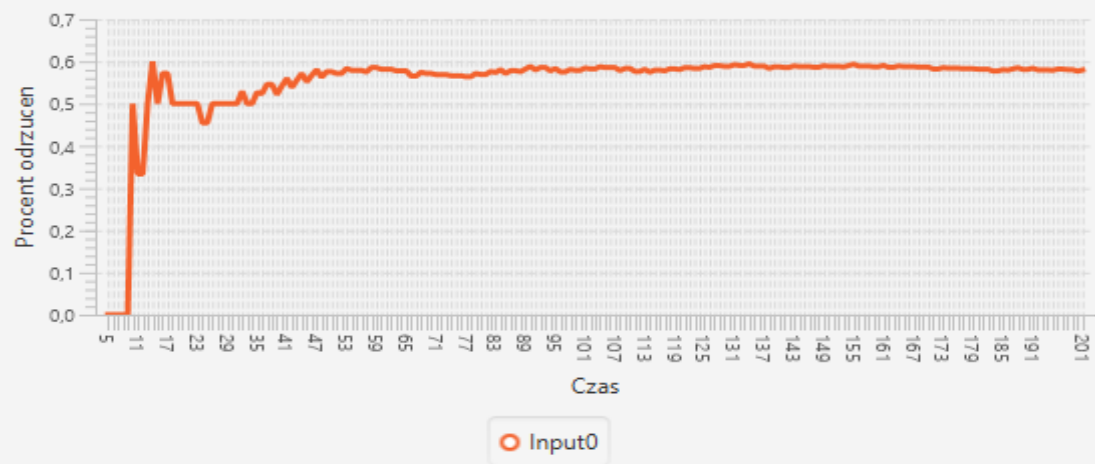
		Przedział rozmiaru pakietów			
		$<20, 30>$	$<40, 50>$	$<90, 100>$	$<190, 200>$
Odrzucone pakiety [%]	Wejście	58,0	73,0	87,0	94,0
	Wyjście 1	57,0	76,0	84,0	93,0
	Wyjście 2	58,0	70,0	91,0	96,0
Średnie opóźnienie	Wejście	20,6	30,5	56,0	96,0
	Wyjście 1	21,5	30,5	51,0	93,0
	Wyjście 2	20,0	30,9	64,0	101,0

Poniższe rysunki zawierają zrzuty ekranu symulatora po zakończeniu symulacji $<20, 30>$ oraz $<190, 200>$.

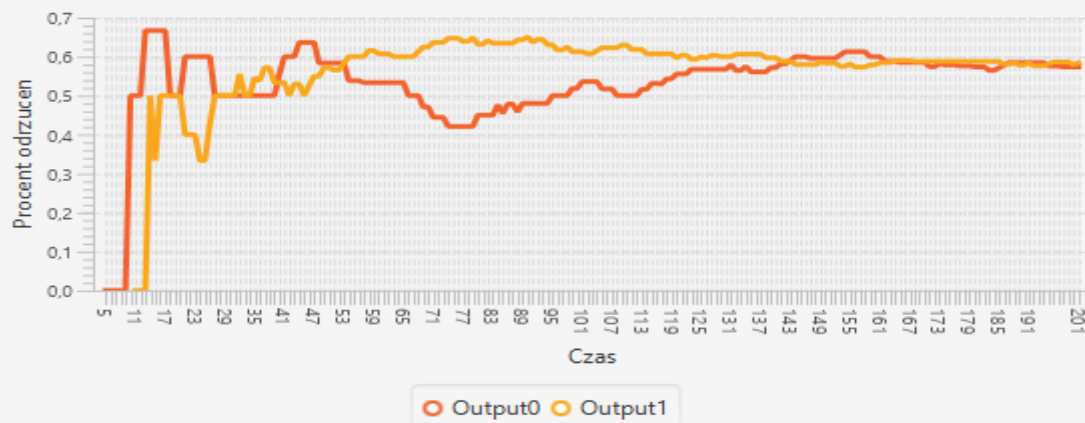


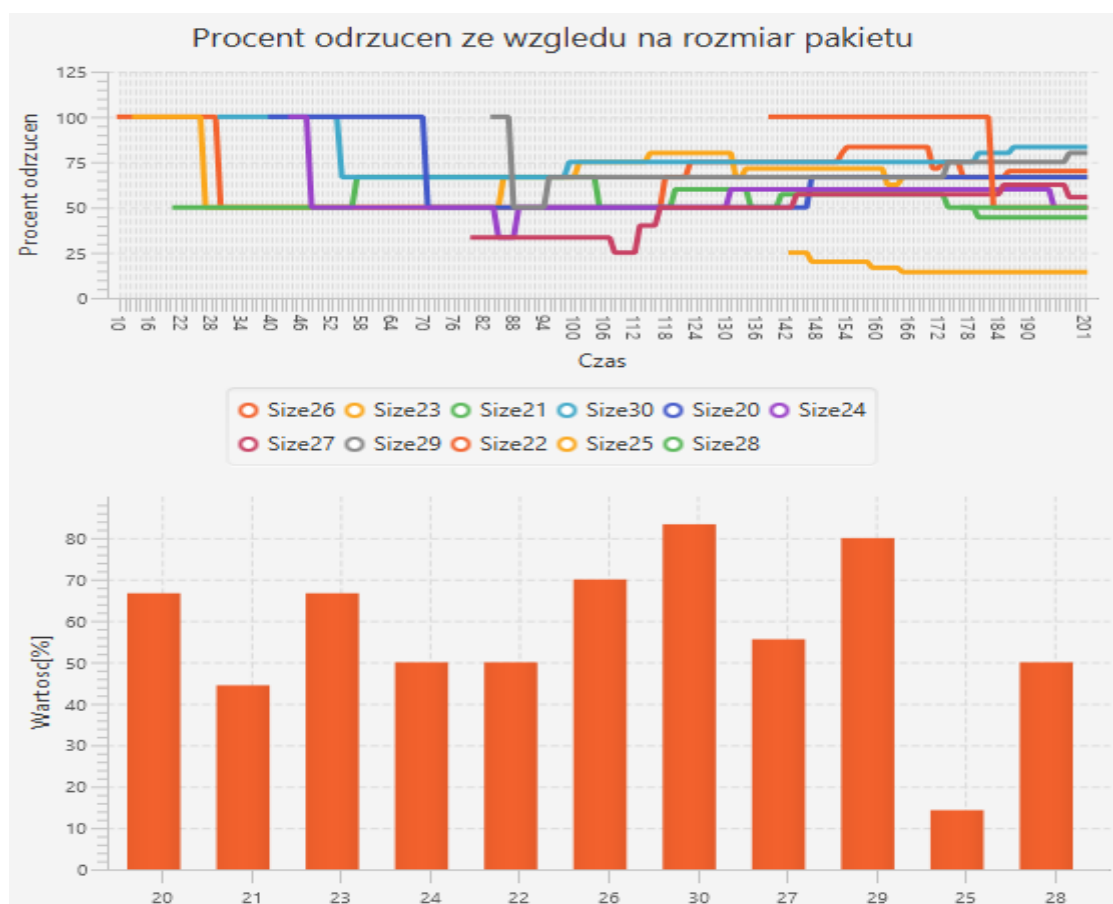


Procent odrzucen ze wzgledu na port wejscowy

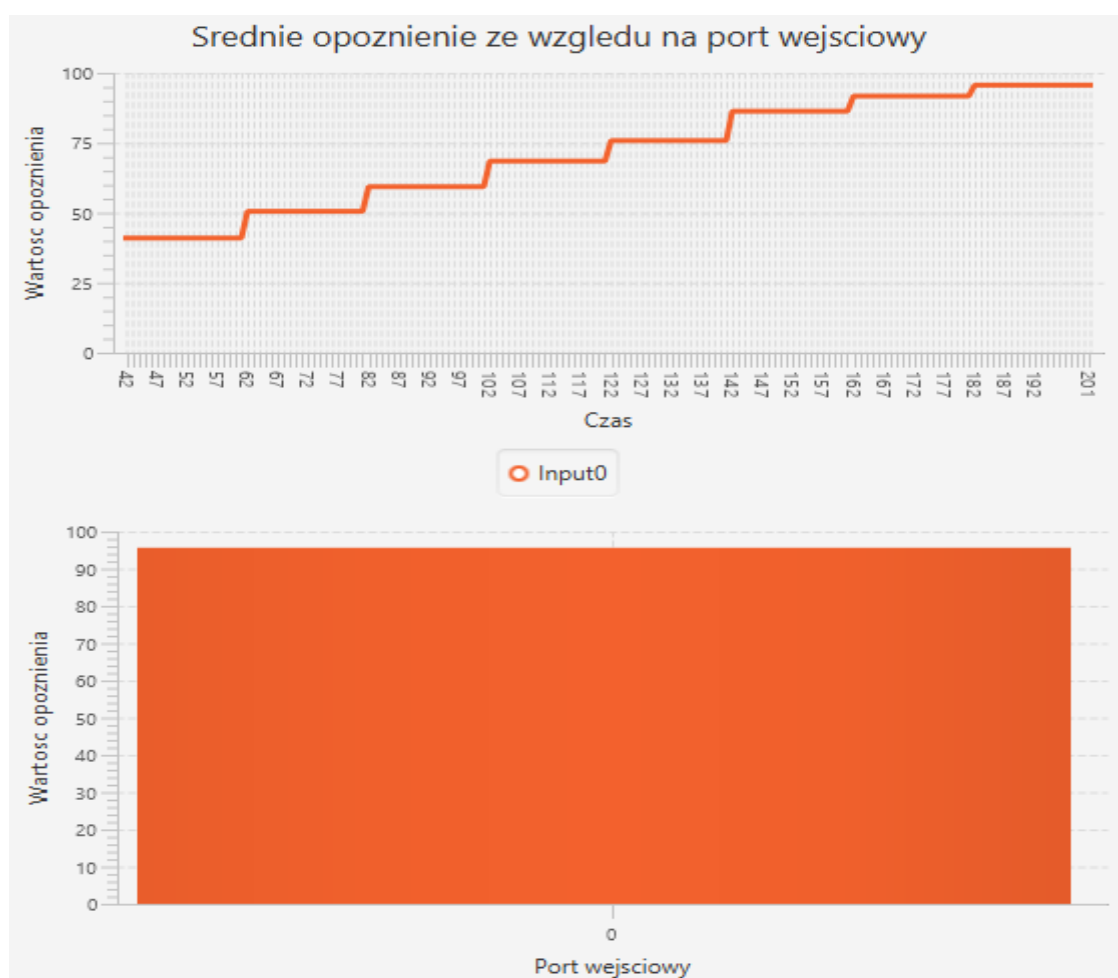


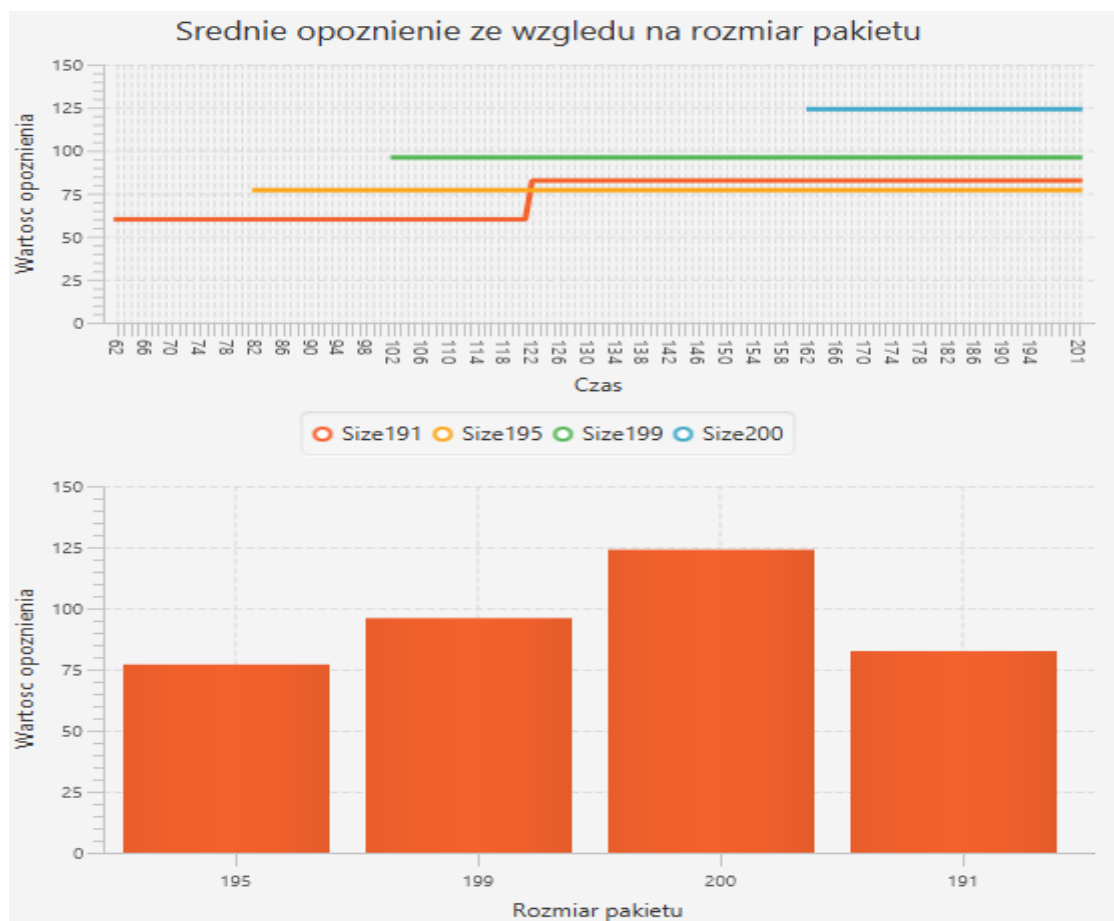
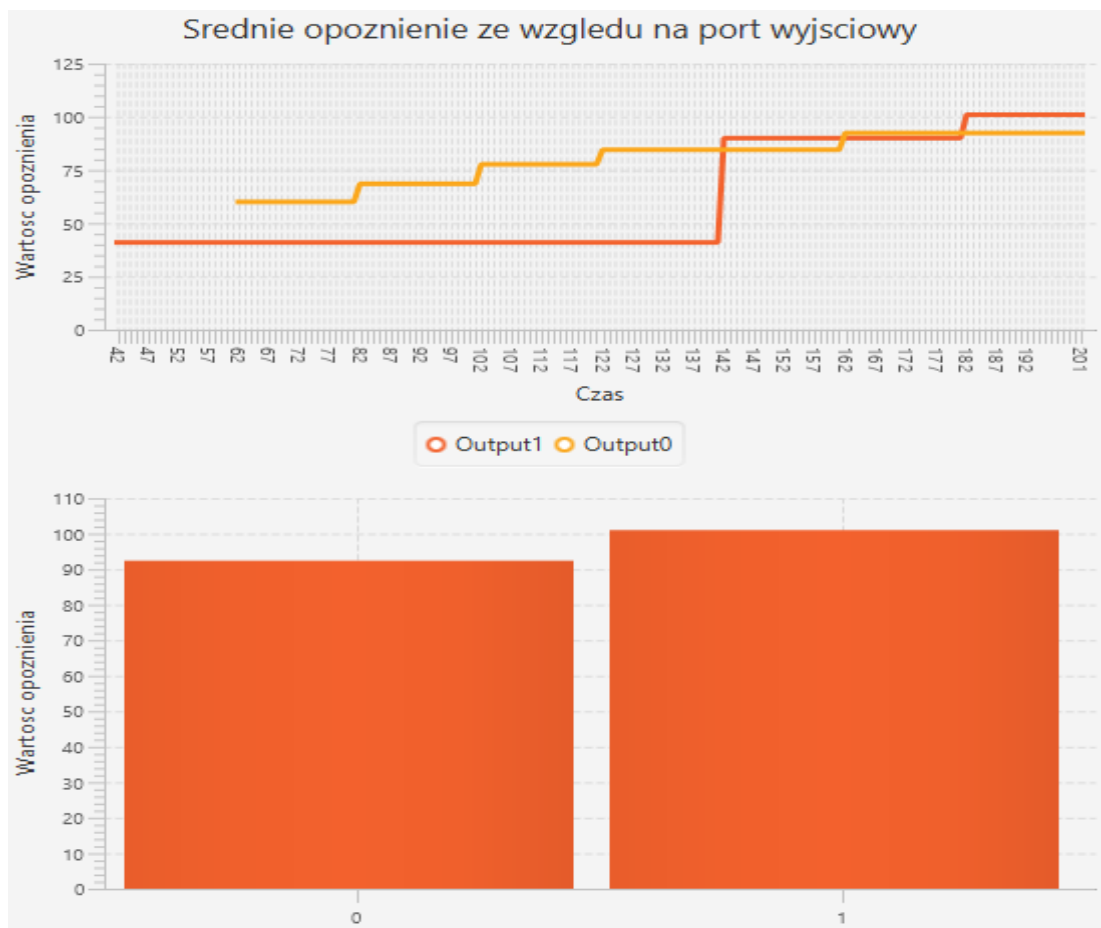
Procent odrzucen ze wzgledu na port wyjscowy

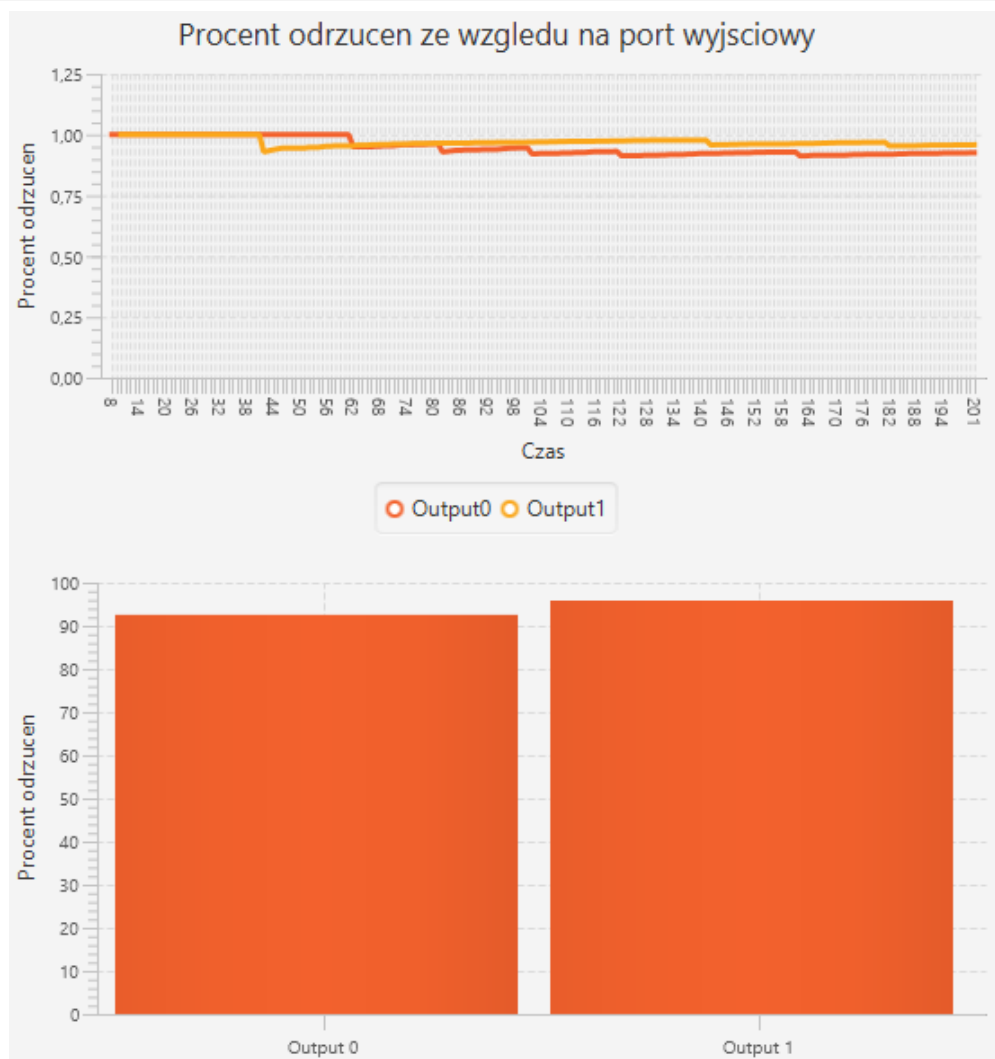
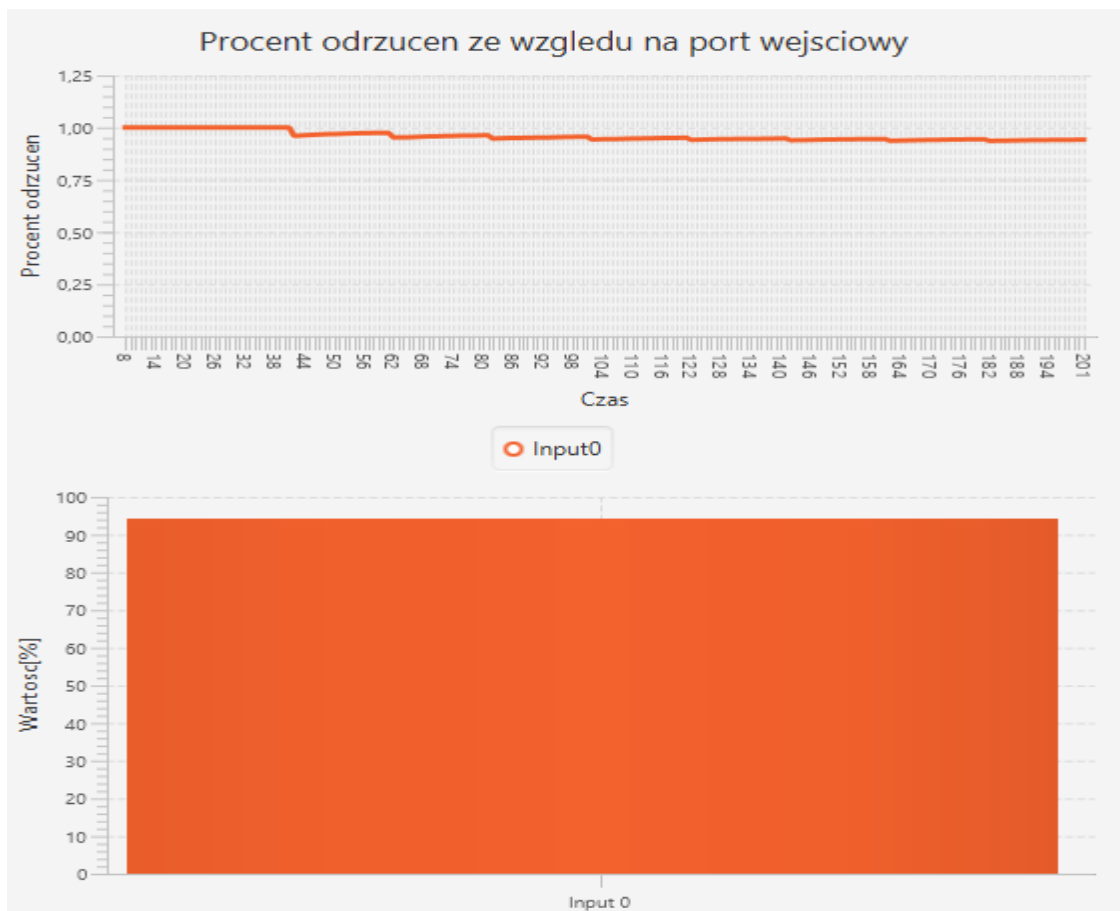


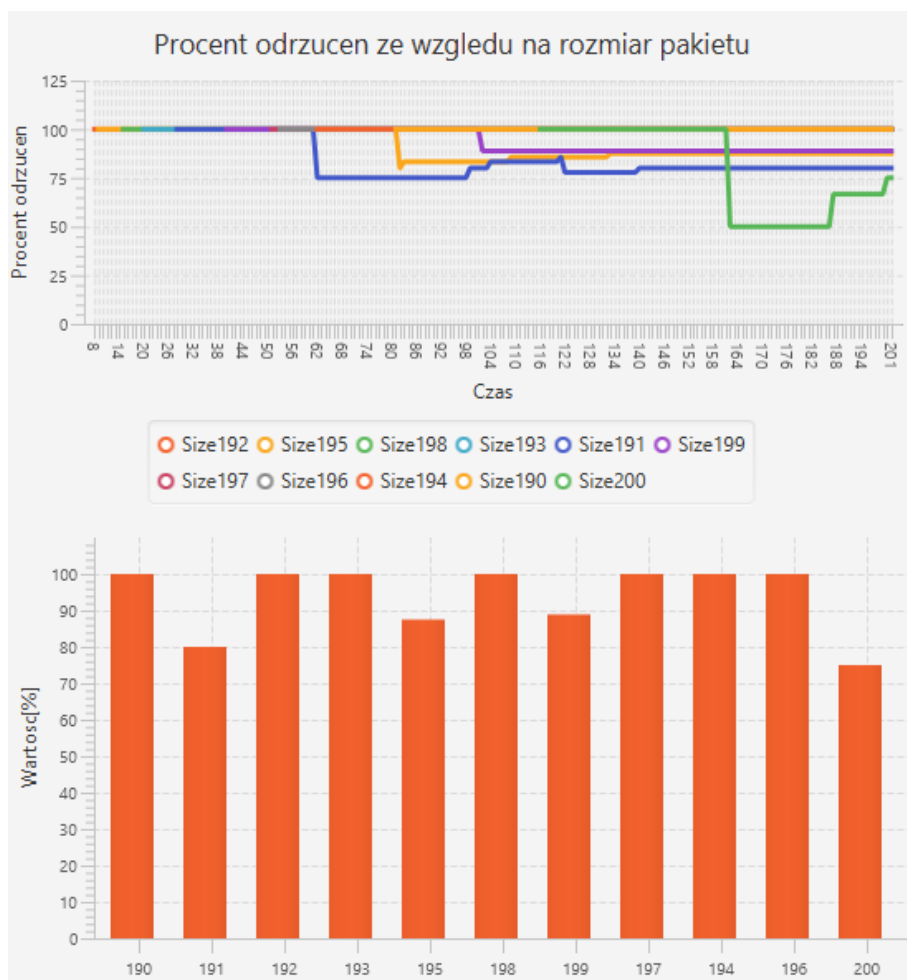


Rysunek 4 Wyniki doświadczenia dla przedziału losowania <20, 30>









Rysunek 5 Wyniki doświadczenia dla przedziału losowania <190, 200>

Wnioski

Zebrane wyniki symulacji w pełni potwierdzają występowanie problemu blokowania kolejek.

Zarówno opóźnienia występujące na switch'u, jak i liczba odrzucanych pakietów rośnie, wraz z rozmiarem pakietów, które do niego przychodzą pomimo proporcjonalnego zwiększania kolejki. Oczywiście na wyniki wpływ mają także inne parametry przełącznika np. rozmiar komórki, ale warto zwrócić uwagę na fakt, że zmiana rozmiaru pakietów poskutkowała bardzo silną zmianą w liczbie odrzucen i opóźnieniu.

Wpływ rozmiaru komórki

Ostatnie przeprowadzone badanie dla przełączników z kolejkowaniem wejściowym miało na celu określenie wpływu rozmiaru komórki jaki jest w danym przełączniku wykorzystywany.

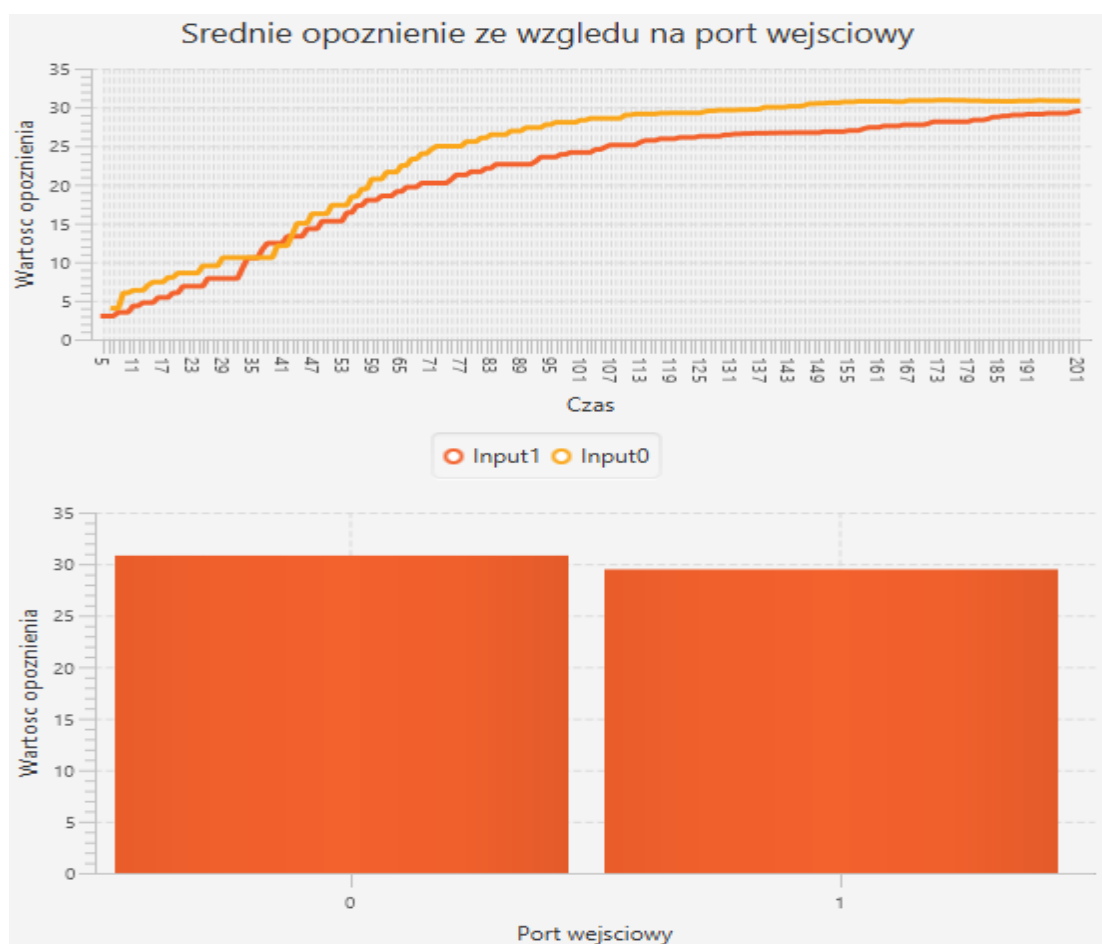
Podobnie jak w poprzednich badaniach – symulacje trwały 200 iteracji, szansa na pojawienie się pakietu wynosiła 75%, a rozmiary kolejek wejściowych ustawiono na 250. Pakiety miały rozmiary losowane z przedziału <10, 50>. Przepustowość łącza wyniosła 1000, a p-stwo obciążenia urządzeń wyjściowych – 1%. W badanym przełączniku pracowały dwa porty wejściowe oraz dwa wyjściowe. Rozmiary komórek wynosiły odpowiednio: 10, 20, 30, 40, 50.

Wyniki przedstawia tabela 7.

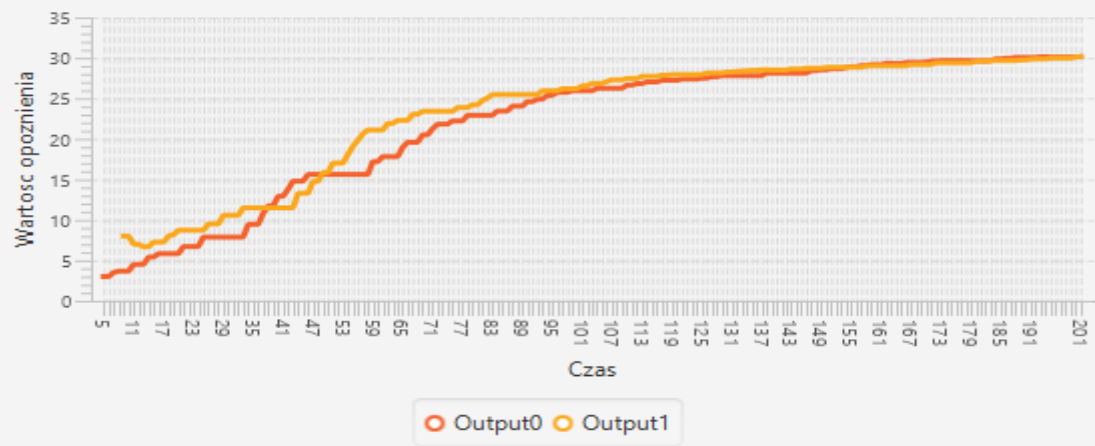
Tabela 7 Wyniki badania wpływu rozmiaru komórki

		Rozmiar komórki				
		10	20	30	40	50
Odrzucone pakiety [%]	Wejście 1	54,0	27,0	18,2	5,5	0,0
	Wejście 2	55,0	35,0	18,5	0,7	0,7
	Wyjście 1	57,0	29,5	14,7	2,9	0,0
	Wyjście 2	53,0	33,0	22,5	3,3	0,7
Średnie opóźnienie	Wejście 1	31,0	17,0	12,0	9,2	4,2
	Wejście 2	29,5	17,0	11,5	6,8	7,0
	Wyjście 1	30,3	16,7	11,5	8,1	5,4
	Wyjście 2	30,3	17,5	12,0	8,0	5,9

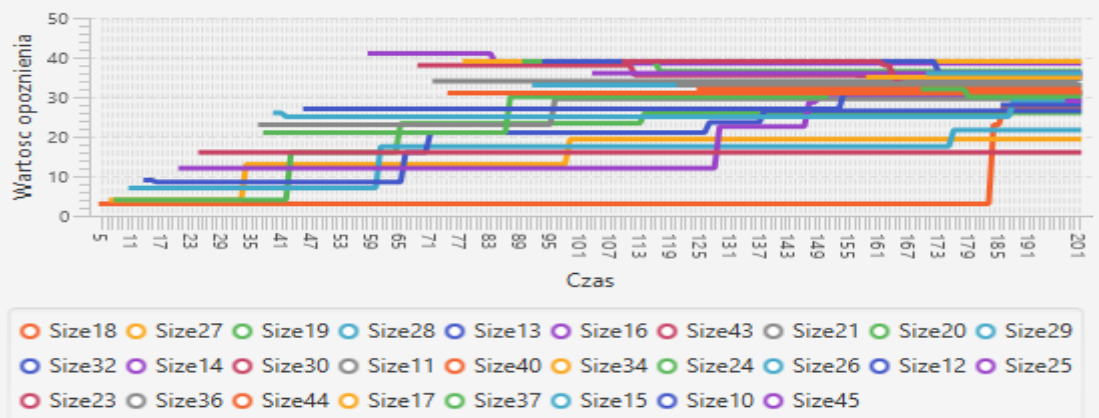
Poniższe rysunki przedstawiają wyniki symulacji dla wartości 10 i 50.

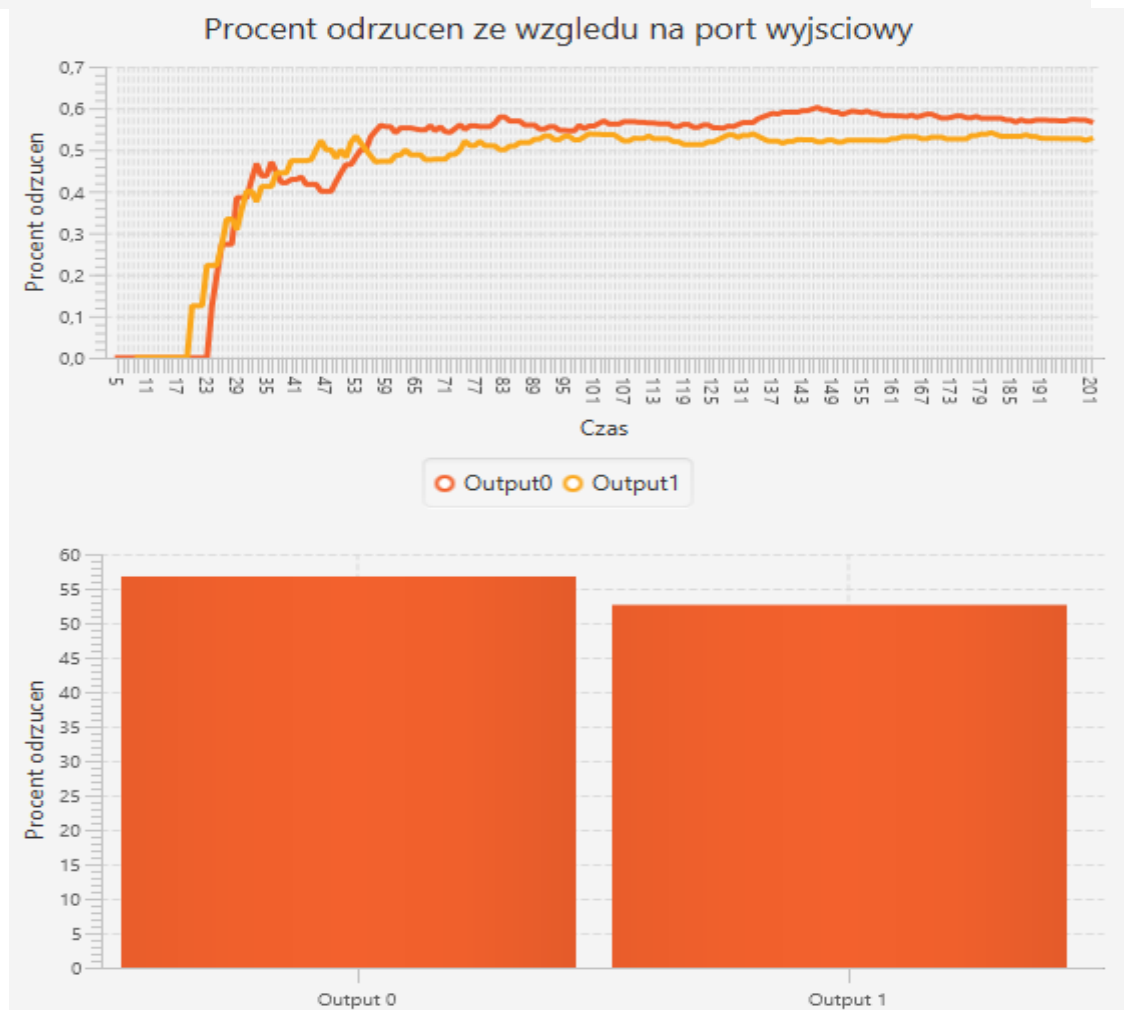
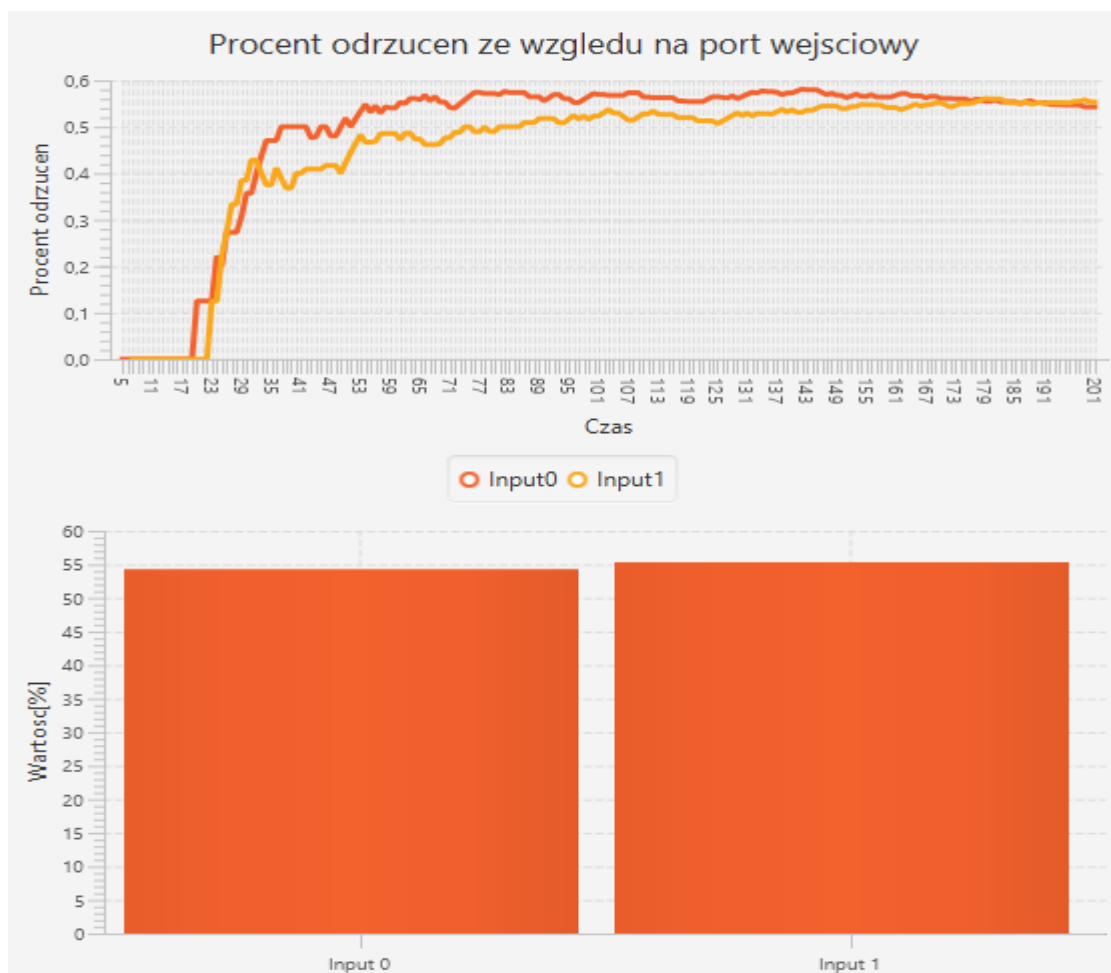


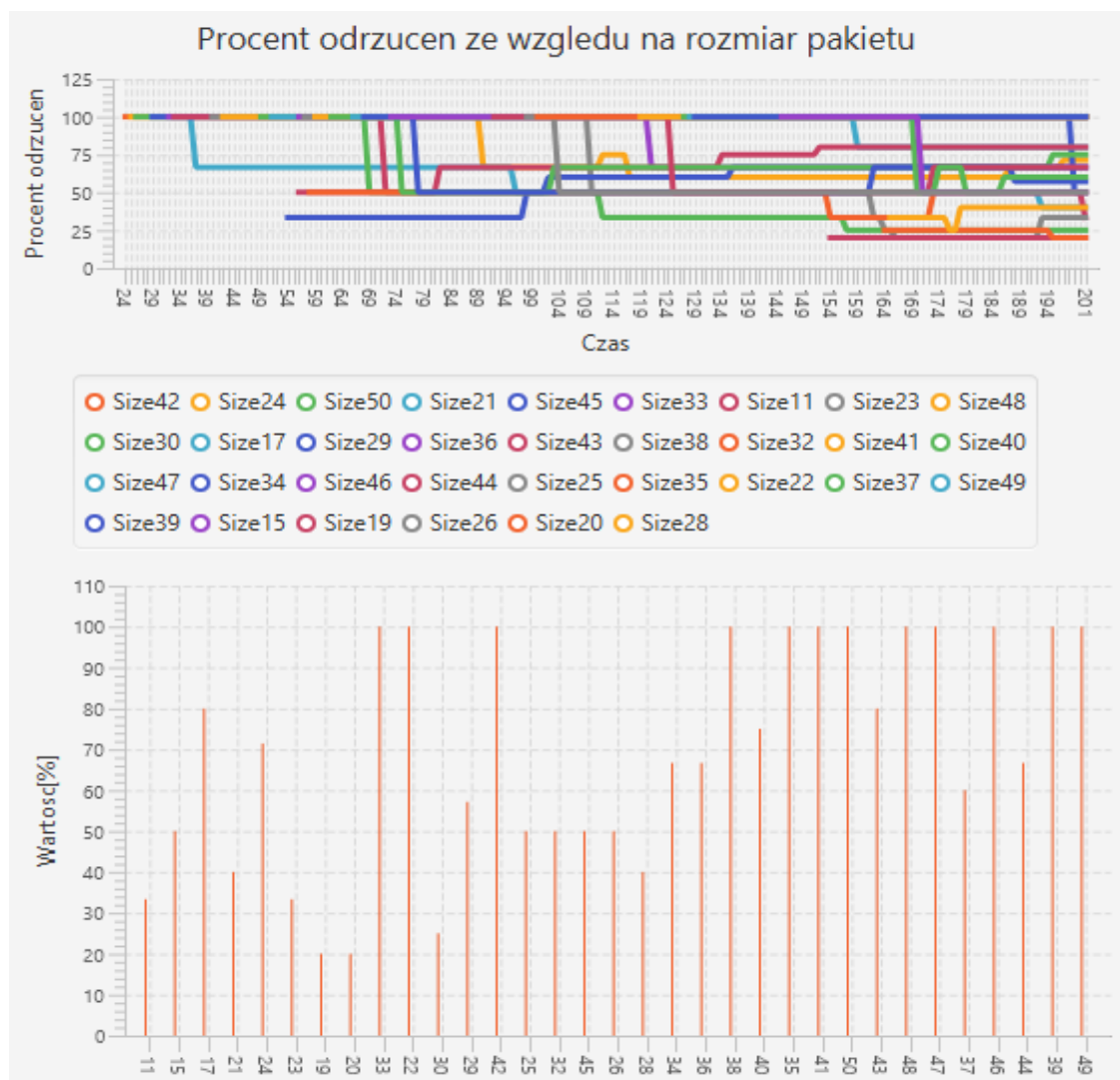
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wyjsciowy



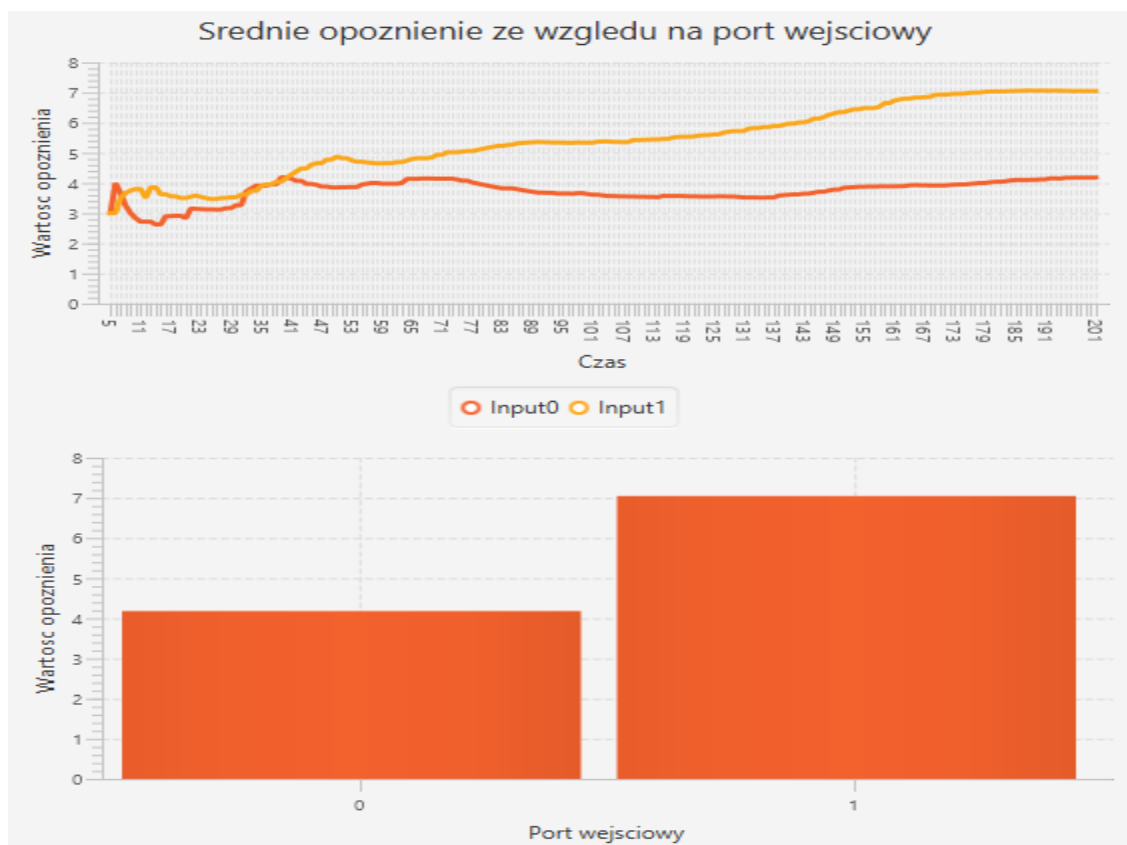
Srednie opoznienie ze wzgledu na rozmiar pakietu

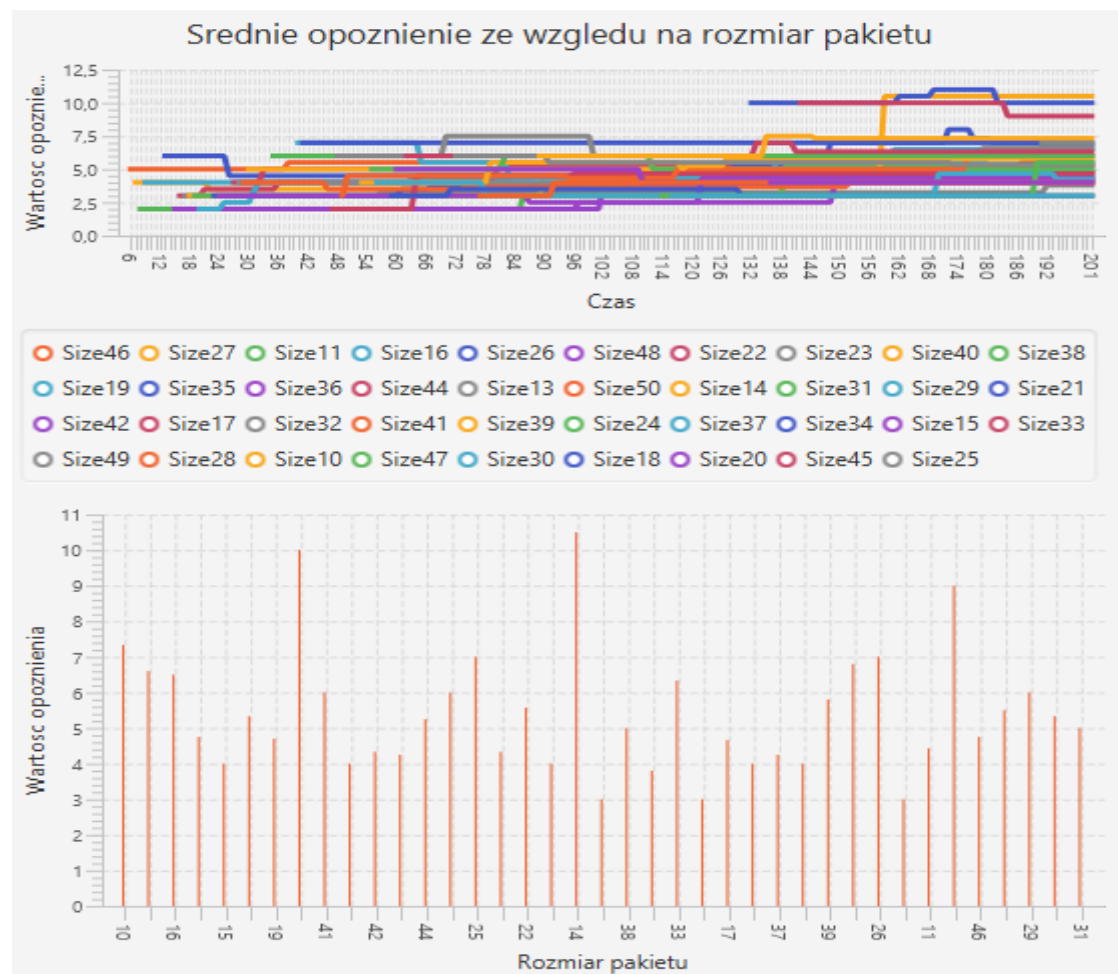
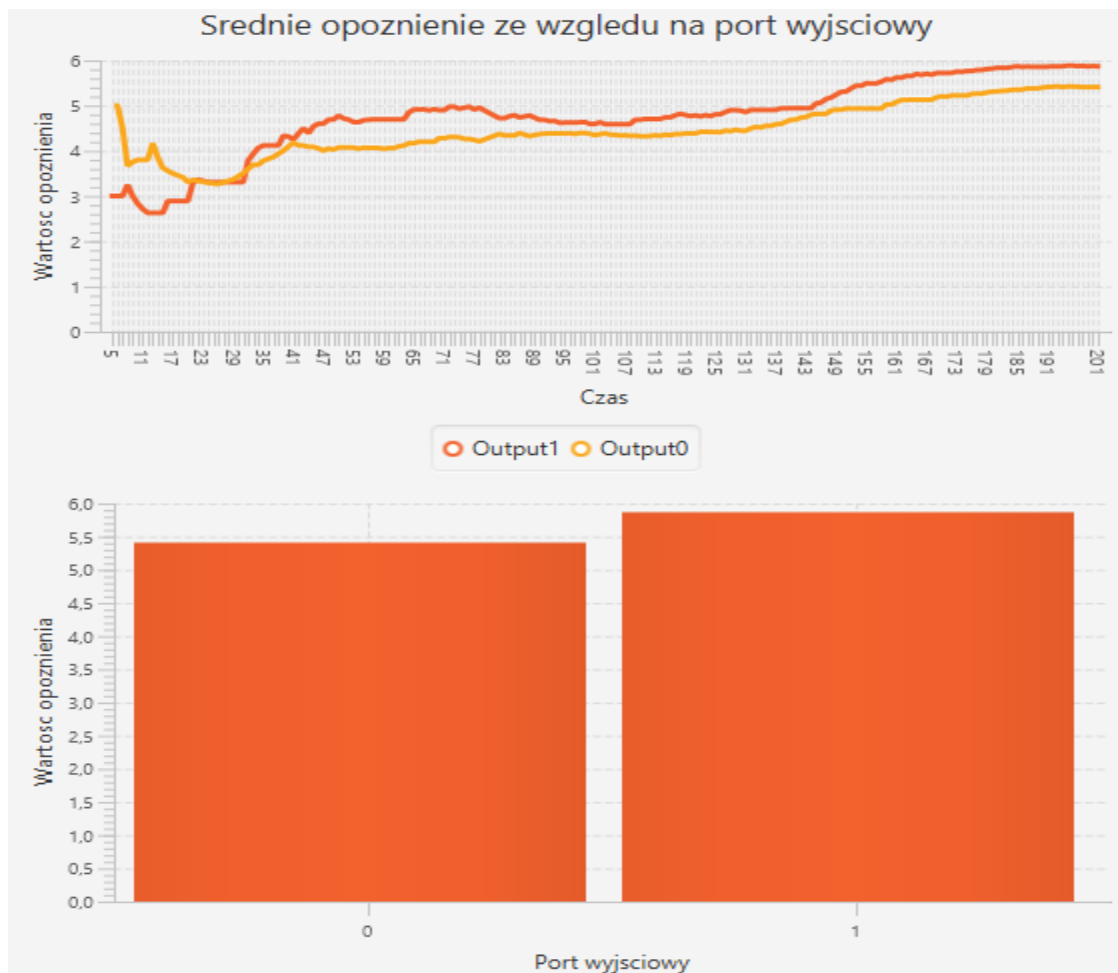


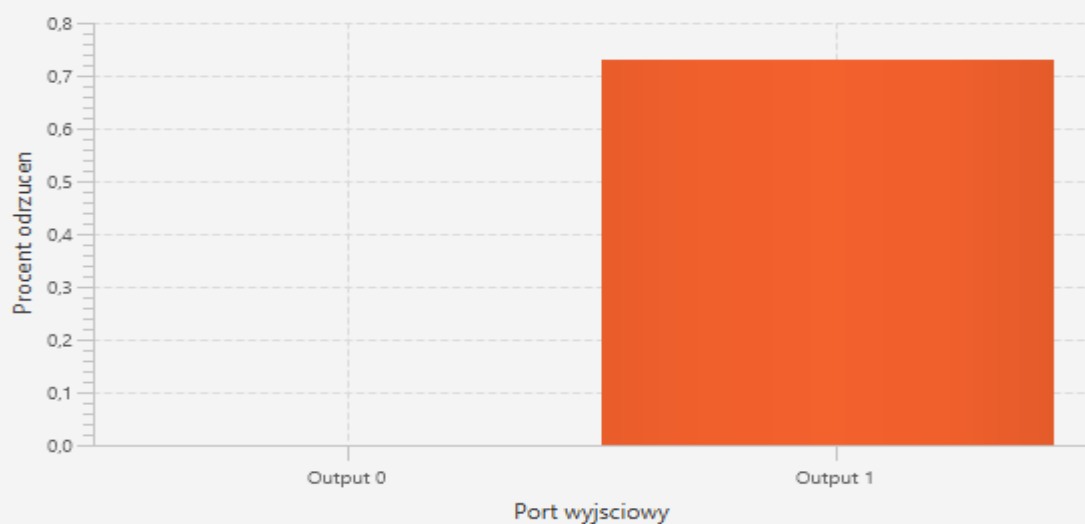
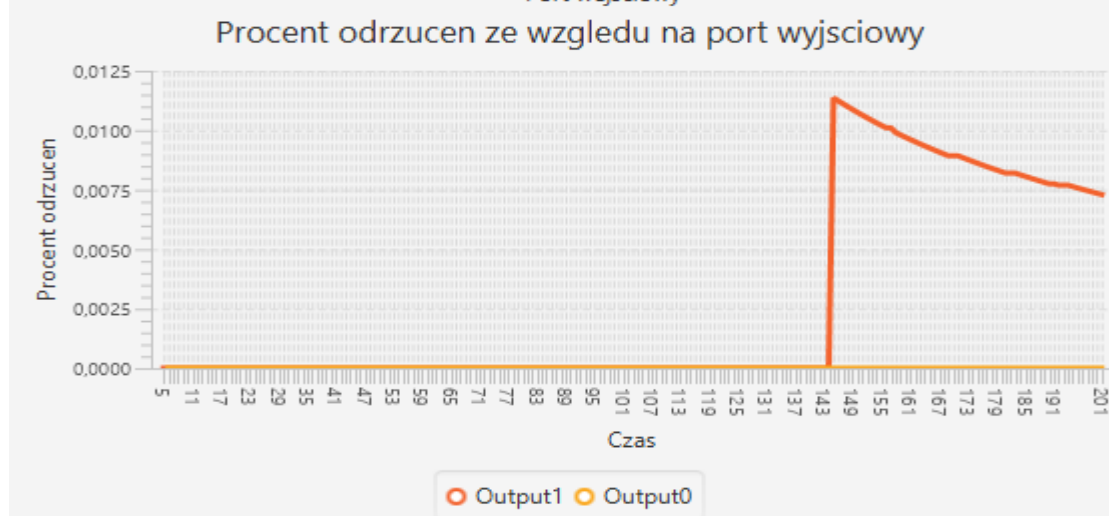
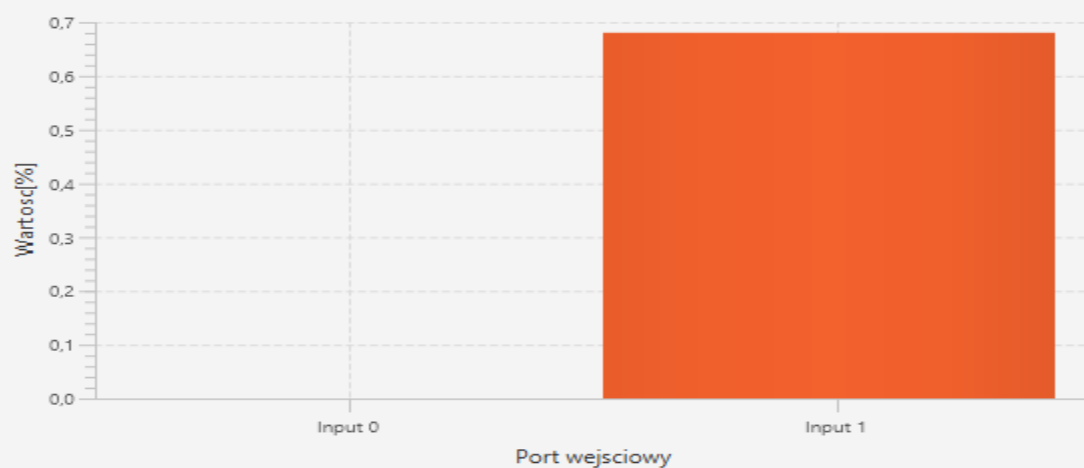


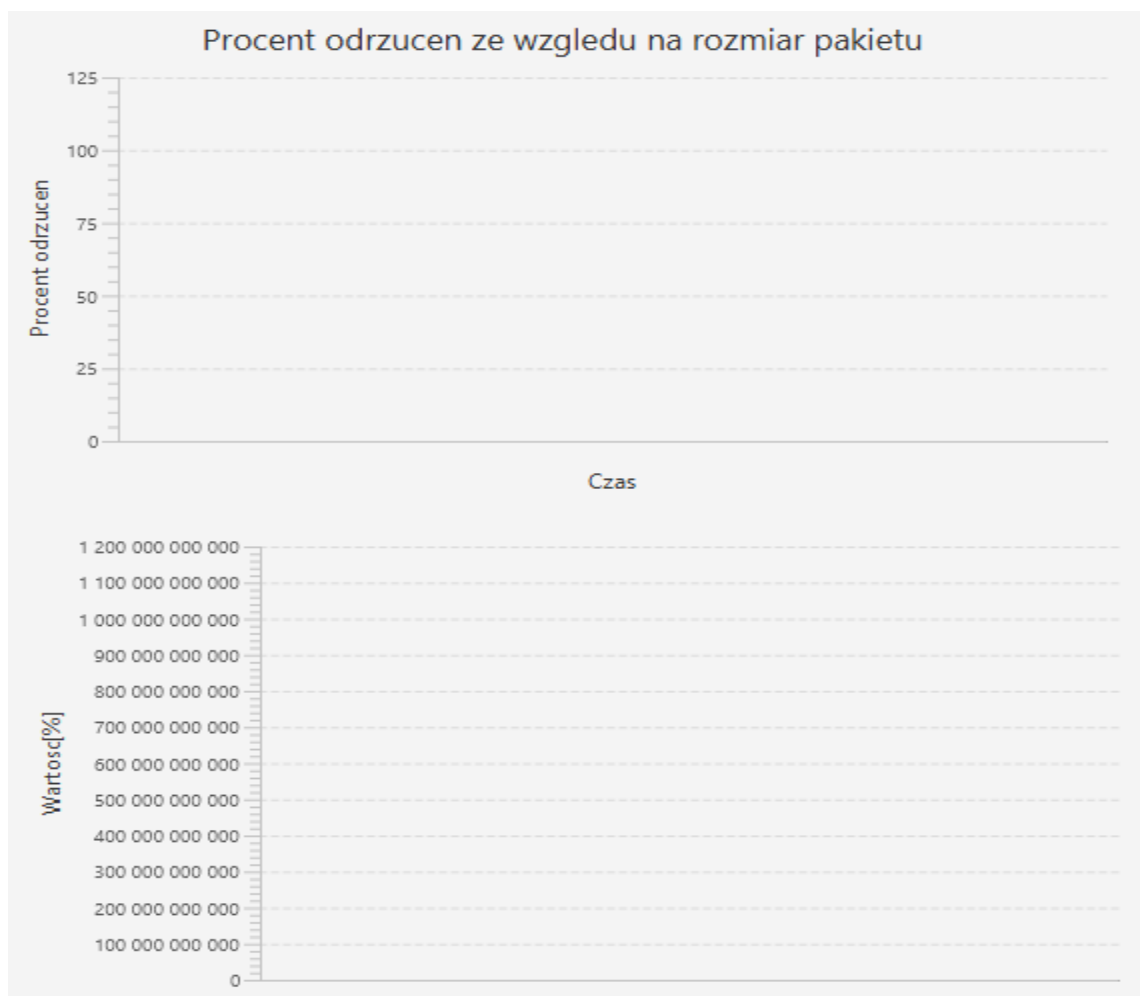


Rysunek 6 Wyniki doświadczenia dla rozmiaru komórki równego 10









Rysunek 7 Wyniki doświadczenia dla rozmiaru komórki równego 50

Wnioski

Wyniki uzyskane w badaniu potwierdzają intuicję – zarówno procent odrzuconych pakietów, jak i średnie opóźnienie pakietów maleje wraz ze wzrostem rozmiaru komórki przesyłanej w obrębie przełącznika w czasie trwania jednego cyklu przesyłania. Kiedy rozmiar komórki przyjmuje wartość taką, jak rozmiar największego możliwego pakietu, to, przy odpowiednio dużym rozmiarze kolejki wejściowej, przełącznik praktycznie nie odrzuca pakietów, a wprowadzane opóźnienie jest niemalże zerowe. Oczywiście wpływ na taki wynik ma oczywiście jakość łącza wyjściowego – jego prędkość, oraz to, jak bardzo obciążone są urządzenia wyjściowe. Przy dobrych wartościach tych parametrów przełącznik uzyskuje takie rezultaty nawet przy dużym ruchu wejściowym.

Przełącznik z kolejkowaniem wyjściowym

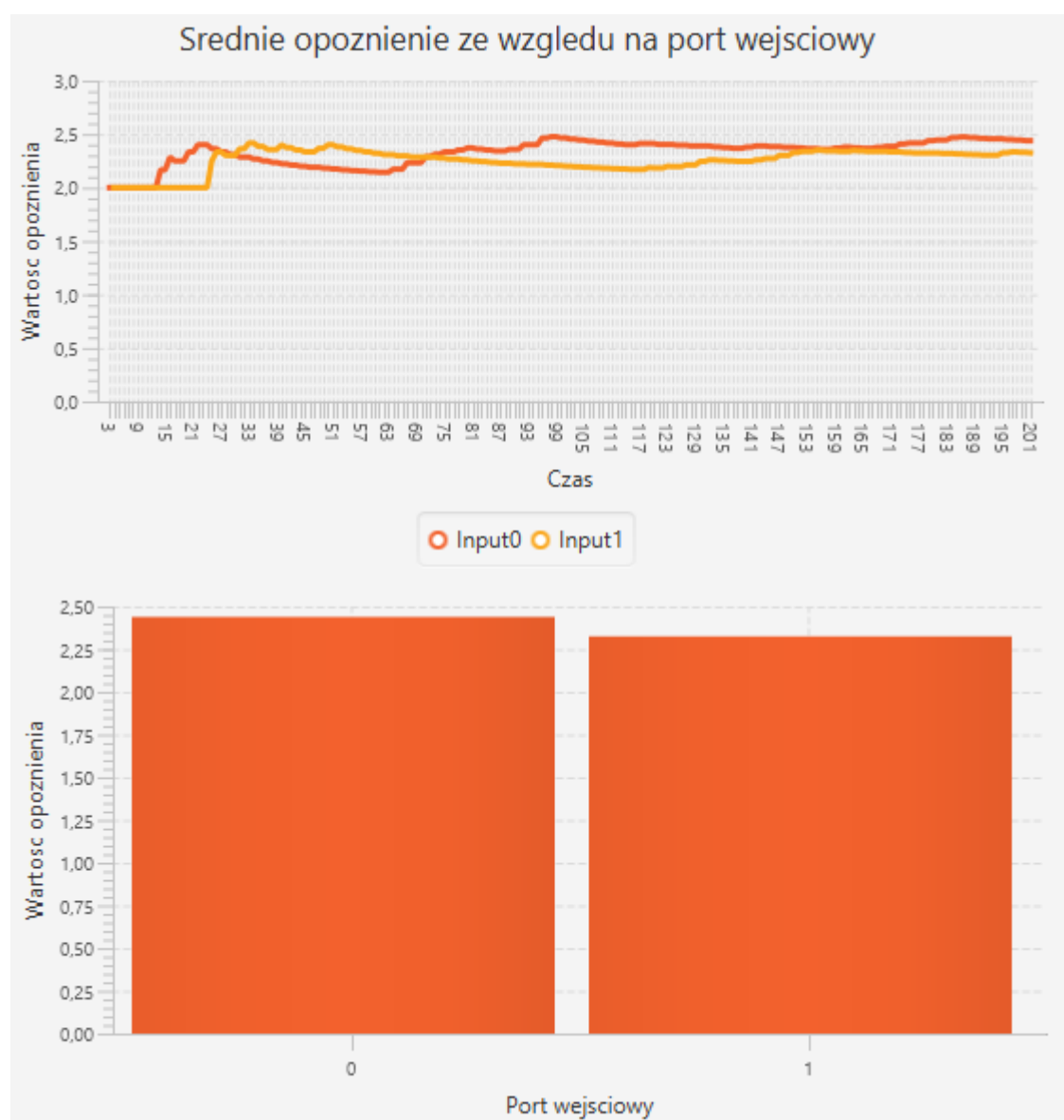
Problem N-krotnego przyspieszenia (N-speedup problem)

Celem badania było sprawdzenie, czy problem N-krotnego przyspieszenia opisany dla przełączników z kolejkowaniem wyjściowym występuje w symulatorze. Badany przełącznik posiadał dwa porty wejściowe oraz jeden wyjściowy. P-stwo pojawienia się pakietu na wejściu ustawiono na standardowe 75%, rozmiar komórki – 50, a zakres rozmiarów pakietów na $\langle 30, 50 \rangle$. P-stwo obciążenia urządzenia wyjściowego wyniosło 1%, a przepustowość - 1000. W badaniu testowano rozmiary kolejek wyjściowych odpowiednio 50, 80, 100, 150, 200. Symulacja trwała 200 iteracji. Wyniki zebrano w poniższej tabeli.

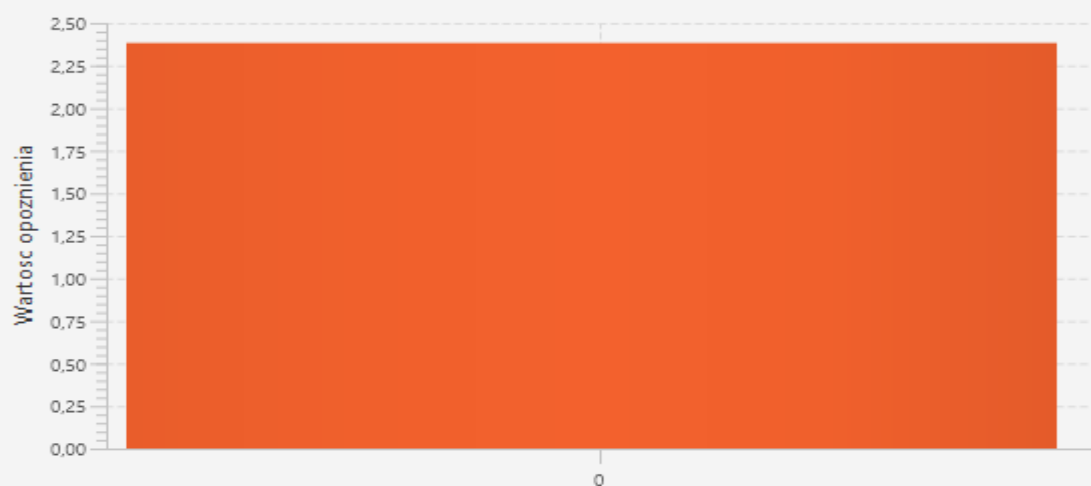
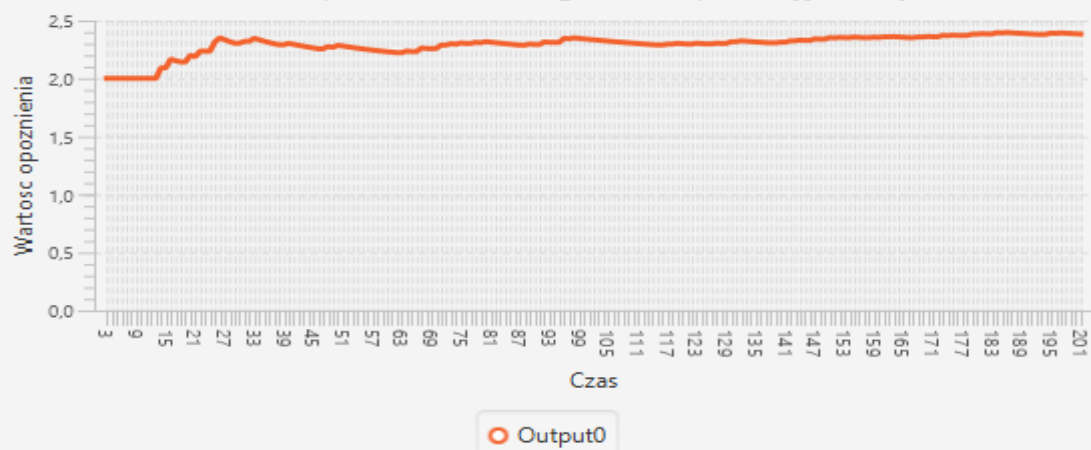
Tabela 8 Wyniki badania problemu N-krotnego przyspieszenia

		Rozmiar kolejki wyjściowej				
		50	80	100	150	200
Odrzucone pakiety [%]	Wejście 1	46,0	47,0	45,0	47,5	49,0
	Wejście 2	44,5	46,0	44,0	46,0	43,0
	Wyjście	45,0	46,0	45,0	47,0	46,5
Średnie opóźnienie	Wejście 1	2,5	2,4	3,2	2,7	3,4
	Wejście 2	2,4	2,3	3,2	2,6	3,5
	Wyjście	2,4	2,4	3,2	2,7	3,5

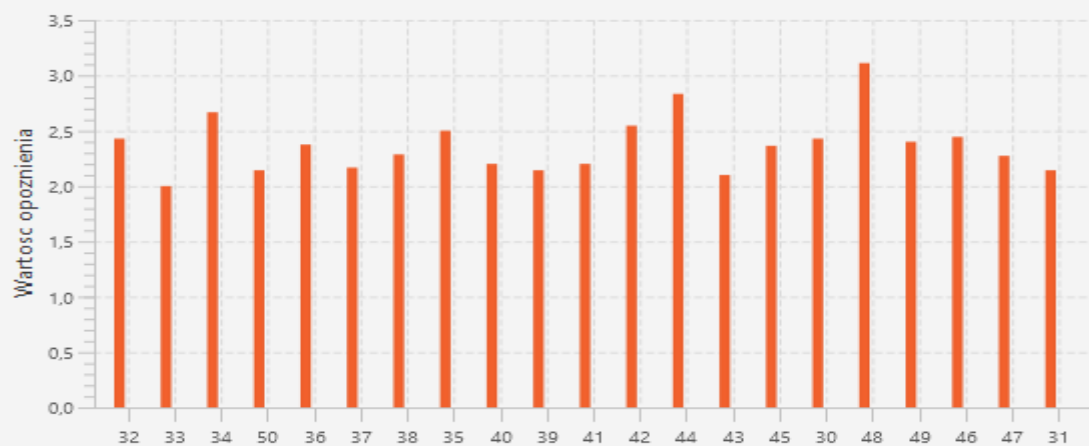
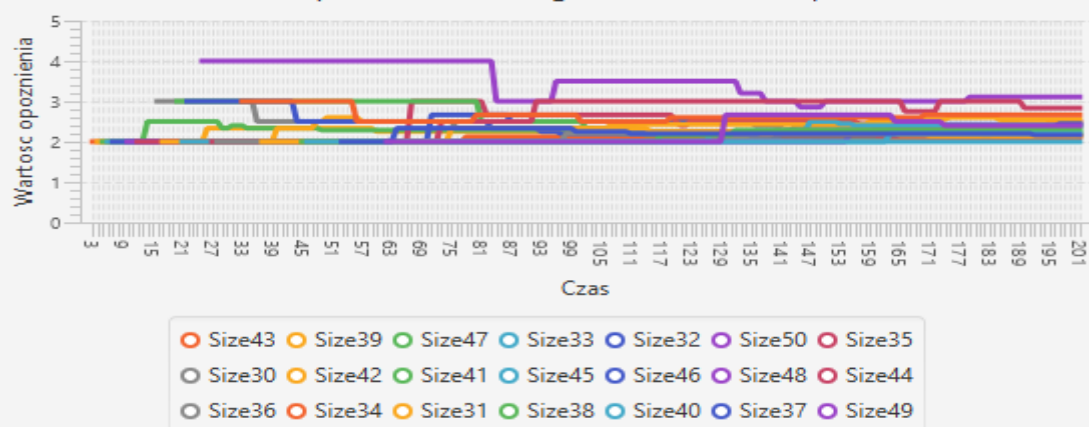
Poniższe zrzuty ekranu przedstawiają wyniki dla wartości 50 oraz 200.



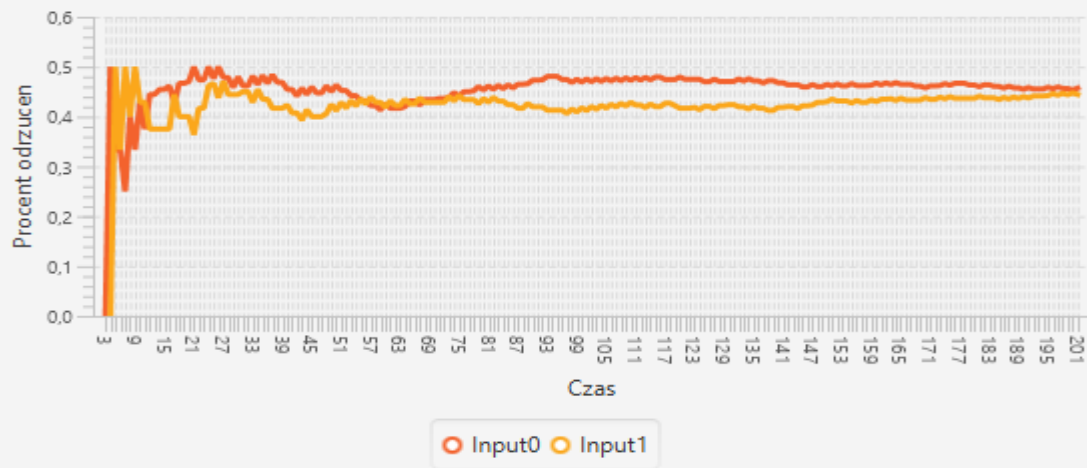
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wysciowy



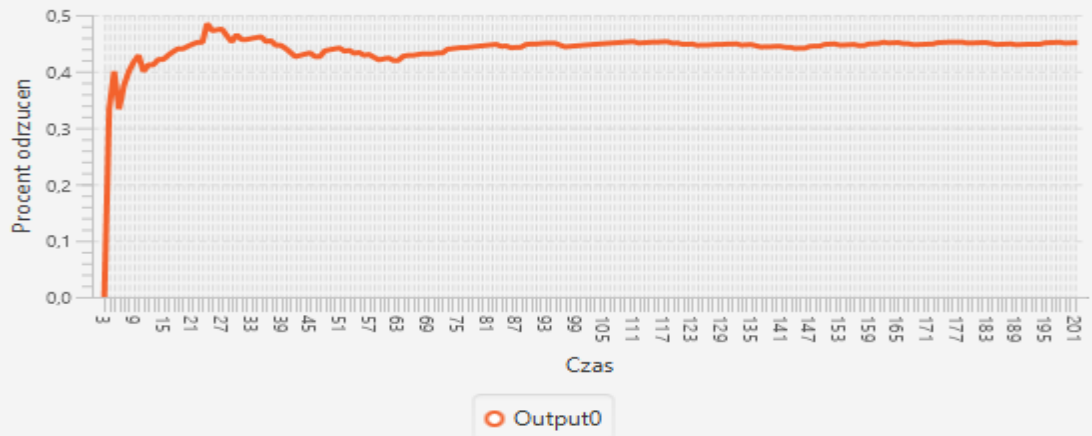
Srednie opoznienie ze wzgledu na rozmiar pakietu

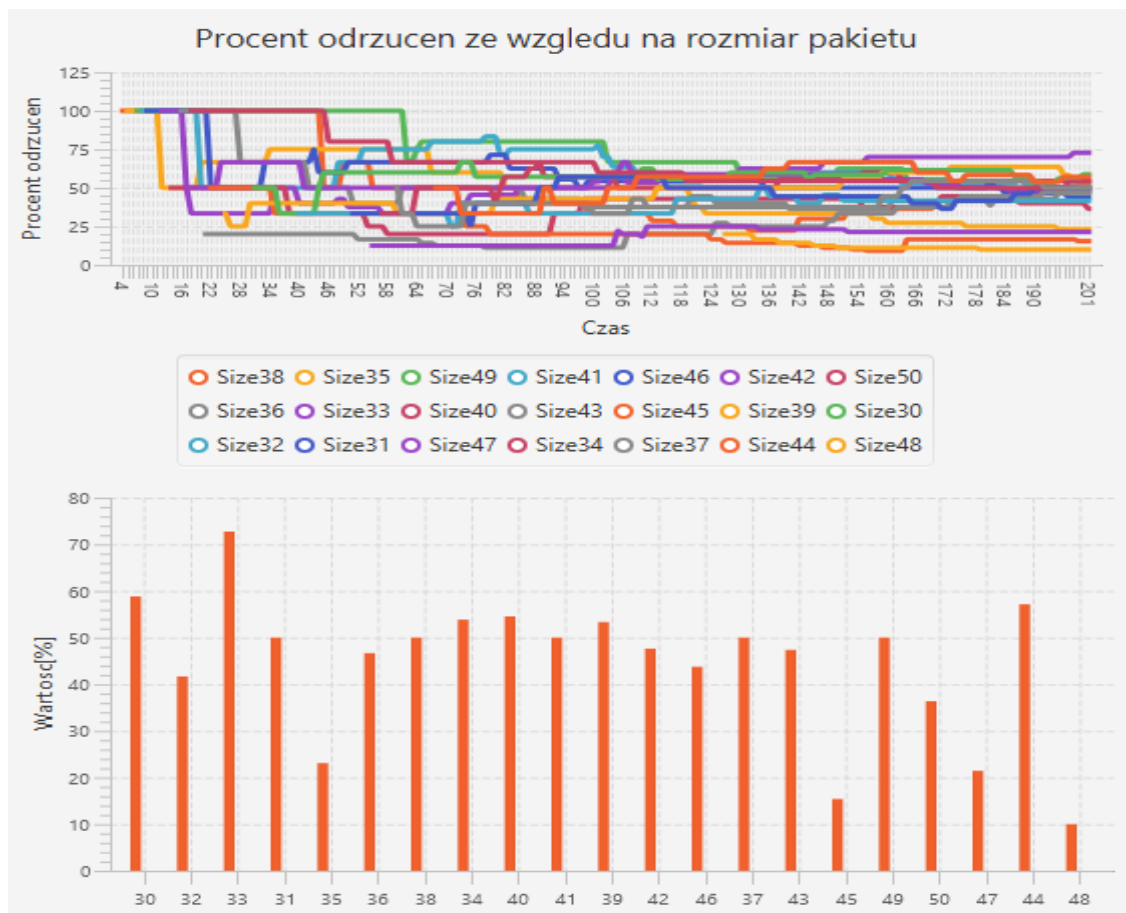


Procent odrzucen ze wzgledu na port wejscowy

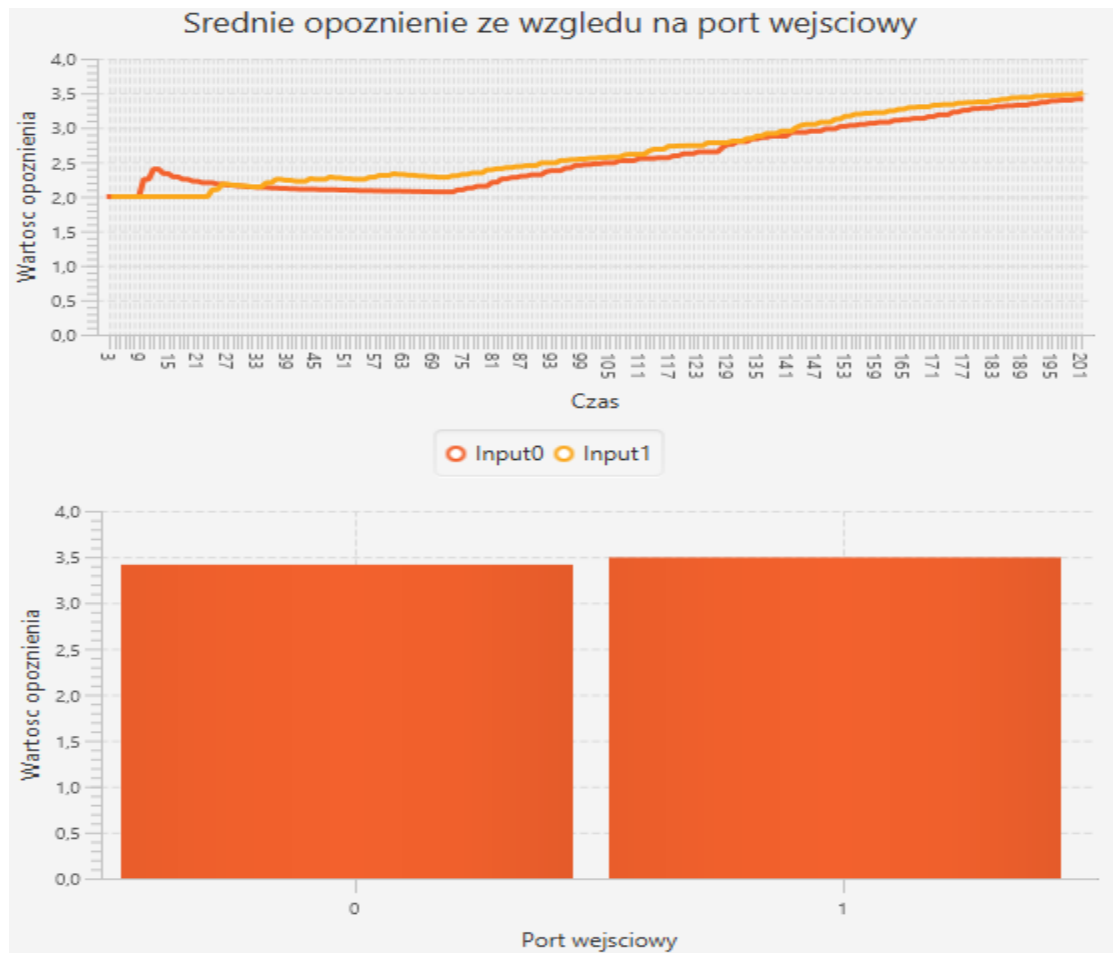


Procent odrzucen ze wzgledu na port wyjscowy

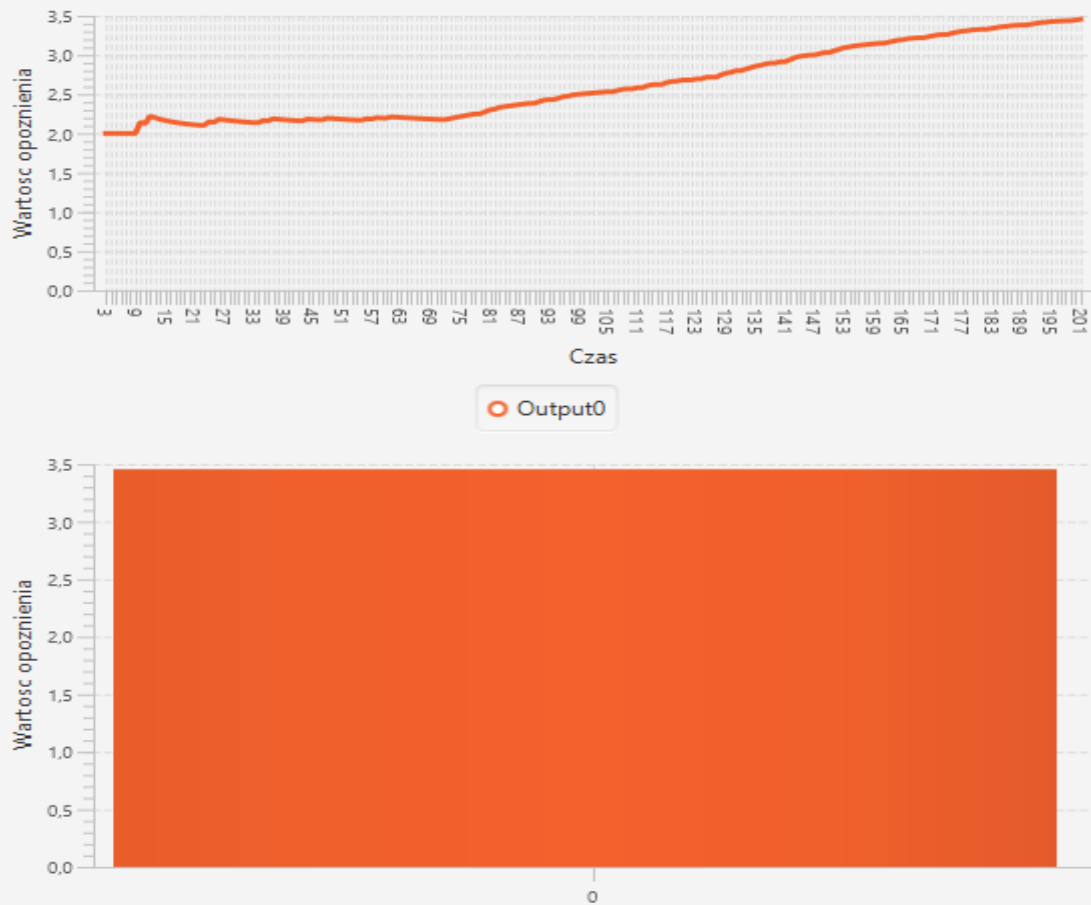




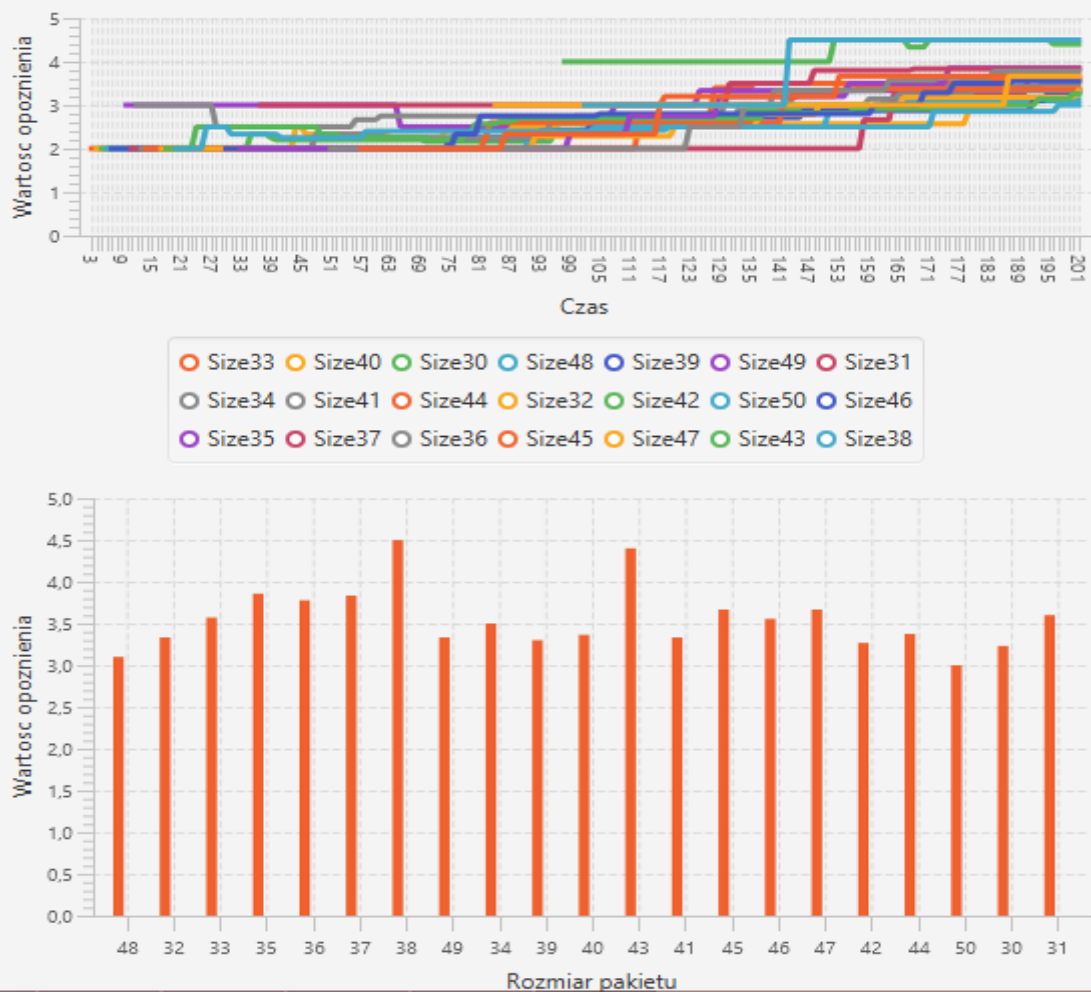
Rysunek 8 Wyniki badania dla rozmiaru kolejki równego 50



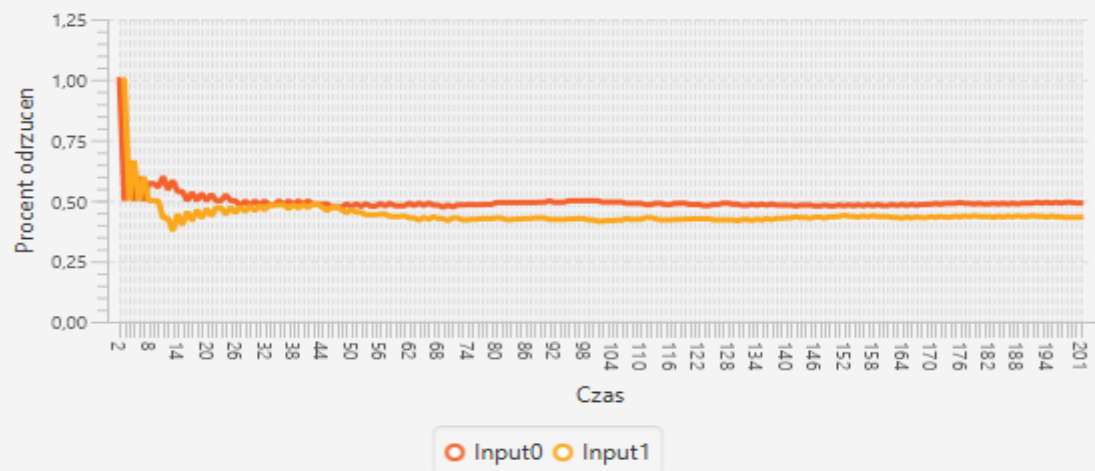
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wyjsciowy



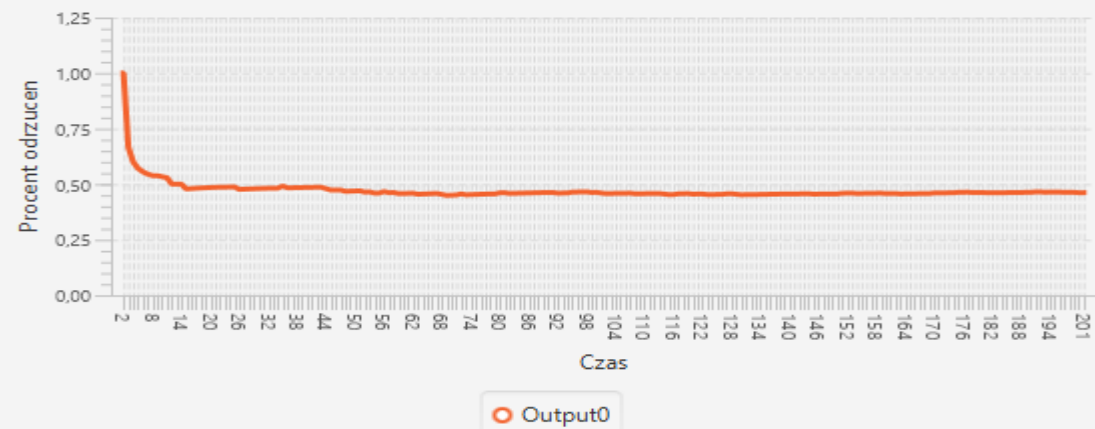
Srednie opoznienie ze wzgledu na rozmiar pakietu

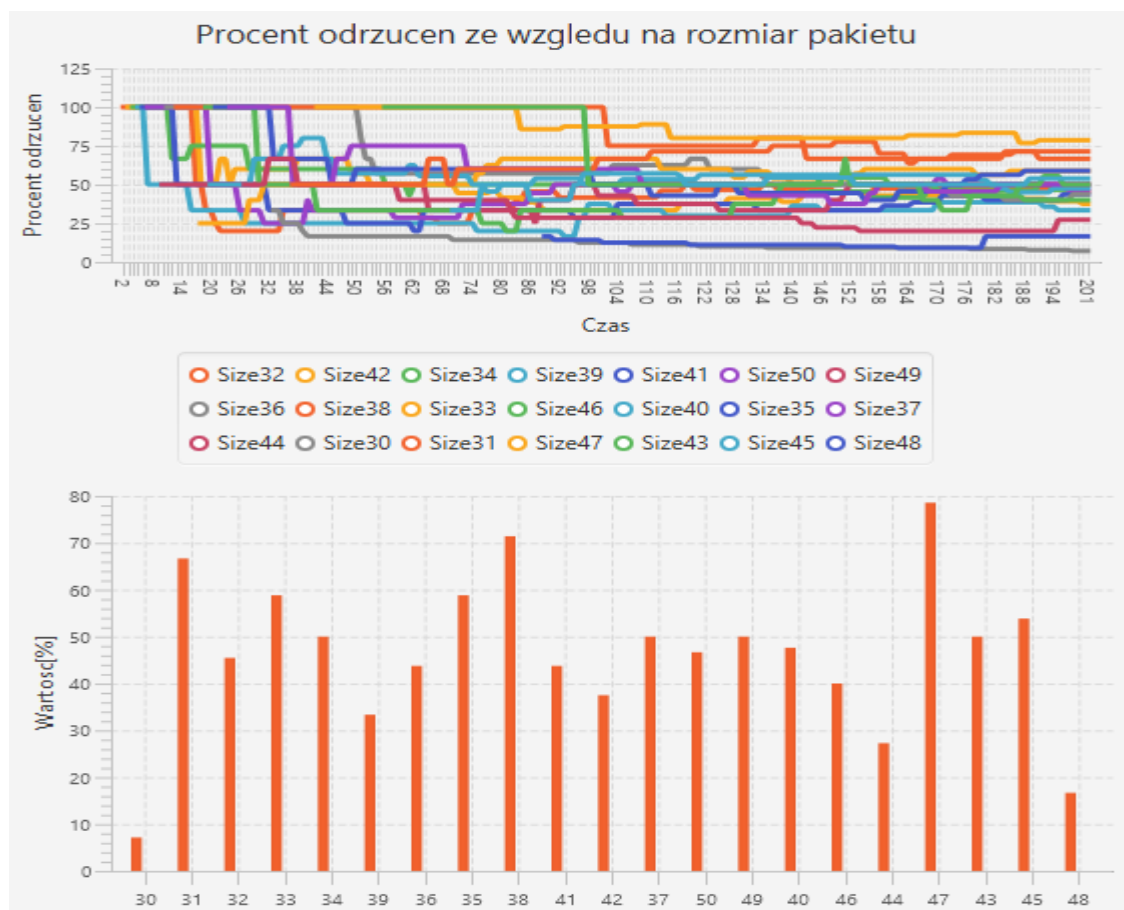


Procent odrzucen ze wzgledu na port wejscowy



Procent odrzucen ze wzgledu na port wyjsciowy





Rysunek 9 Wyniki badania dla rozmiaru kolejki równego 200

Wnioski

Niestety uzyskane wyniki nie pozwalają stwierdzić występowania efektu. Wzrost rozmiaru kolejki wyjściowej nie spowodował znacznej zmiany, co do wartości, zarówno liczby odrzuceń pakietów, jak i wartości średniego opóźnienia. Co gorsza, o ile charakter zmian liczby odrzuceń pakietów jest stały, o tyle średnie opóźnienie nabrało, wraz ze wzrostem kolejki, charakteru wzrostowego. Przyczyny takiego zachowania symulatora można doszukiwać się w niuansach implementacji.

Wpływ obciążenia urządzeń wyjściowych

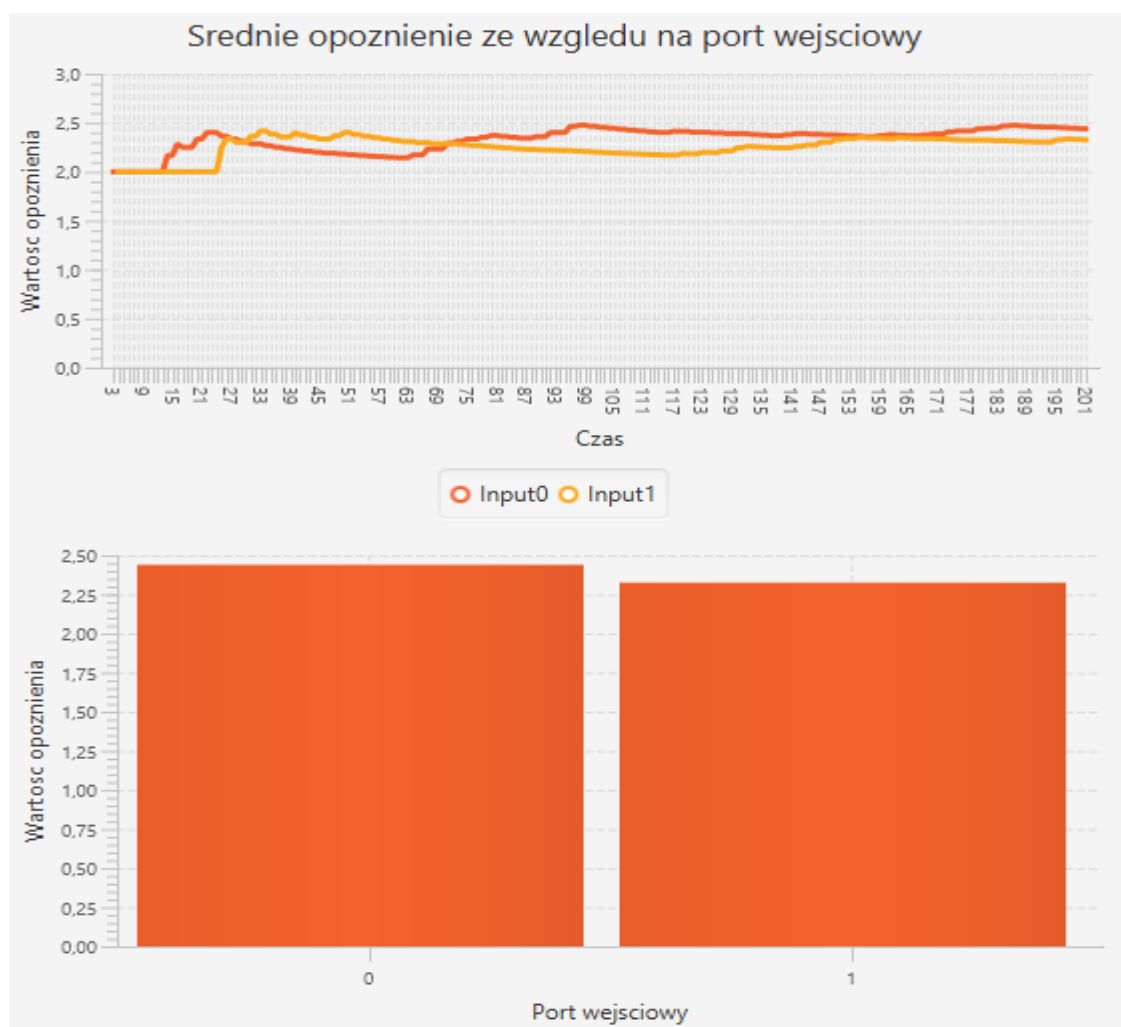
Jako, że przełącznik z kolejkowaniem wyjściowym odrzuca pakiety natychmiast, jeśli po ich odebraniu nie jest w stanie przekazać ich na odpowiednie wyjście, tak więc powinien on być wrażliwy na duże obciążenie urządzenia wyjściowego podłączonego pod dany port wyjściowy. Niniejsze badanie miało na celu sprawdzenie, czy faktycznie tak się stanie. Urządzenie wyposażono w dwa porty wejściowe i jeden wyjściowy. Symulacja zakłada 75% szans na pojawienie się pakietu o rozmiarze $<10, 30>$. Rozmiar komórki wynosił 10. Przepustowość łącza wynosiła 1000, a rozmiar kolejki 250. Każda symulacja trwała 200 iteracji. Przeprowadzono symulację dla obciążenia równego 10%, 25%, 50%, 75% i 90%.

Wyniki zebrano w poniższej tabeli.

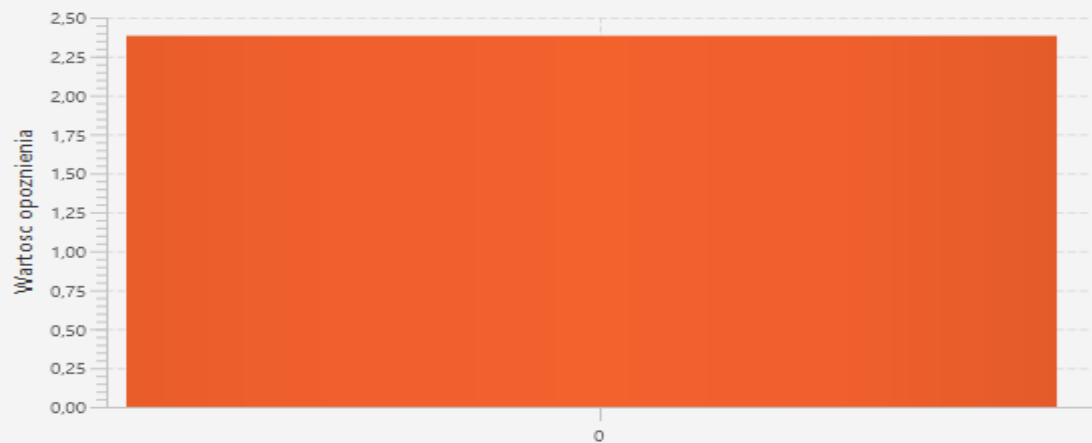
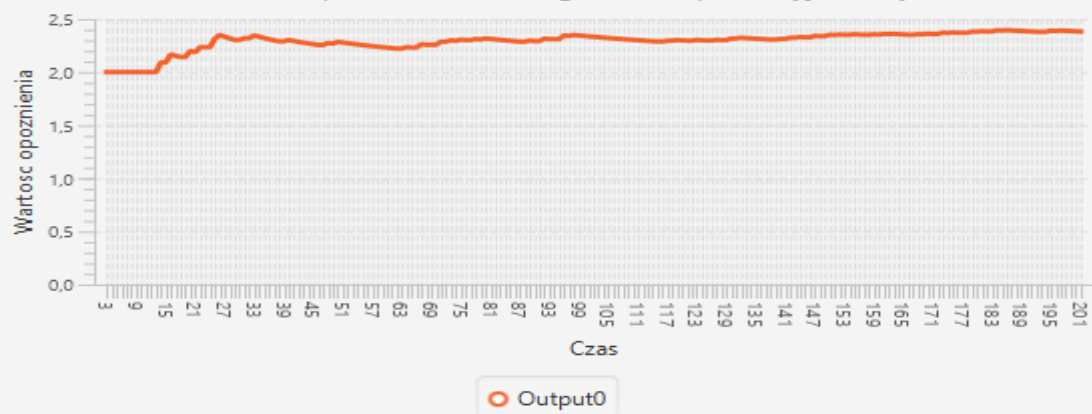
Tabela 9 Wyniki badania wpływu obciążenia

		Obciążenie				
		10%	25%	50%	75%	90%
Odrzucone pakiety [%]	Wejście 1	61,0	61,0	60,0	69,0	90,0
	Wejście 2	61,0	59,0	61,0	70,0	90,0
	Wyjście	61,0	60,0	60,0	69,0	90,0
Średnie opóźnienie	Wejście 1	3,4	3,4	5,4	21,5	58,0
	Wejście 2	3,4	3,4	5,6	22,5	57,0
	Wyjście	3,4	3,4	5,5	22,0	58,0

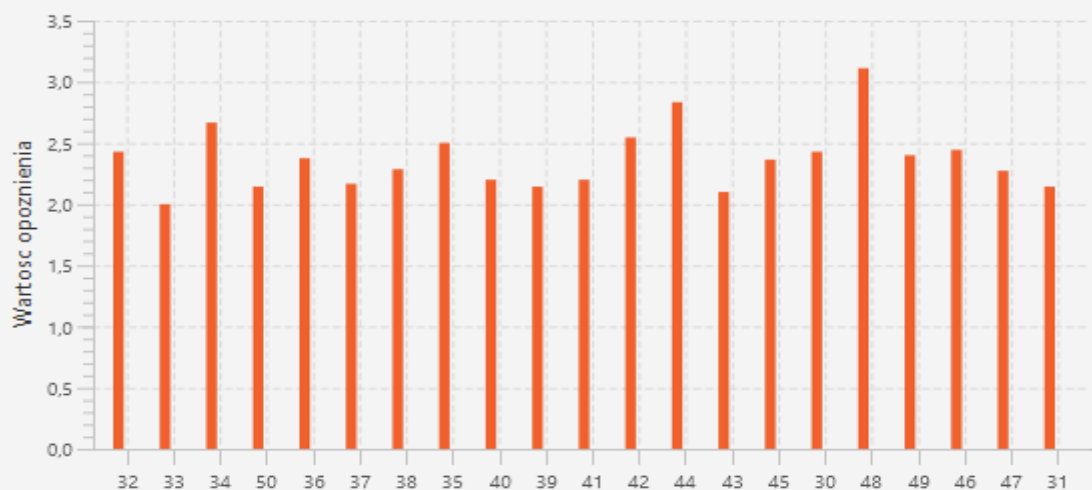
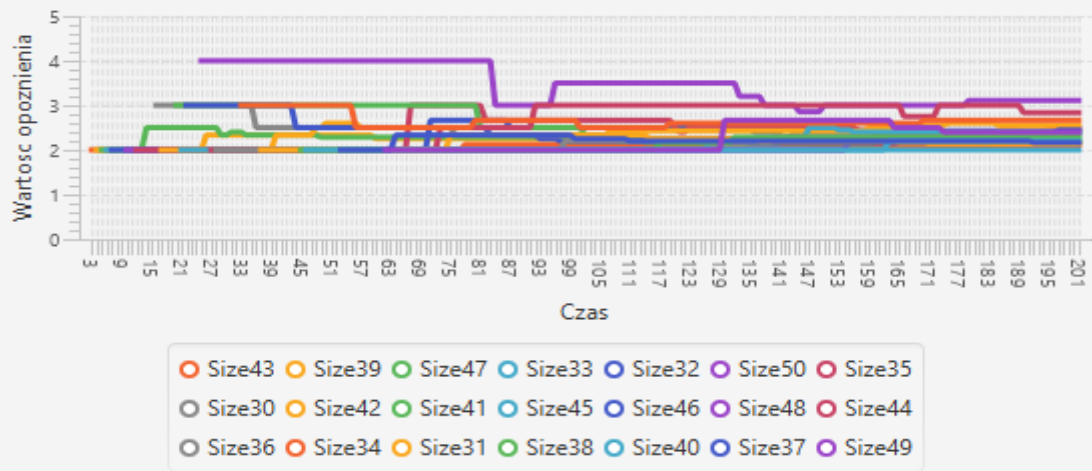
Poniższe zrzuty ekranu przedstawiają wyniki symulacji dla obciążenia 10% i 90%.



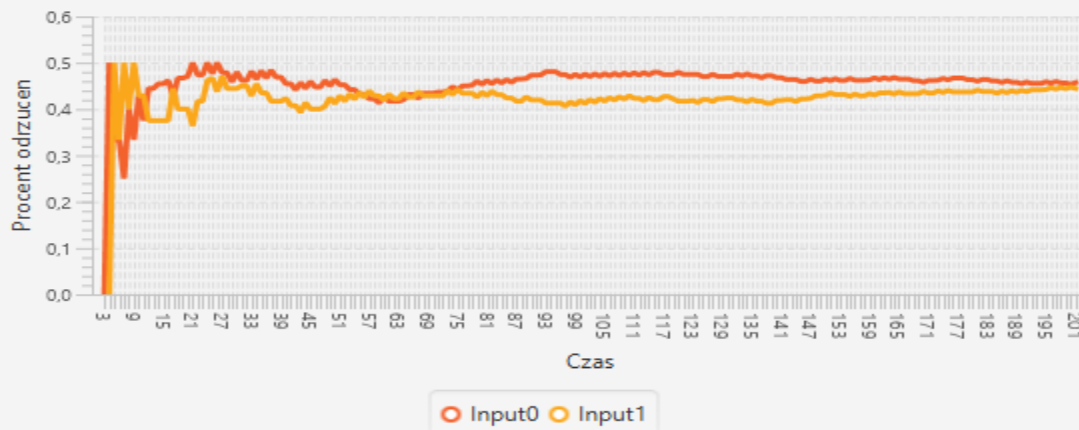
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wyjsciowy



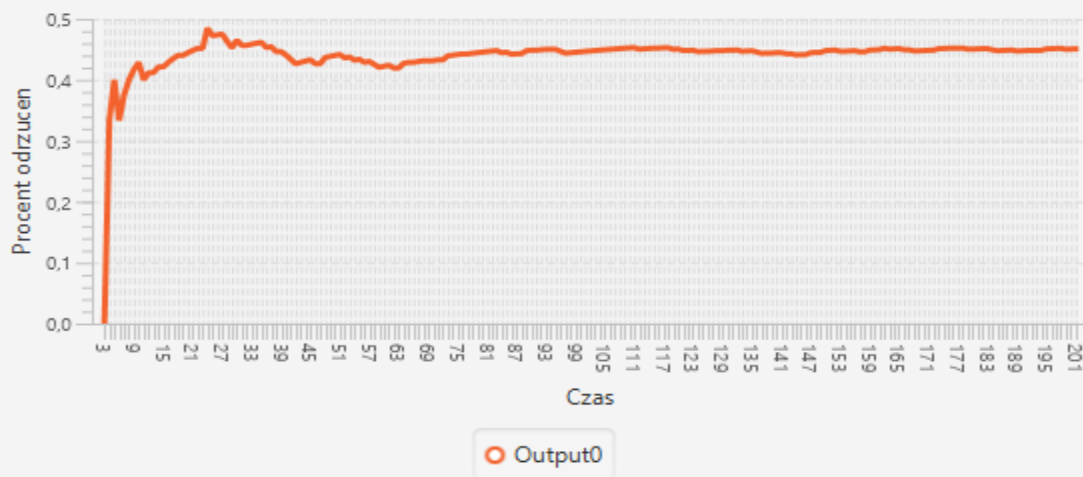
Srednie opoznienie ze wzgledu na rozmiar pakietu

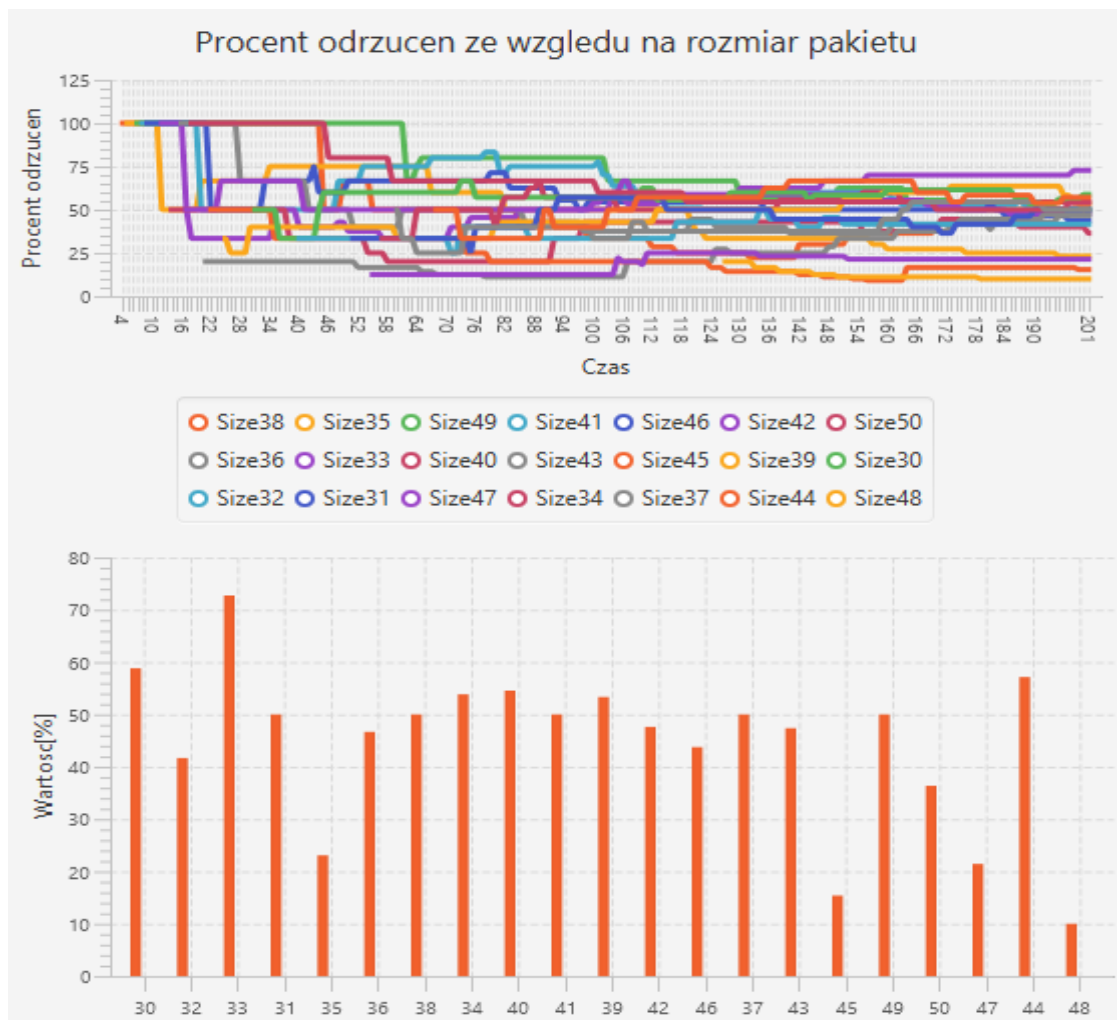


Procent odrzucen ze wzgledu na port wejscowy

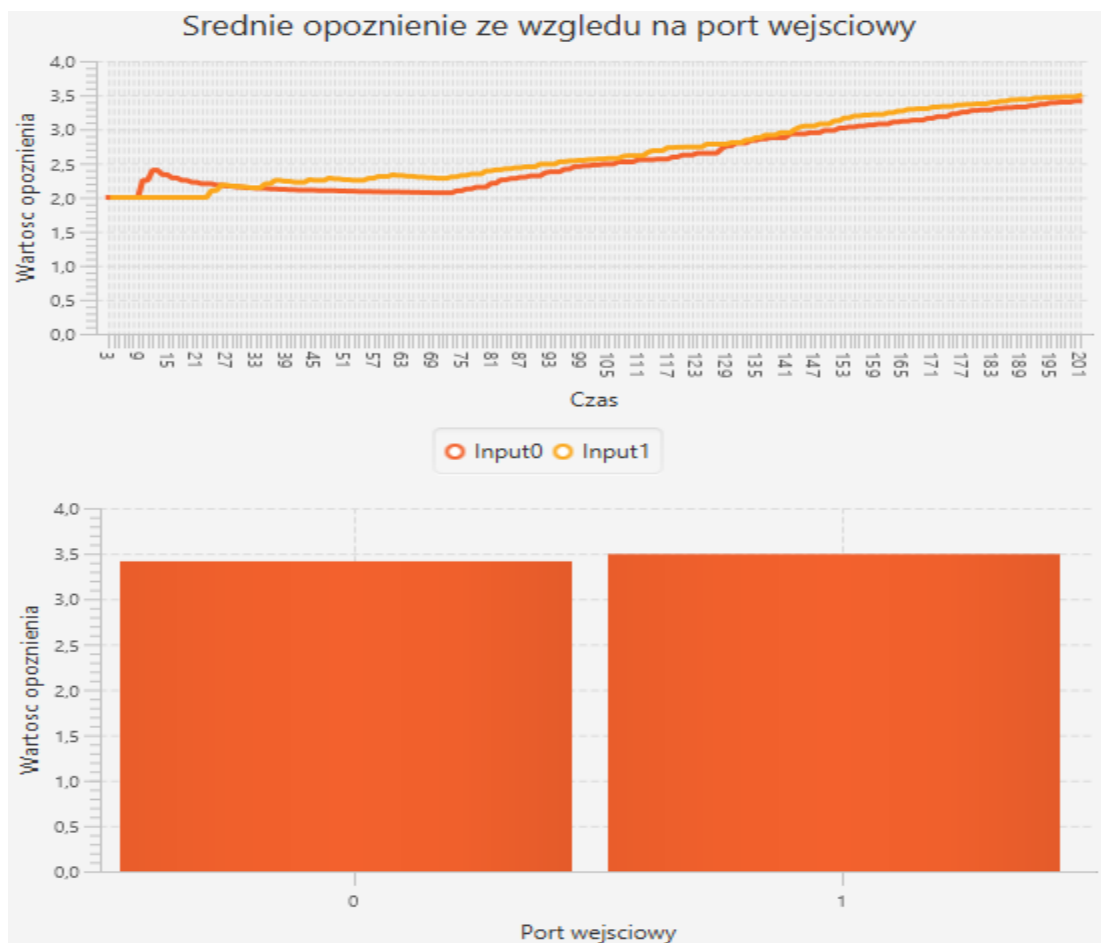


Procent odrzucen ze wzgledu na port wyjsciowy

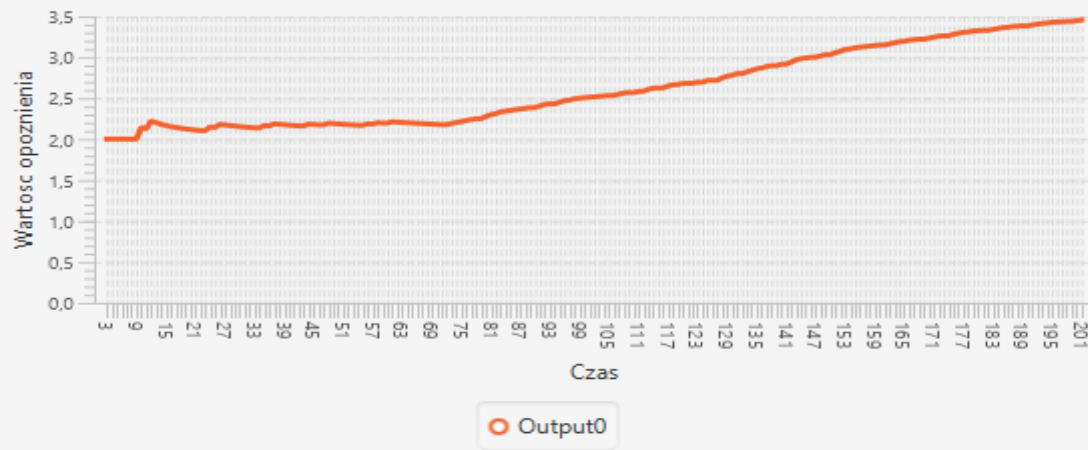




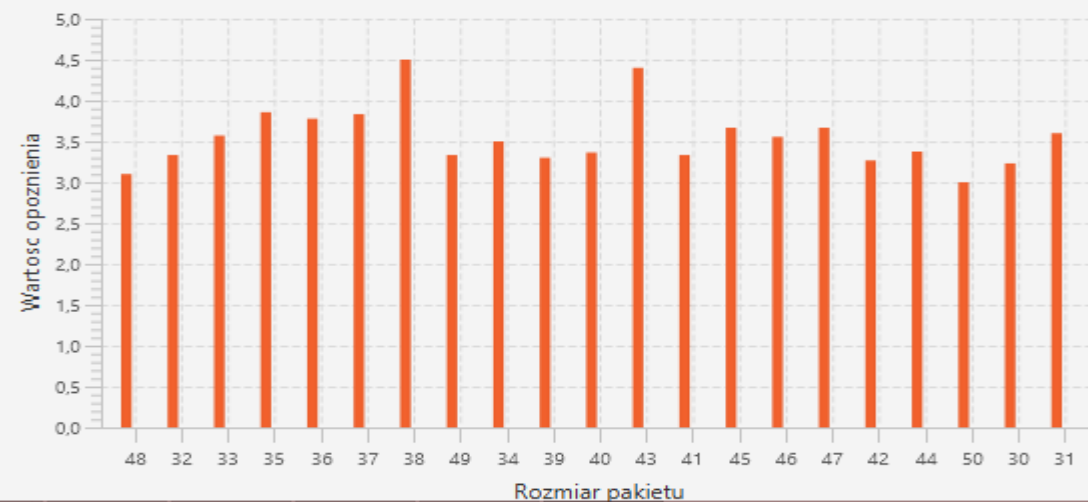
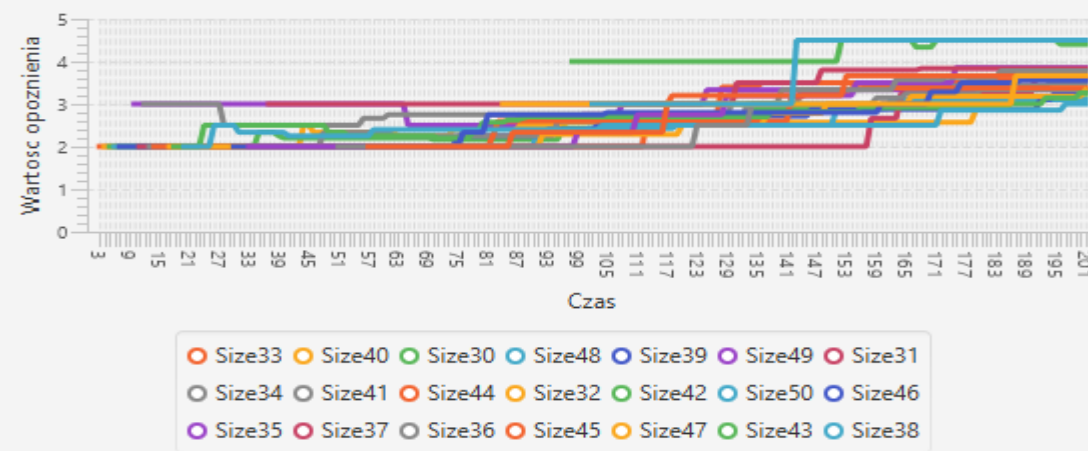
Rysunek 10 Wyniki doświadczenia dla obciążenia 10%



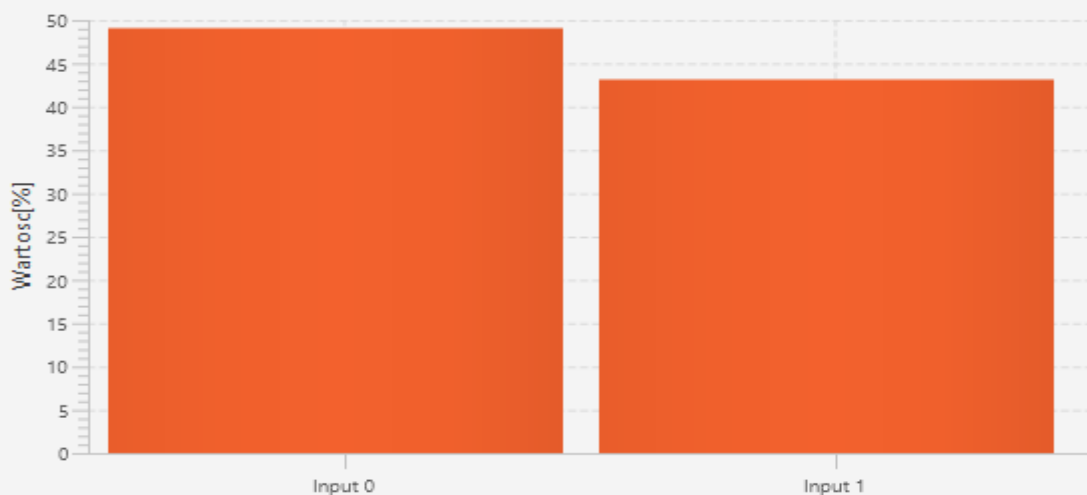
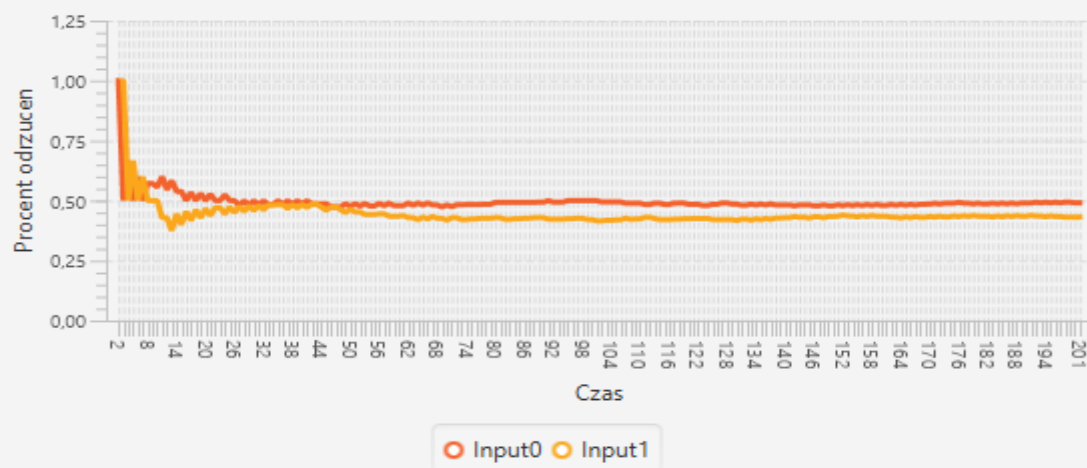
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wyjsciowy



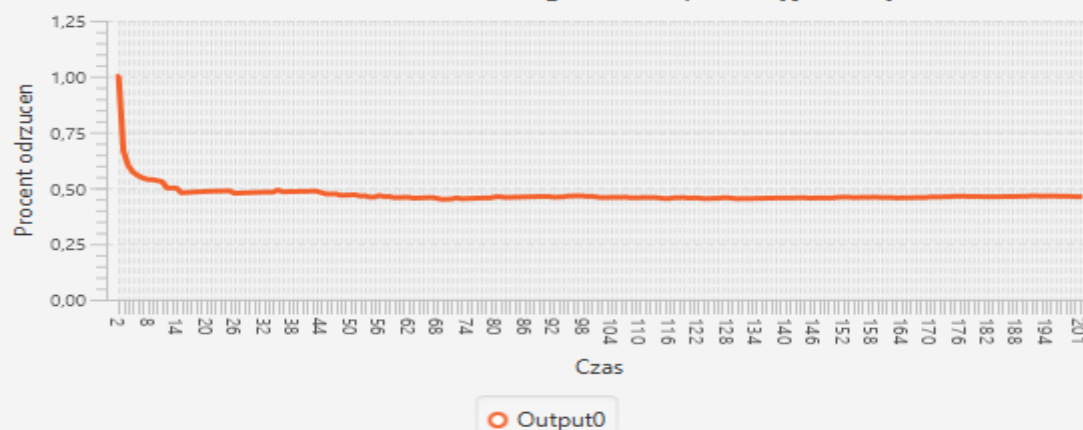
Srednie opoznienie ze wzgledu na rozmiar pakietu

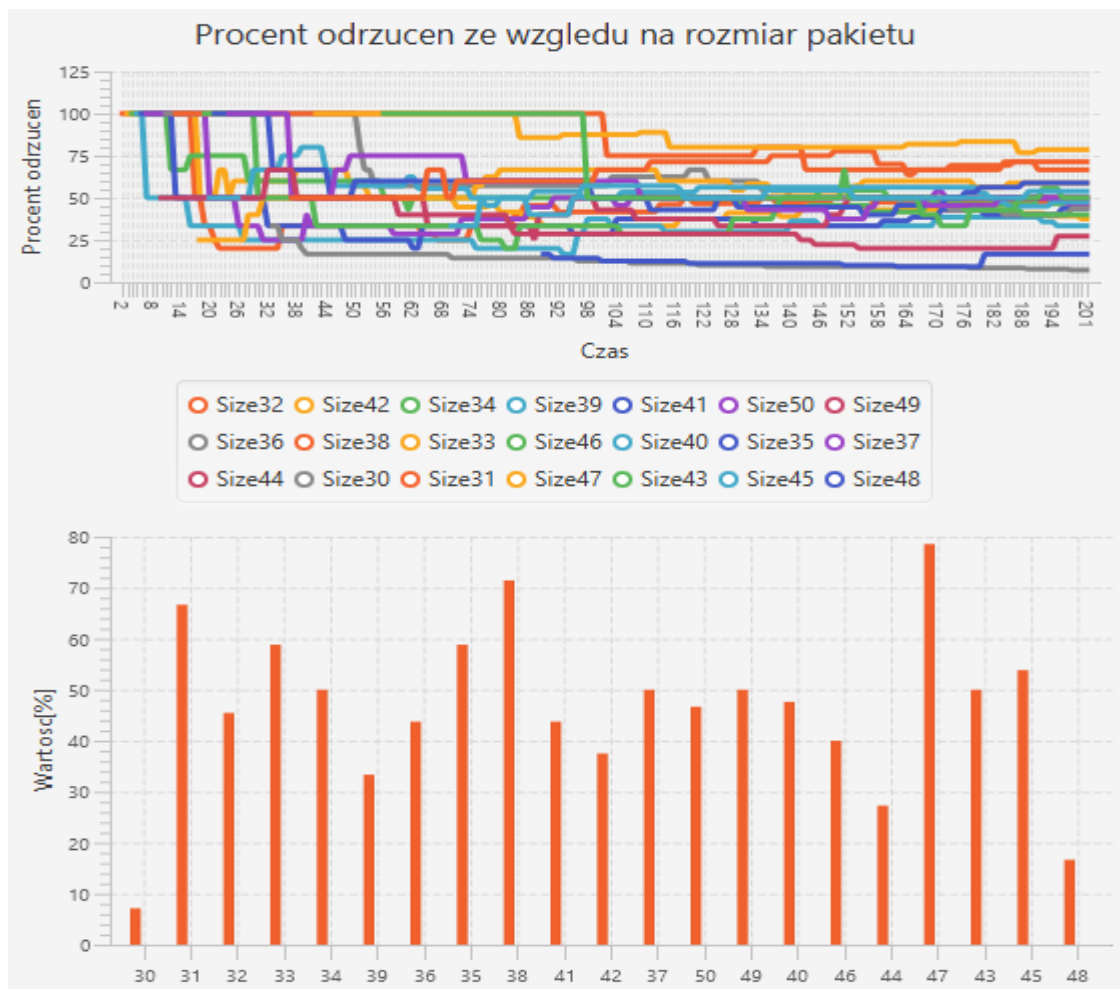


Procent odrzucen ze wzgledu na port wejscowy



Procent odrzucen ze wzgledu na port wyjscowy





Rysunek 11 Wyniki doświadczenia dla obciążenia 90%

Wnioski

Wyniki badań potwierdzają przypuszczenie odnośnie wpływu obciążenia urządzeń wyjściowych na pracę switch'a. Nieoczekiwany jednak jest charakter tego wpływu. Okazało się, że nawet przy 50% szansy na bycie zajęтым nie powodowało to znacznych zmian w liczbie odrzuconych pakietów i ich opóźnieniu. Jednak od wartości 75% nastąpił nagły wzrost opóźnienia przy niewielkiej zmianie liczby odrzuceń. Przy wartości 90% wzrost obydwu wielkości był już znaczny. Co ciekawe we wszystkich przypadkach procent odrzuceń był właściwie stały i utrzymywał się na jednym poziomie, natomiast opóźnienie zmieniło charakter ze stałej wartości do ciągle wzrastającego w sposób liniowy.

Przełącznik z wirtualnym kolejkowaniem wyjściowym

Wzmocniony ruch sieciowy

Badanie miało na celu stwierdzenie, czy ten typ przełącznika charakteryzuje się innym zachowaniem w obliczu dużego natężenia ruchu sieciowego w porównaniu z przełącznikiem o zwykłym kolejkowaniu wejściowym. Podobnie jak w przypadku przełącznika o kolejkowaniu wejściowym warunki doświadczenia były identyczne tj. Przełącznik wyposażony został w cztery porty wejściowe oraz cztery porty wyjściowe. Prawdopodobieństwa pojawienia się pakietów były równe 75%. Za rozmiar komórki przyjęto 10, a pakiety losowano z przedziału $\langle 5, 10 \rangle$. Rozmiar kolejek ustalono na 50. Każde wyjście wyposażono w łącze o przepustowości 100, a prawdopodobieństwo, że w danej chwili urządzenie wyjściowe jest zajęte wyniosło 25%. Każda symulacja trwała 200 iteracji.

Wyniki zebrano w tabelach 10-14.

Tabela 10 Wynik pierwszego powtórzenia eksperymentu

I	WEJŚCIA				WYJŚCIA			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Odrzucone pakiety [%]	0,0	0,0	1,3	3,6	3,1	0,9	0,0	0,7
Średnie opóźnienie	5,2	5,4	10,0	10,2	8,8	7,4	7,6	10,4

Tabela 11 Wyniki drugiego powtórzenia eksperymentu

II	WEJŚCIA				WYJŚCIA			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Odrzucone pakiety [%]	1,4	0,0	2,7	0,0	0,7	0,0	1,3	1,9
Średnie opóźnienie	11,0	11,5	12,0	10,0	11,0	9,5	12,0	11,0

Tabela 12 Wyniki trzeciego powtórzenia eksperymentu

III	WEJŚCIA				WYJŚCIA			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Odrzucone pakiety [%]	2,1	6,9	4,3	1,2	2,1	7,7	3,6	0,6
Średnie opóźnienie	9,7	14,0	15,2	11,5	14,0	15,0	11,0	9,5

Tabela 13 Wyniki czwartego powtórzenia eksperymentu

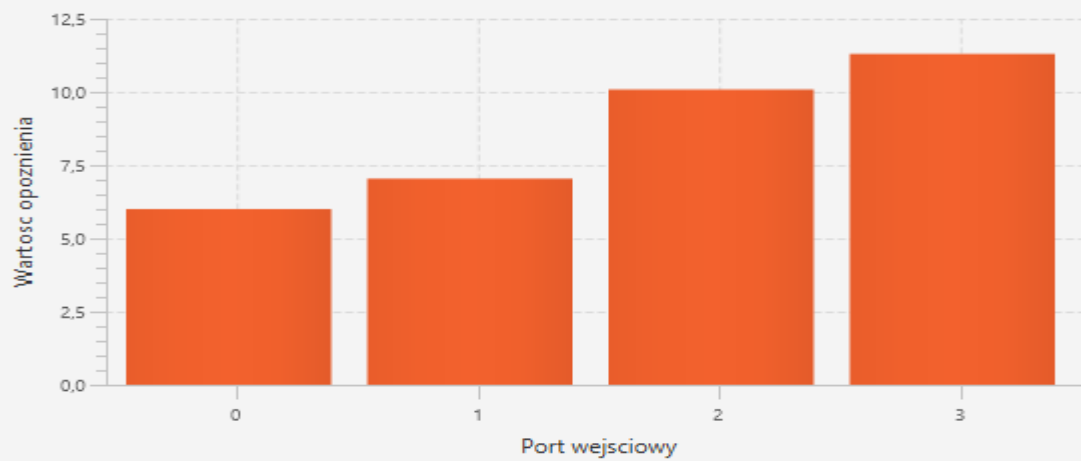
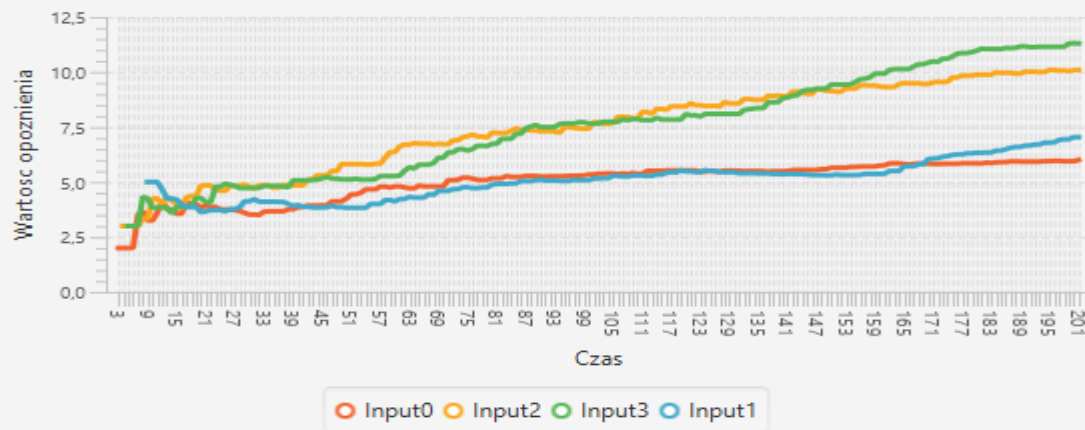
IV	WEJŚCIA				WYJŚCIA			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Odrzucone pakiety [%]	0,6	1,4	0,0	0,0	0,7	1,3	0,0	0,0
Średnie opóźnienie	8,5	8,5	8,0	11,5	8,2	9,0	11,2	7,8

Tabela 14 Średnie wyniki eksperymentu

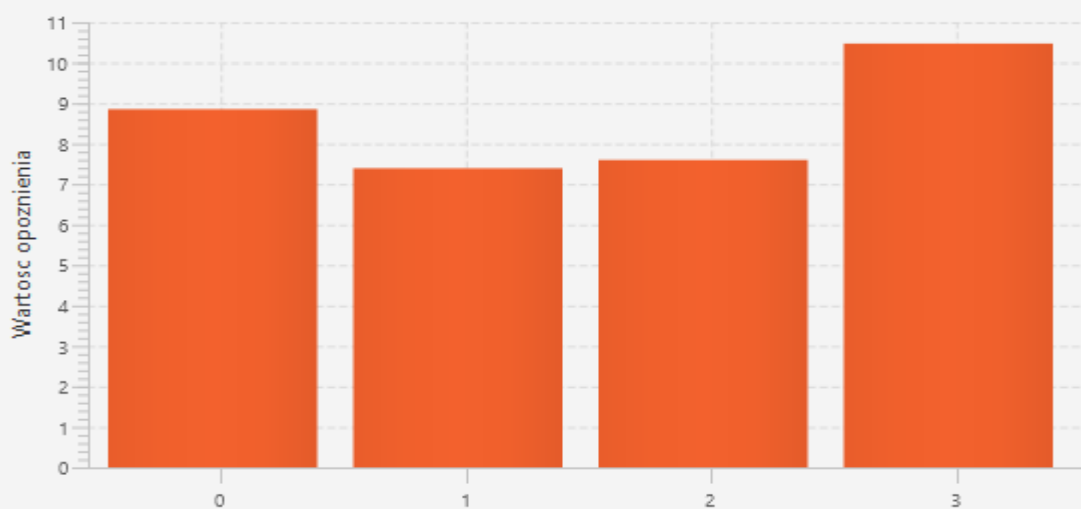
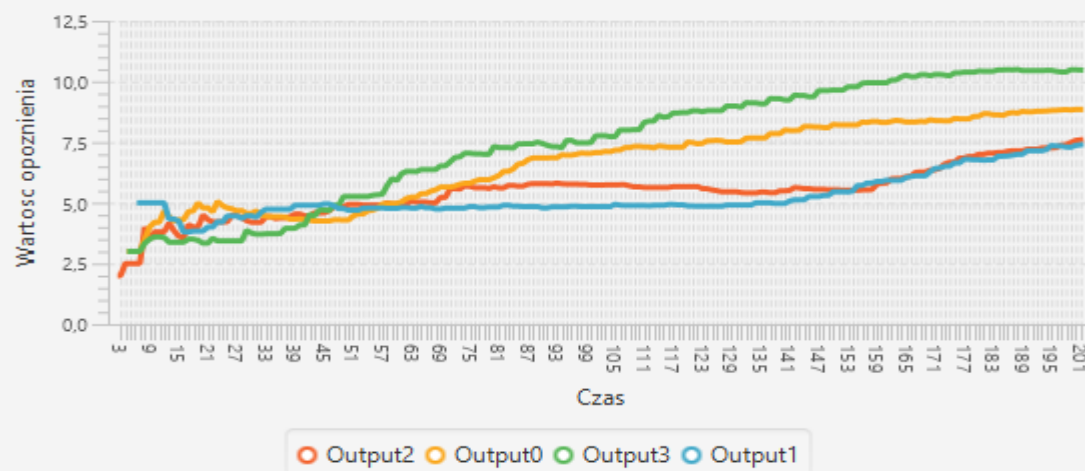
ŚREDNIA	WEJŚCIA				WYJŚCIA			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Odrzucone pakiety [%]	1,0	2,1	2,1	1,2	1,7	2,5	1,2	0,8
Średnie opóźnienie	8,6	9,9	11,3	10,8	10,5	10,2	10,5	9,7

Poniższe rysunki zawierają wyniki symulacji uzyskane dla jednego z powtórzeń badania.

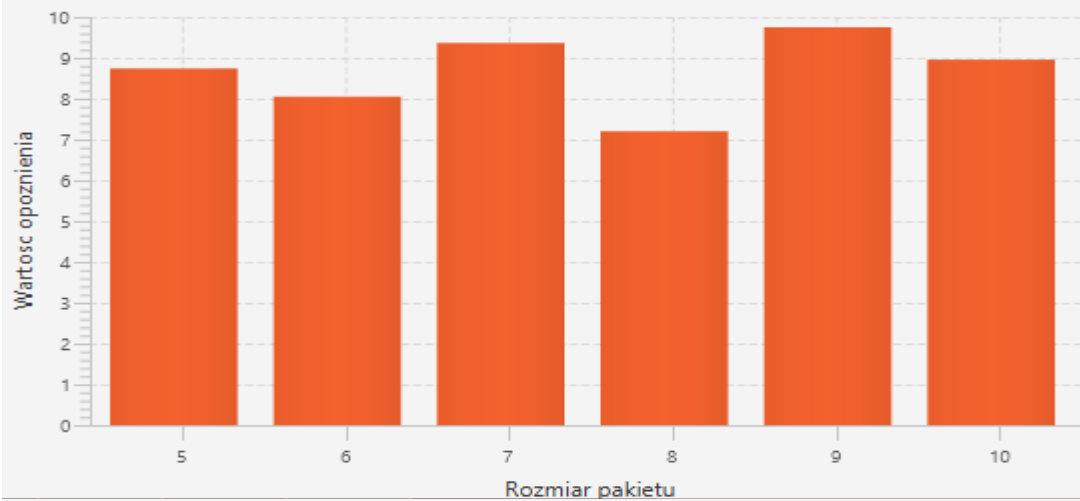
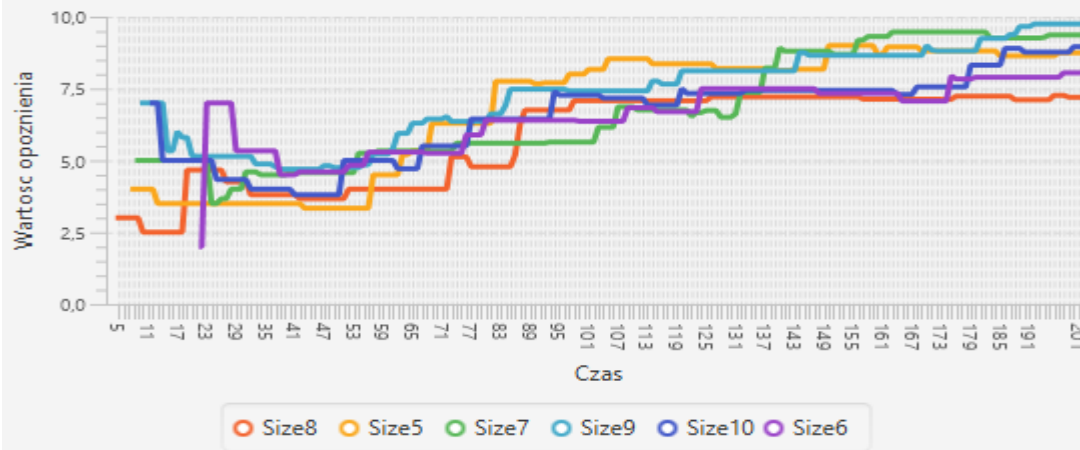
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wejscowy



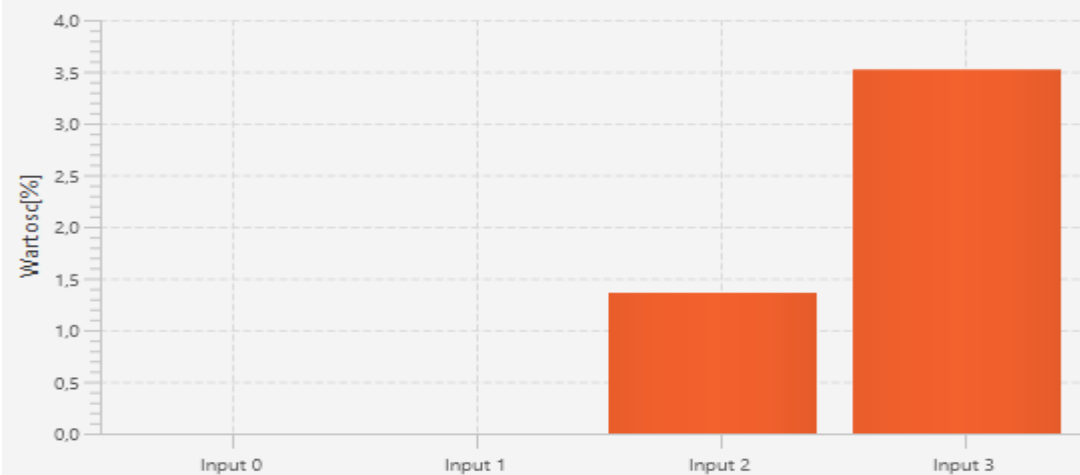
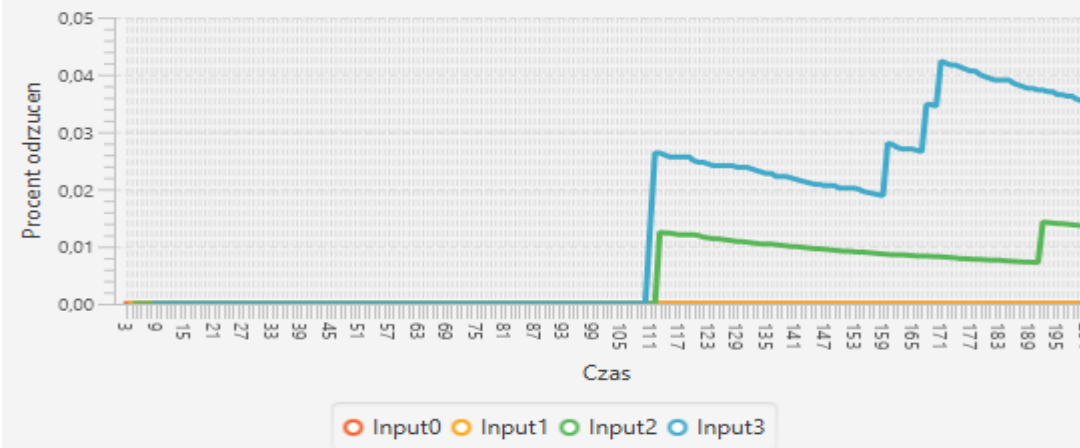
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wyjscowy

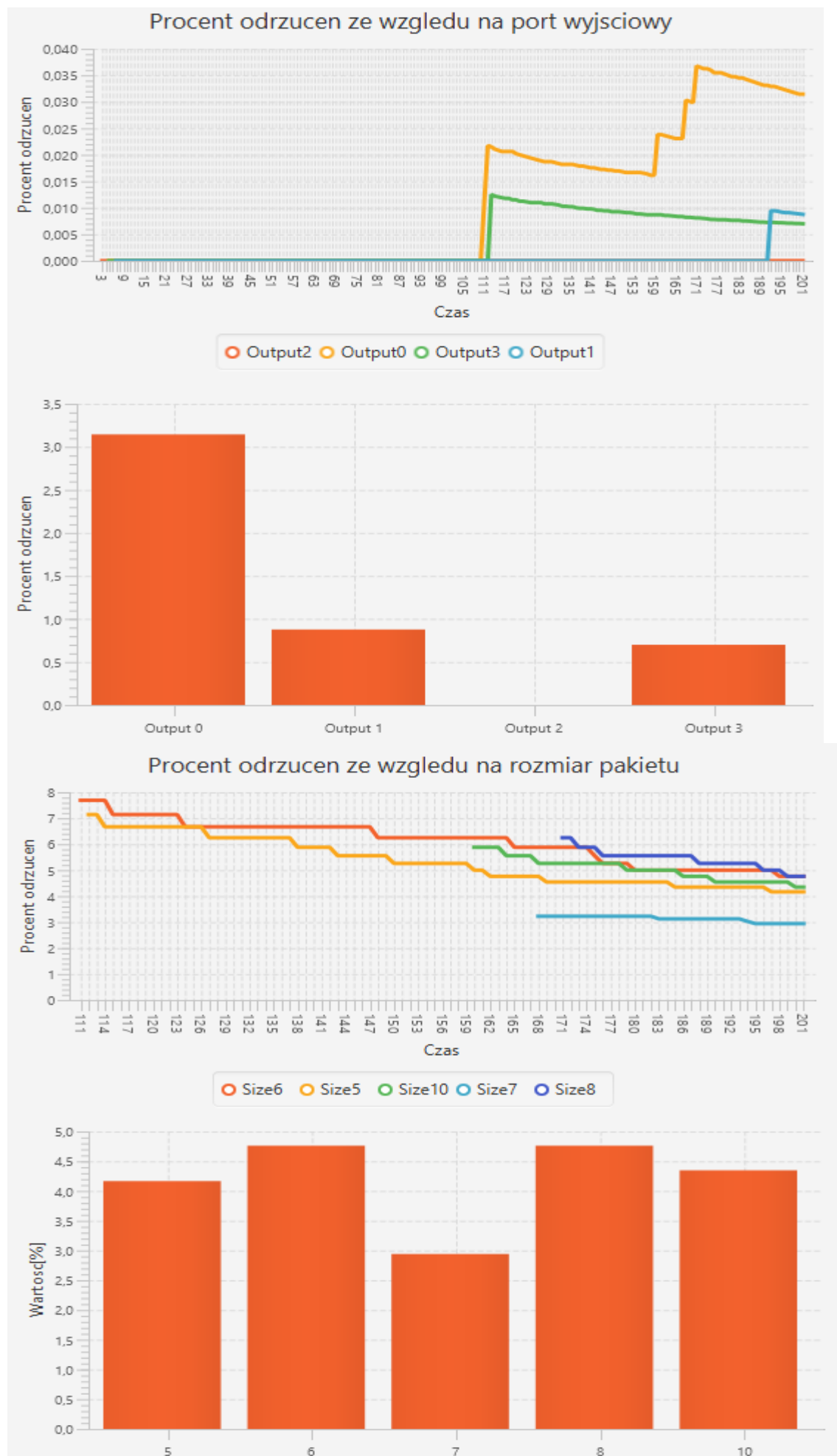


Srednie opoznienie ze wzgledu na rozmiar pakietu



Procent odrzucen ze wzgledu na port wejscowy





Rysunek 12 Wyniki jednego z powtórzeń doświadczenia

Wnioski

Uzyskane wyniki są bardzo ciekawe. O ile średnie opóźnienie pozostało mniej więcej takie samo - na poziomie około 11%, o tyle liczba odrzuceń pakietów zmalała nieporównywalnie – do około 2%, gdy w przełączniku z kolejkowaniem wyjściowym wynosiła ona około 25-30%. Stały poziom opóźnień można próbować tłumaczyć identyczną prędkością przesyłania pakietów przez przełącznik, natomiast zmniejszona liczba odrzuceń jest zapewne efektem sumarycznego zwiększenia pojemności kolejek – w przypadku switch'a z kolejkowaniem VOQ każde wejście miało cztery dedykowane kolejki (po jednym na każde wyjście), co sumarycznie dawało czterokrotnie większy rozmiar kolejki w porównaniu ze zwykłym kolejkowaniem wyjściowym.

Wpływ rozmiaru kolejek wejściowych

Niniejsze badanie miało na celu sprawdzenie wpływu wielkości kolejek wejściowych na pracę przełącznika z wirtualnym kolejkowaniem wyjściowym. Symulacje trwały 200 iteracji, szansa na pojawienie się pakietu wynosiła 75%. Rozmiar komórki wynosił 50. Pakiety miały rozmiary losowane z przedziału $\langle 10, 50 \rangle$. Przepustowość łącza wyniosła 1000, a p-stwo obciążenia urządzeń wyjściowych – 1%. W badanym przełączniku pracowały dwa porty wejściowe oraz dwa wyjściowe. Rozmiary kolejek wynosiły odpowiednio: 50, 100, 150.

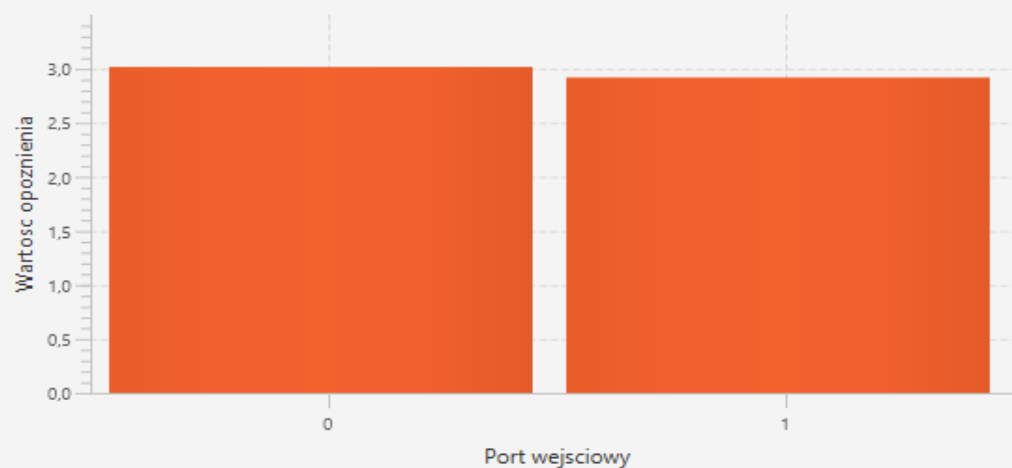
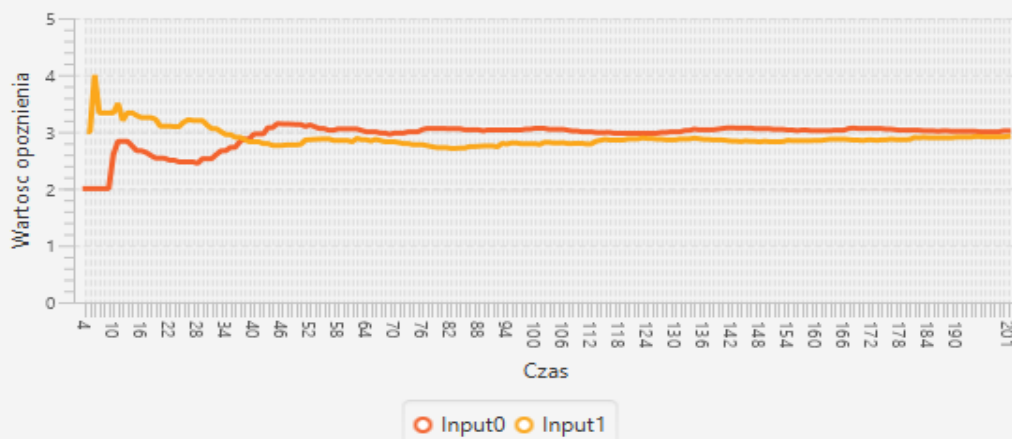
Poniższa tabela zawiera wyniki doświadczenia.

Tabela 15 Wyniki badania wpływu rozmiaru kolejek

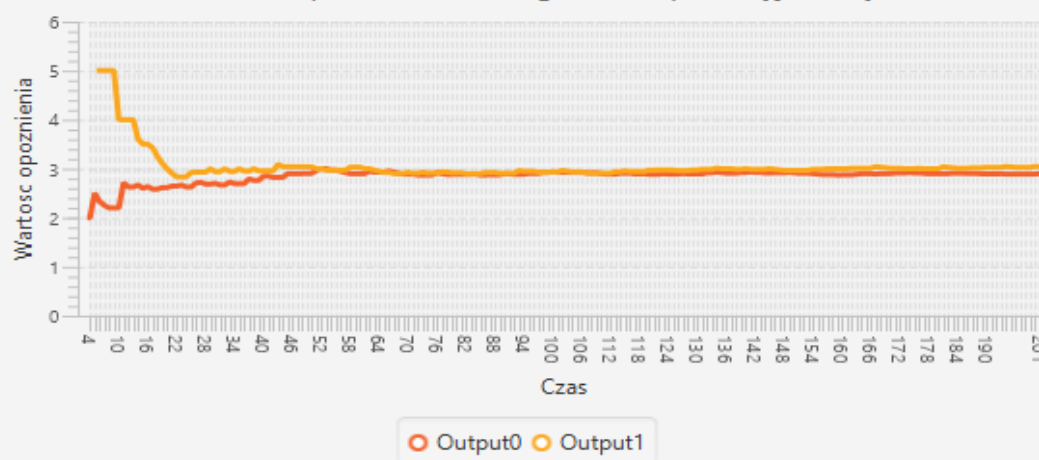
		Rozmiar kolejek		
		50	100	150
Odrzucone pakiety [%]	Wejście 1	22,0	2,8	0,0
	Wejście 2	24,5	1,4	0,0
	Wyjście 1	25,0	0,7	0,0
	Wyjście 2	21,0	3,3	0,0
Średnie opóźnienie	Wejście 1	3,0	3,4	3,1
	Wejście 2	2,9	3,4	3,7
	Wyjście 1	2,9	3,4	3,3
	Wyjście 2	3,1	3,4	3,4

Poniższe zrzuty ekranu zawierają wyniki symulacji dla rozmiarów kolejek 50 i 150.

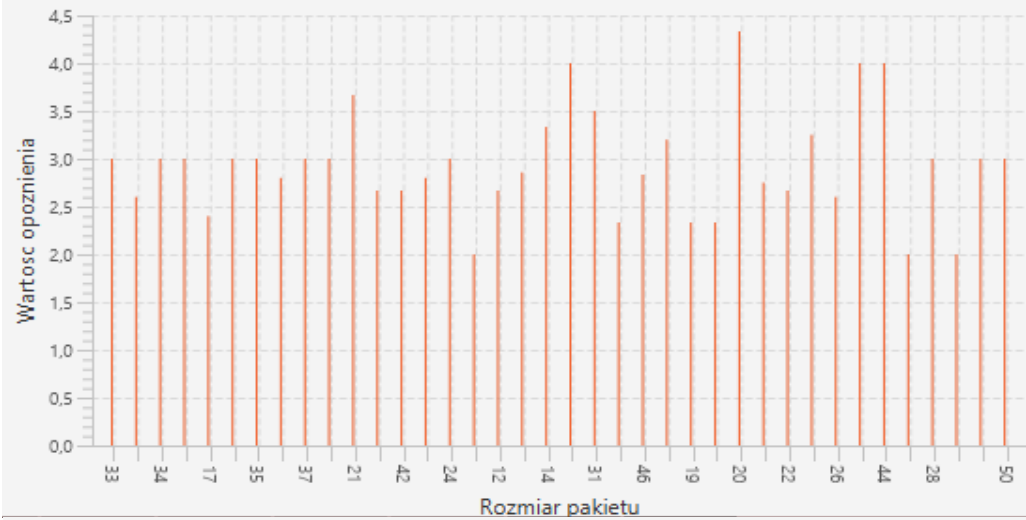
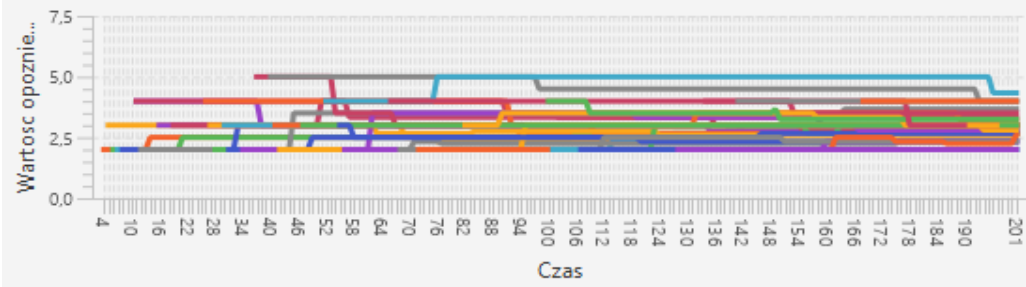
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wejsciu



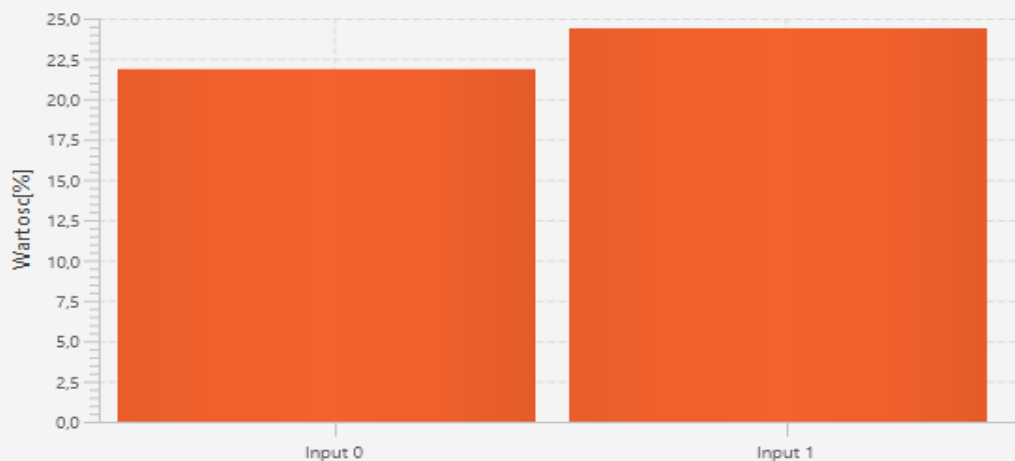
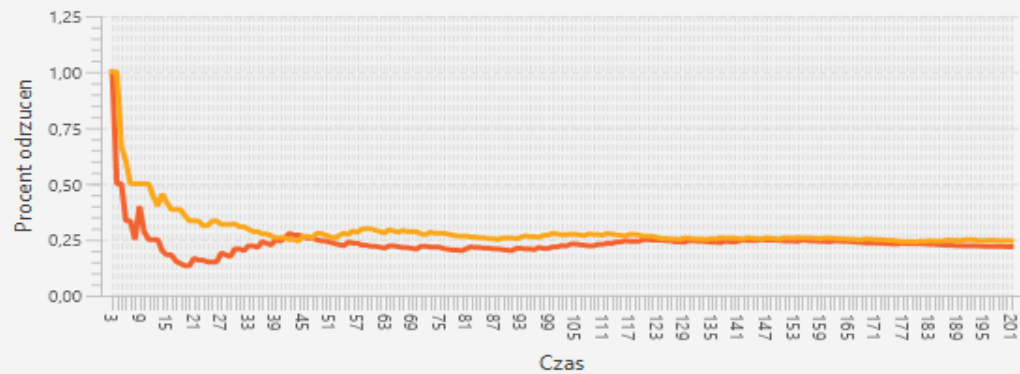
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wyjsciu

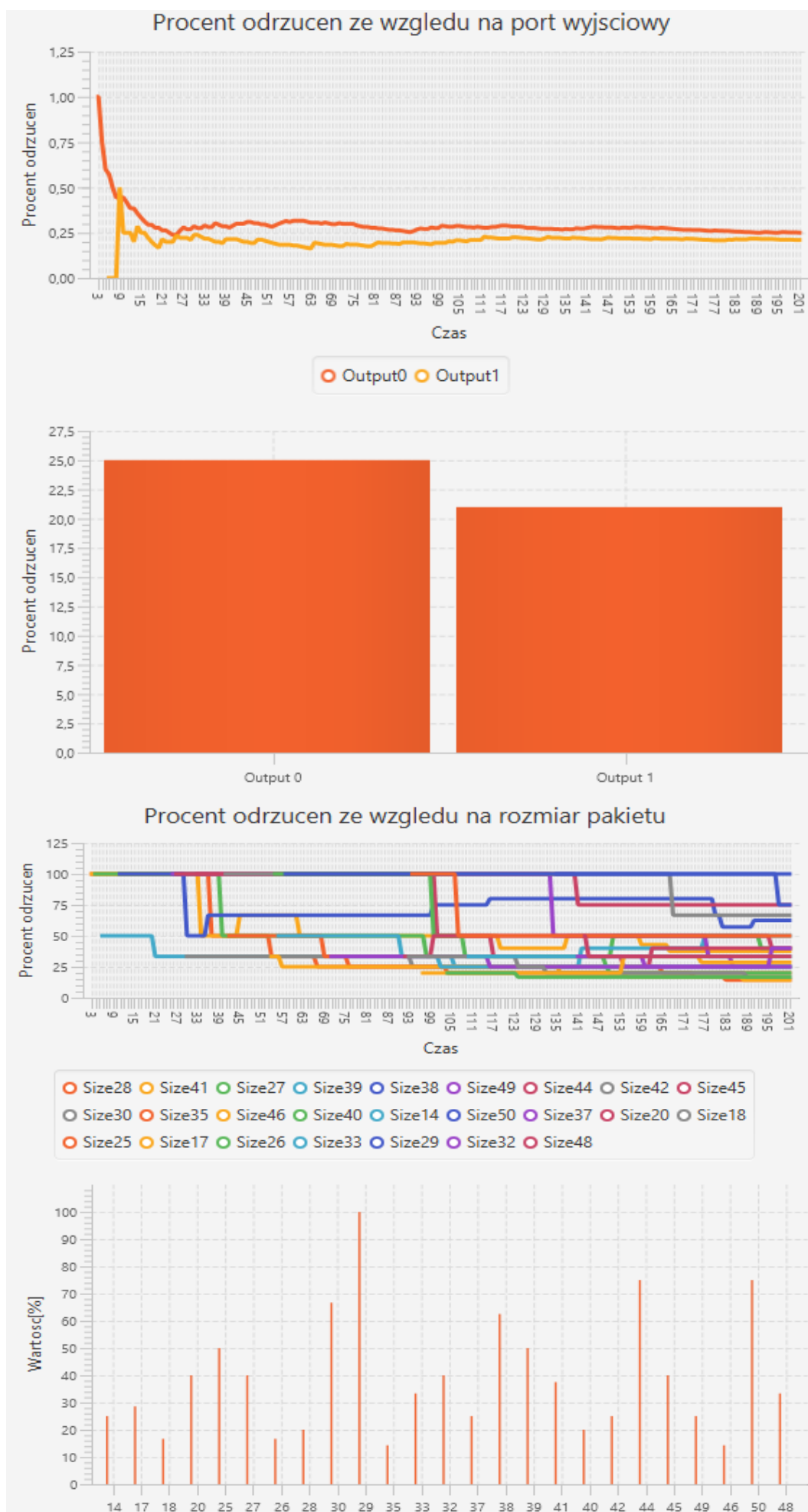


Srednie opoznienie ze wzgledu na rozmiar pakietu



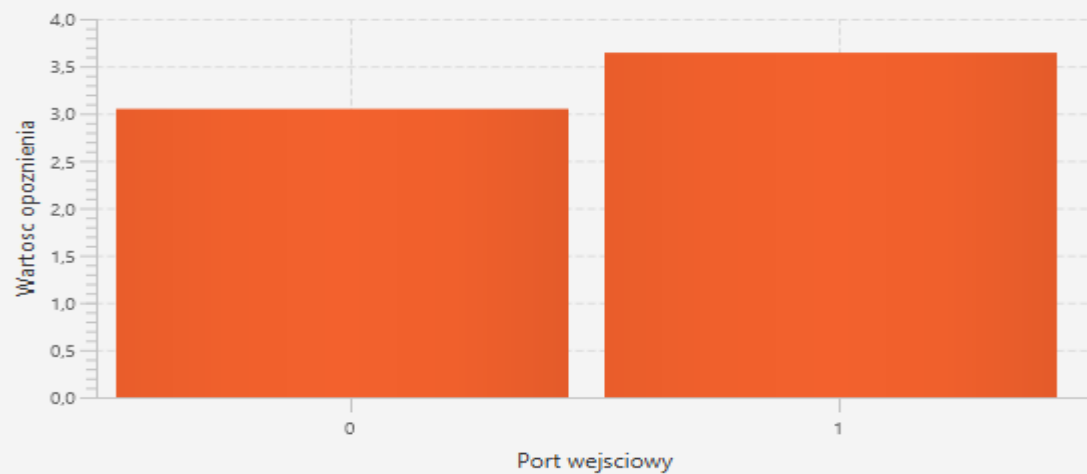
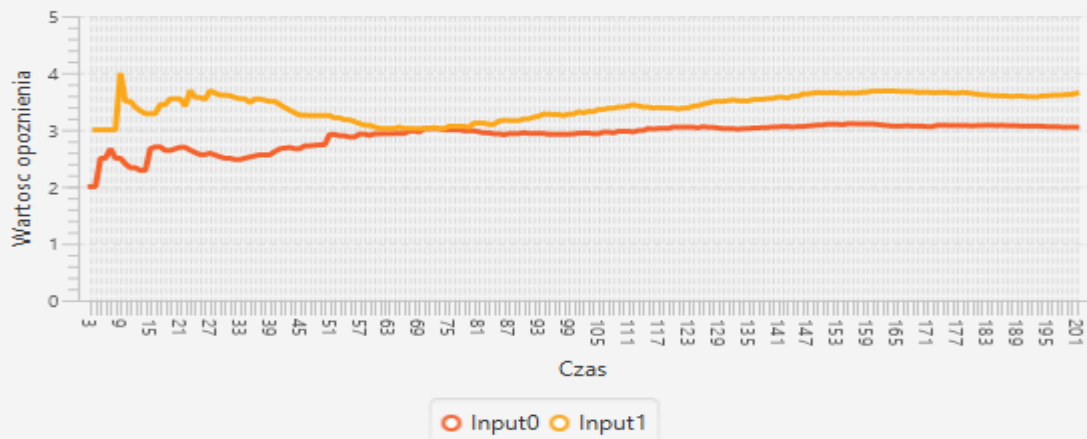
Procent odrzucen ze wzgledu na port wejscowy



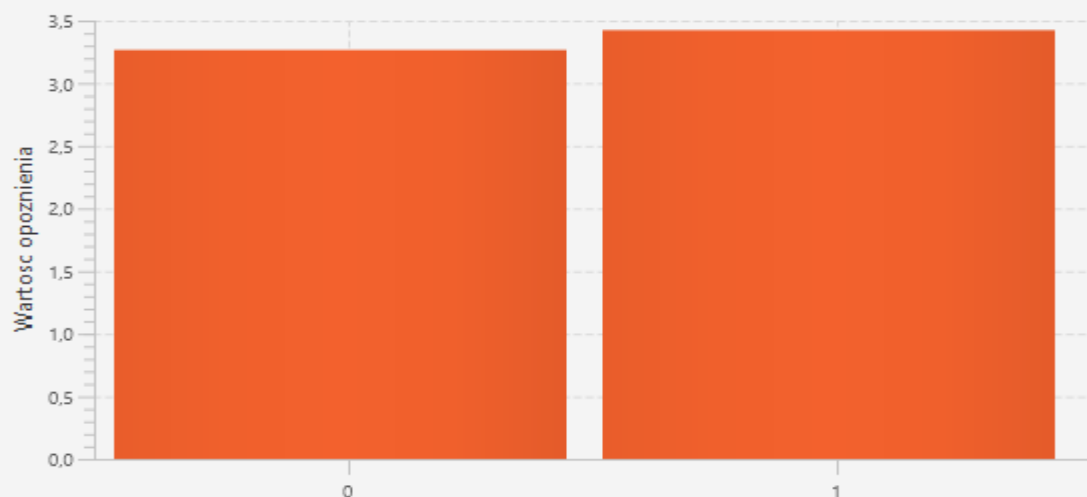
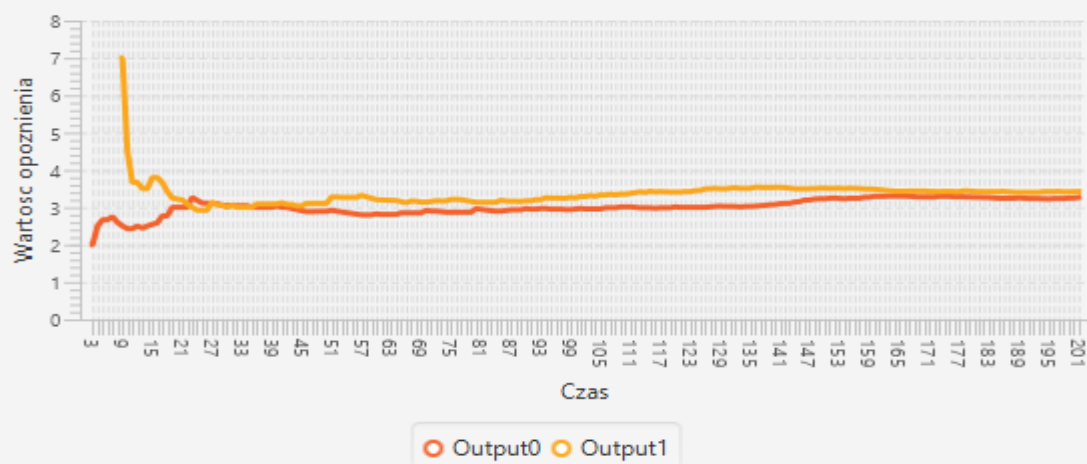


Rysunek 13 Wyniki symulacji dla rozmiaru kolejki równej 50

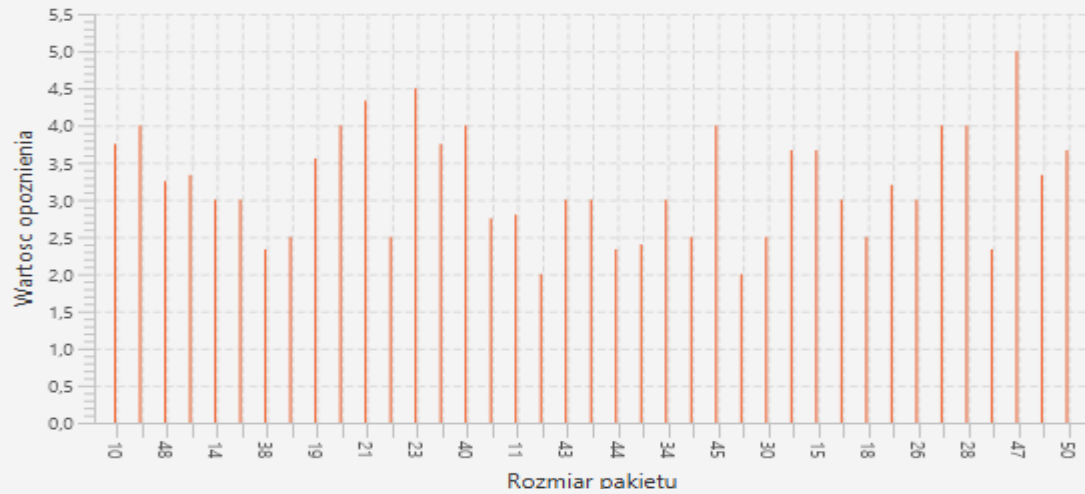
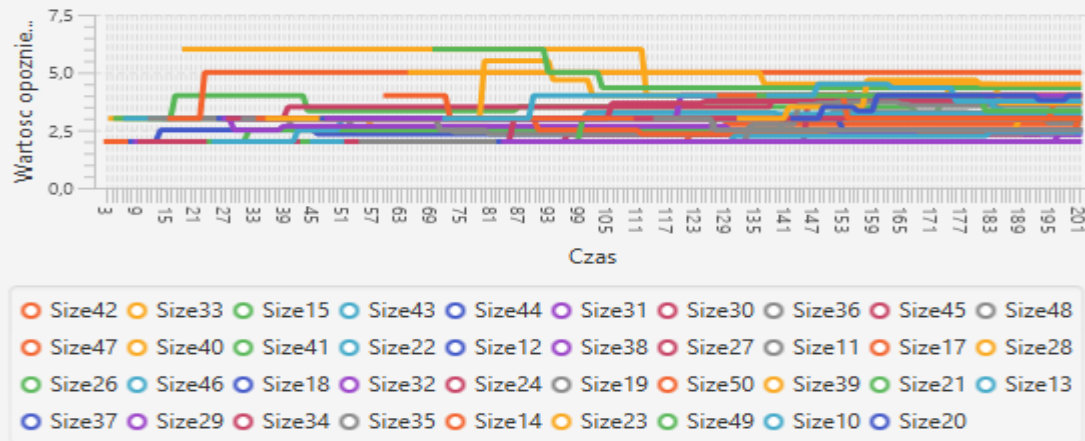
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wejscowy



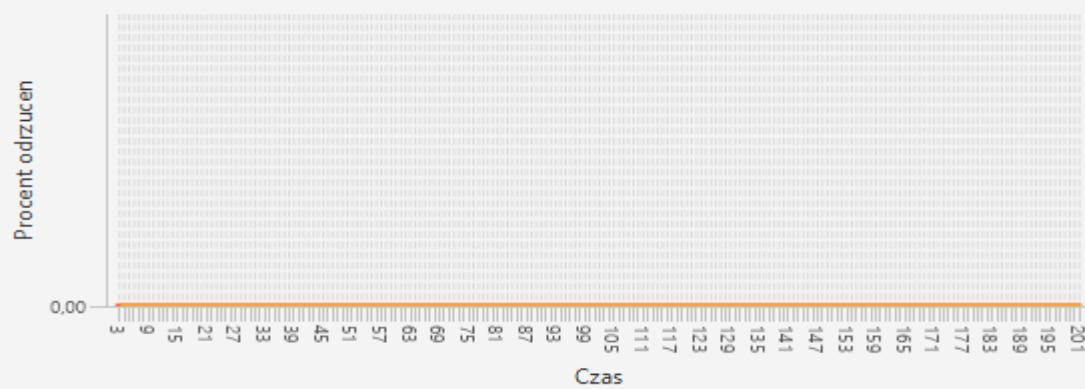
Srednie opoznienie ze wzgledu na port wyjscowy

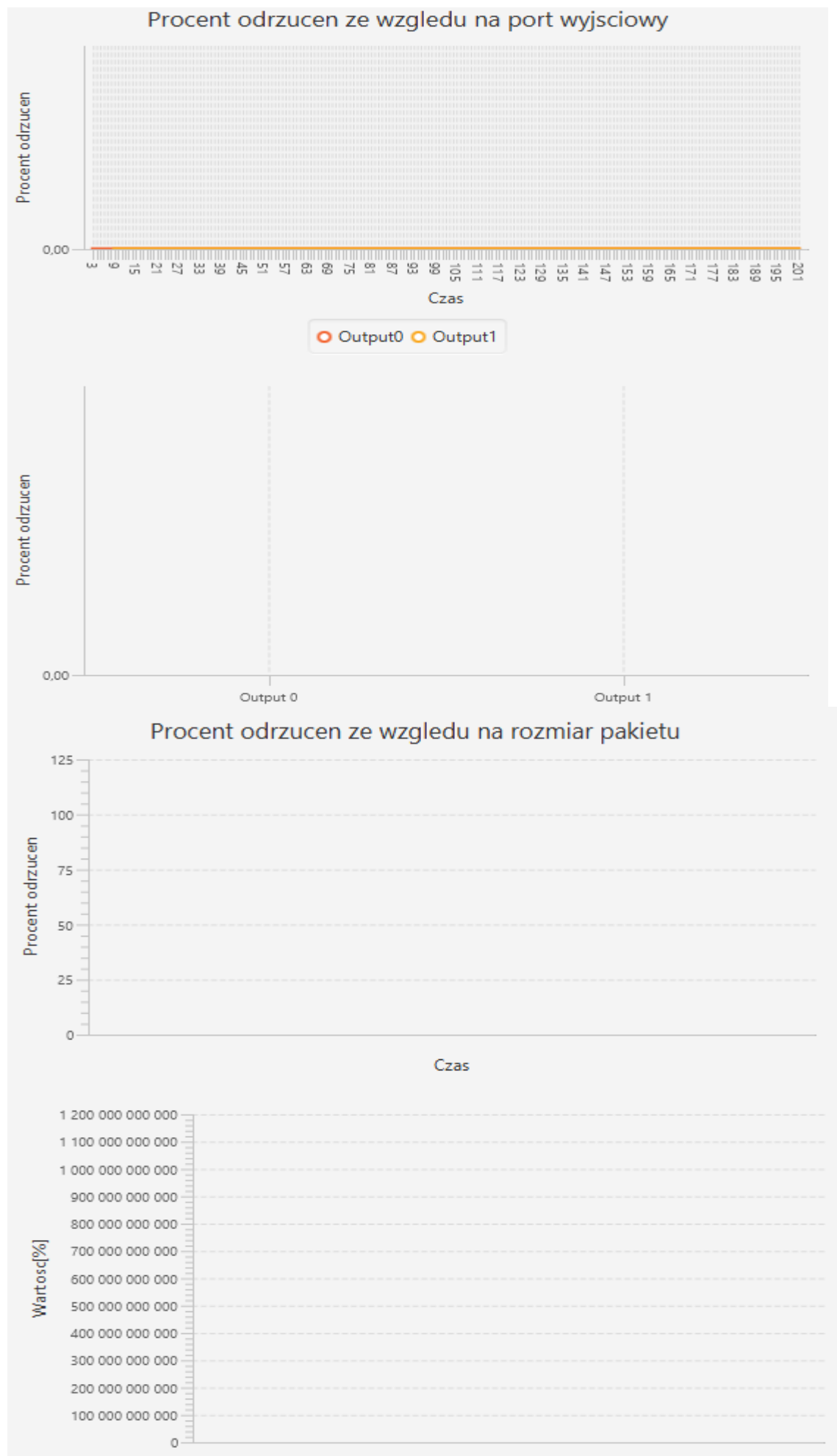


Srednie opoznienie ze wzgledu na rozmiar pakietu



Procent odrzucen ze wzgledu na port wejscowy





Rysunek 14 Wyniki doświadczenia dla rozmiaru kolejki równego 150

Wnioski

W badaniu udało się stwierdzić, że zwiększenie rozmiaru kolejek powoduje znaczny spadek liczby odrzuceń pakietów. Początkowo badanie miało zostać wykonane dodatkowo dla wartości 200 oraz 250, ale już przy wartości 150 okazało się, że dalsze zwiększanie rozmiaru kolejek nie ma większego sensu, gdyż osiągnięta została granica – przełącznik nie odrzucał pakietów, a wartość opóźnienia nie zmieniała się znacząco względem poprzednich pomiarów – osiągnęła minimum.

Podsumowanie

Cele projektu zostały zrealizowane, a badania potwierdziły, użyteczność symulatora. Wyniki badań potwierdziły opisane w literaturze problemy różnych rodzajów przełączników sieciowych, a wnioski płynące z badań mogą stanowić wskazówkę do sformułowania kryteriów zakupu przełączników przy budowie rzeczywistej sieci. Przypadek symulacji problemu N-krotnego przyśpieszenia pokazuje jednak, że symulator nie jest idealny – jest tylko modelem, i należy wyniki zawsze poddać rewizji z innymi źródłami literaturowymi, jak i doświadczeniem projektantów sieci. Należy także pamiętać, że wraz z polepszaniem parametrów przełącznika rosną koszty jego budowy, które w symulacjach nie są oczywiście uwzględnione, więc np. zwiększenie rozmiaru komórki oznacza zwiększenie przepustowości kratownicy, która to jest najdroższym elementem przełącznika. Takie samo rozumowanie przenosi się na rozmiary kolejek – rozmiary pamięci itp.

Podsumowując – uzyskane efekty są zadowalające, jednak narzędzie powinno w dalszym ciągu być rozwijane, aby być bardziej użytecznym.

Bibliografia

- [1] Opalka Z., Aggarwal V., Kong T., Firth C., Costantino C., *"System architecture for and method of processing packets and/or cells in common switch"*, Malboro, 2001
- [2] Trevitt S., Grant R., Book D., *"Low latency shared memory switch architecture"*, Broomfield, 2000
- [3] Wang Q., Gopalakrishnan S., *"Adapting a Main-Stream Internet Switch Architecture for Multihop Real-Time Industrial Networks"*, IEEE, 2010
- [4] Chao H., *"Saturn: A Terabit Packet Switch Using Dual Round-Robin"*, IEEE, New York, 2000
- [5] Stephens Z., Zhang H., *"Implementing Distributed Packet Fair Queueing in a Scalable Switch Architecture"*, IEEE, 1998