

## Metodyka badań wydajności małych routerów

### *The Research Methodology for Small Routers Efficiency*

Tomasz Długosz<sup>1</sup>, Radosław Wróbel<sup>2</sup>

**Treść.** „Małe” routery można obecnie spotkać w prawie każdej (małej lub średniej) firmie. Do ich najważniejszych funkcji należy podział łącza, NAT, DHCP, a czasami w przypadku bardziej zaawansowanych użytkowników także listy dostępu. Oczywiście coraz nowsze urządzenia oferują coraz większą moc obliczeniową (szybszy routing) oraz coraz większą ilość zaawansowanych (czasami ukrytych) funkcji, takich jak DDNS, 802.11n, serwer wydruku, etc. Należy dodatkowo zauważyć pozytywną cechę, polegającą na relatywnie małych cenach tych urządzeń w stosunku do oferowanych technologii czy usług. Autorzy w niniejszym artykule przedstawiają doświadczalną metodykę badania wydajności routerów do zastosowań domowych. Praca w znacznej mierze została oparta na pracy dyplomowej inż. Mariusza Kozłowskiego pt. „Analiza wydajności routerów do zastosowań domowych” (praca została obroniona z wyróżnieniem w dniu 21 kwietnia 2011).

**Słowa kluczowe:** router, wydajność routera, TCP, IP.

**Abstract.** „Small” routers are nowadays presented in almost all (small or middle) company. Their most important functions are split of connection, NAT, DHCP, and in case of intermediate users access lists. Of course a new devices are offered higher computational power (faster routing) and bigger quantity of intermediate (sometimes hidden) functions such as DDNS, 802.11n, jet print, etc. It is necessary to distinguish a positive feature, relayed on devices small prices in comparison to offered technology and services. Authors in this article are presented an experimental methodology of researches in efficiency of small routers. Work in majority was based on diploma Eng. Mariusz Kozłowski “The analysis of home routers efficiency” (the diploma was presented 21 April 2011)

**Keywords:** router, router efficiency, TCP, IP

### 1. Wstęp

Małe routery umożliwiają budowę lokalnej sieci komputerowej (zwykle zaopatrzone są w kilkuportowy switch) w oparciu o medium przewodowe i bezprzewodowe. Dostawcy Internetu oferują ciągle rosnące przepustowości łącza, co zwiększa wymagania stawiane routerom użytkowników. Chcąc wykorzystać pełną przepustowość wykupionego łącza, stosowany router musi umożliwiać przesył danych z oczekiwanym pasmem. Przeprowadzona analiza routerów pozwoli ocenić ich wydajność oraz pokazać jej zróżnicowanie dla różnych modeli. Wyniki takich badań mogłyby stanowić punkt odniesienia dla osoby planującej zakup routera.

W niniejszym artykule wydajność rozumiana jest jako skuteczna przepustowość przesyłanych danych (*ang. effective throughput*). Oznacza ona ilość przesłanych danych w określonej jednostce czasu. Stosowaną jednostką jest Mb/s.

Do przeprowadzenia analizy wydajności urządzeń niezbędne było zaprojektowanie metodyki badań. Testy przeprowadzono w oparciu o specjalistyczne oprogramowanie, opracowane metody pomiarowe oraz zaprojektowane topologie sieciowe. Wydajność routerów mierzona była w

transmisji opartej na dwóch protokołach transportowych – TCP i UDP. Pod kątem medium transmisyjnego stosowanego w sieci lokalnej analiza obejmuje osobno przesył danych z wykorzystaniem medium przewodowego i bezprzewodowego.

### 2. Router

Router to urządzenie sieciowe służące do łączenia sieci komputerowych. Jego głównym zadaniem jest proces zwany trasowaniem (*ang. routing*), czyli wyznaczaniem najlepszej trasy dla pakietów i przekazywanie ruchu sieciowego w ustalonym kierunku [1]. Generalnie router działa w trzech pierwszych warstwach (fizycznej, łącza danych, sieciowej) modelu ISO/OSI. Analizując każdy pakiet danych, podejmuje decyzję, do którego interfejsu wyjściowego go przekazać, w celu dalszej transmisji. Dokonuje tego porównując adres logiczny odbiorcy, znajdujący się w nagłówku pakietu z adresami sieci docelowych zapisanymi w tablicy routingu. Wyróżniamy routing statyczny i dynamiczny. W routingu statycznym trasy do sieci docelowych wprowadzane są ręcznie do tablicy routingu, natomiast routing dynamiczny oparty jest na protokołach

<sup>1</sup>Politechnika Wrocławska, Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki

<sup>2</sup>Wrocławska Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej, Wydział Informatyki

routingu. Za ich pomocą routery wymieniają między sobą informacje o trasach do sieci docelowych.

Routery będące obiektem badań przeznaczone są do zastosowań w domach lub niewielkich biurach. Służą przede wszystkim do budowy lokalnej sieci komputerowej oraz podziału łącza z dostępem do sieci Internet pomiędzy hostami w sieci LAN. Komputery w sieci lokalnej mogą zostać podłączone do routera za pomocą medium przewodowego i bezprzewodowego. Umożliwia to wbudowany w urządzenie przełącznik oraz punkt dostępowy sieci bezprzewodowej.

Routery do zastosowań domowych konfiguruje się przez przeglądarkę internetową. W pasku adresu należy wpisać lokalny adres IP routera, po czym zalogować się poprzez podanie loginu i opcjonalnie hasła. Interfejsy konfiguracji urządzeń są zaprojektowane z myślą o niezaawansowanych użytkownikach, menu z dostępnymi opcjami są wykonane czytelnie. Częstym zabiegiem ułatwiającym konfigurację jest krótkie wytłumaczenie zastosowania danej opcji.

### 3. Typowe funkcje, technologie i protokoły

Poniżej przedstawiono najważniejsze cechy małych routerów. Jak wspomniano, wachlarz parametrów jest ciągle rozszerzany, wraz ze wzrostem możliwości technologicznych fabryk producentów sprzętu.

1. Czteroportowy przełącznik. Wbudowany w router 4-portowy przełącznik (*ang. switch*) umożliwia podłączenie czterech komputerów za pomocą kabla typu skrętka zakończonych wtykami RJ-45. Komputery te tworzą lokalną sieć komputerową, mogą przysyłać między sobą dane nie posiadając dostępu do sieci Internet. Przełącznik to urządzenie sieciowe działające w warstwie pierwszej i drugiej modelu ISO/OSI, kieruje ruchem na podstawie adresów MAC zawartych w nagłówku warstwy łącza danych [2]. Dzięki wbudowanemu przełącznikowi znika konieczność stosowania osobnego urządzenia tego typu, co dla użytkownika domowego jest znacznym udogodnieniem.

2. Punkt dostępowy sieci bezprzewodowej. Punkt dostępu sieci bezprzewodowej WLAN (*ang. Wireless Local Area Network*) to centralny nadajnik i odbiornik, który wymienia dane z hostami w sieci poprzez fale radiowe [3]. W przeciwieństwie do połączeń kablowych, zalety takiego rozwiązania to wygodny dostęp do sieci dla komputerów przenośnych oraz łatwa instalacja.

3. NAT. Komunikacja w sieciach komputerowych TCP/IP opiera się obecnie na adresacji IP w wersji 4. Każdy host chcący połączyć się z Internetem musi posiadać unikatowy adres IP. Ze względu na ciągły wzrost komputerów przyłączanych do sieci oraz ograniczoną pulę adresów IP w wersji 4, opracowano nowy schemat adresacji IP w wersji 6 [2]. Jednak jego implementacja jest procesem długoterminowym, dlatego powstało rozwiązanie zastępcze, czyli NAT (*ang. Network Address Translation*). Idea NAT polega na przydzieleniu np. firmie jednego adresu IP, dzięki któremu możliwa będzie komunikacja z Internetem. Me-

chanizm NAT służy do translacji prywatnych adresów IP na adresy zewnętrzne [2]. Kiedy pakiety opuszczają sieć wewnętrzną mechanizm NAT przekształca je na zewnętrzny adres IP przydzielony przez dostawcę Internetu. Umożliwia tym samym dostęp do sieci Internet komputerom znajdującym się w sieci wewnętrznej. Każdy z nich widoczny jest „na zewnątrz” pod jednakowym adresem IP. NAT musi być zaimplementowany na granicy sieci wewnętrznej z publiczną, a takim miejscem jest router.

4. Serwer DHCP. Serwer DHCP przydziela hostom w sieci lokalnej pełne dane konfiguracyjne wymagane do komunikacji, czyli adres IP, maskę podsieci, adres bramy oraz adresy serwerów DNS [4]. Dzięki temu nie ma konieczności wpisywania ich ręcznie na każdym urządzeniu. Adresy dla klientów sieci przydzielane są z ustalonej puli. Po podłączeniu do sieci, komputer kliencki rozgłasza żądanie o przypisanie adresu IP. W odpowiedzi serwer wysyła dane konfiguracyjne, które są dzierżawione na określony przedział czasu. Po jego upływie adres jest zwalniany lub w razie ciągłego użycia dzierżawa jest odnawiana [4].

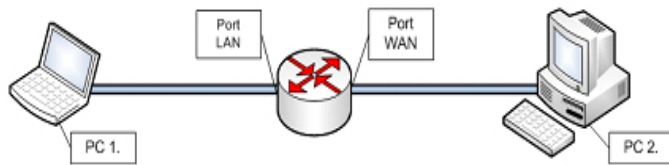
5. Firewall. Zapora sieciowa (*ang. Firewall*) to mechanizm kontroli dostępu do sieci zabezpieczający przed nieautoryzowanym dostępem spoza sieci. Rolę zapory sieciowej spełnia router łączący sieć prywatną z publiczną. Routery przeznaczone do zastosowań domowych wyposażone są w dwa typy zapór sieciowych: filtrujących pakiety (stosowane w starszych urządzeniach) i badające stan pakietów [4].

6. Przekierowanie portów. Przekierowanie portów (*ang. port forwarding*) to proces wykonywany przez mechanizm PAT. Umożliwia nawiązanie połączenia przez komputer z sieci zewnętrznej, np. Internetu, z komputerem w sieci LAN znajdującym się za PAT'em. Wszystkie zapytania przychodzące z sieci zewnętrznej na przekierowany port danej usługi będą kierowane do wskazanego adresu IP. Przekierowanie portów umożliwia np. uruchomienie publicznego serwera WWW w sieci LAN lub korzystanie z gier on-line.

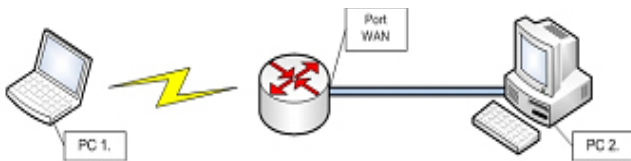
7. DMZ – Strefa zdemilitaryzowana. Włączenie funkcji DMZ (*ang. Demilitarized Zone*) dla danego komputera w sieci LAN powoduje kierowanie do niego całego ruchu przychodzącego z sieci zewnętrznej. Domyślnie przekierowywane są wszystkie porty na adres IP tego hosta. Zastosowanie ma to dla komputera, na którym uruchamiane są gry wykorzystujące dostęp do sieci Internet. Routery do zastosowań domowych oferują możliwość umieszczenia jednego komputera w strefie DMZ, podając w konfiguracji jego adres IP. Istota funkcji DMZ oferowanej w routerach jest jednak inna, niż zadanie strefy zdemilitaryzowanej w sieciach komputerowych. Jest to bowiem wydzielony obszar sieci znajdujący się poza zaporą sieciową, w którym umieszczane są hosty pełniące usługi zewnętrzne. Takie rozwiązanie zwiększa bezpieczeństwo chronionej sieci, ponieważ tylko strefa DMZ jest widoczna dla sieci wewnętrznej [4].

#### 4. Metodyka badań

W celu przeprowadzenia pomiarów wydajności routerów zostały zaprojektowane i wykorzystane trzy topologie sieci. Każda z topologii posiada różne warianty ze względu na dwa typy zastosowanego medium.



Rys. 1. Topologia metodyczna, wariant A

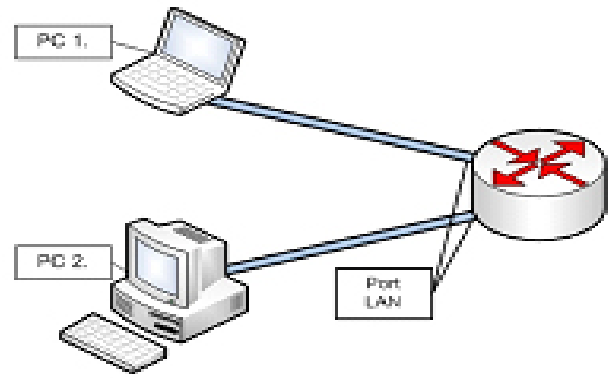


Rys. 2. Topologia metodyczna, wariant B

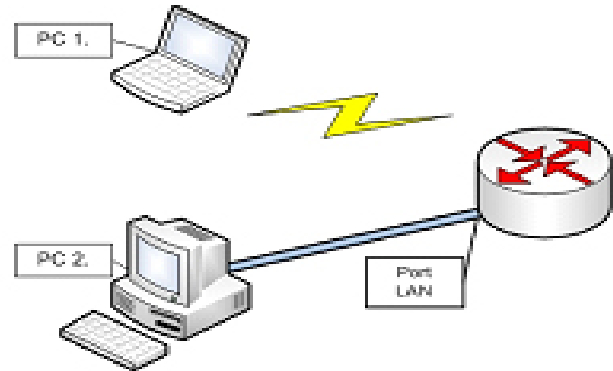
Medium przewodowym wykorzystanym w topologiach był kabel typu skrętka nieekranowana UTP (*ang. Unshielded Twisted Pair*) kategorii 5e, zakończona złączami RJ-45. Przesył danych odbywał się w technologii Fast Ethernet z pasmem 100 Mb/s. Połączenie bezprzewodowe wykonane w technologii bezprzewodowej w standardzie 802.11g w paśmie 54 Mb/s. Komputery wykorzystujące to połączenie znajdowały się w tym samym pomieszczeniu co router.

Pierwsza „grupa” topologia odwzorowuje połączenie sieci zewnętrznej WAN z wewnętrzną LAN. Zastosowane są dwie wersje tej topologii ze względu na rodzaj medium w sieci lokalnej. Wariant A przedstawia połączenie przewodowe komputera PC1 do portu LAN routera. W topologii B to samo połączenie jest wykonane w technologii bezprzewodowej. W obu przypadkach komputer PC2 podłączony jest za pomocą skrętki UTP do portu WAN routera. Pomiar opierający się na topologii pierwszej odwzorowuje transfer danych pomiędzy hostem w sieci lokalnej a serwerem w sieci Internet. Otrzymane wyniki określają wydajność mechanizmu routingu urządzeń, czyli przekazywania pakietów między sieciami.

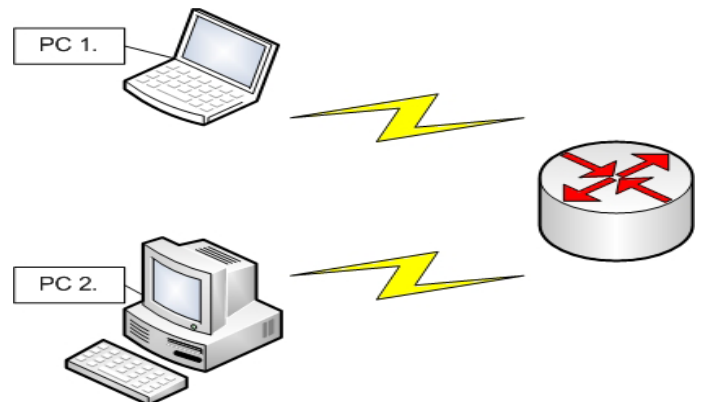
Druga „grupa” topologii to połączenie dwóch hostów w sieci lokalnej. Kolejne warianty różnią się rodzajem medium. W topologii C zastosowano tylko połączenie przewodowe, w D połączenie mieszane, E opiera się na medium bezprzewodowym. Pomiary, wykonane na podstawie tych topologii, posłużą do oceny wydajności mechanizmu przełączania pakietów.



Rys. 3. Topologia metodyczna, wariant C

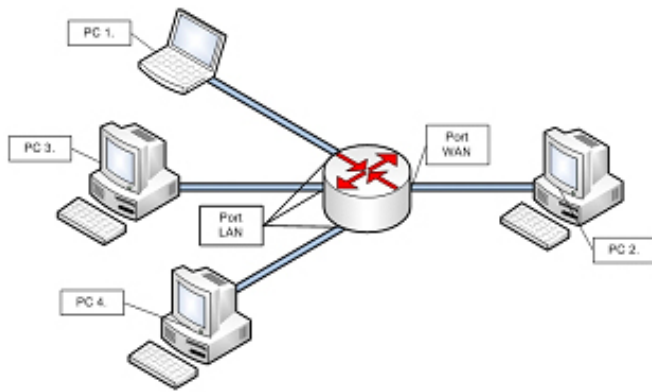


Rys. 4. Topologia metodyczna, wariant D

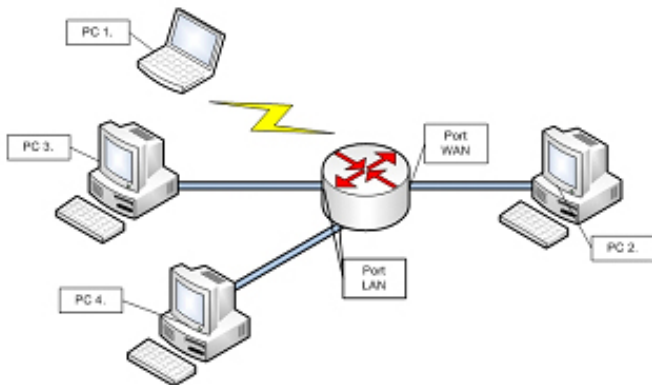


Rys. 5. Topologia metodyczna, wariant E

W trzeciej „grupie” topologii wykorzystano cztery komputery, trzy po stronie sieci lokalnej i jeden po stronie sieci zewnętrznej. Wariant F opiera się na medium przewodowym. Hosty PC1, PC3 i PC4 podłączone są do portów LAN routera, PC2 do portu WAN. W drugim przypadku, czyli G, PC1 podłączono do routera bezprzewodowo. Topologia trzecia posłuży do oceny wpływu dodatkowego ruchu w sieci lokalnej na wydajności testowanego urządzenia. Analogicznie do topologii pierwszej, pomiar ma miejsce między hostami PC1 i PC2, natomiast hosty PC3 i PC4 posłużą do generowania dodatkowego ruchu w sieci LAN.



Rys. 6. Topologia metodyczna, wariant F

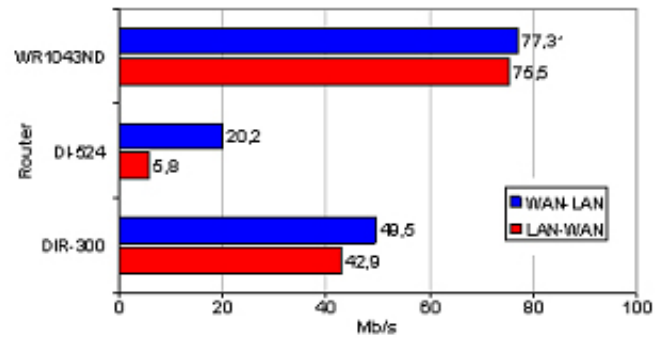


Rys. 7. Topologia metodyczna, wariant G

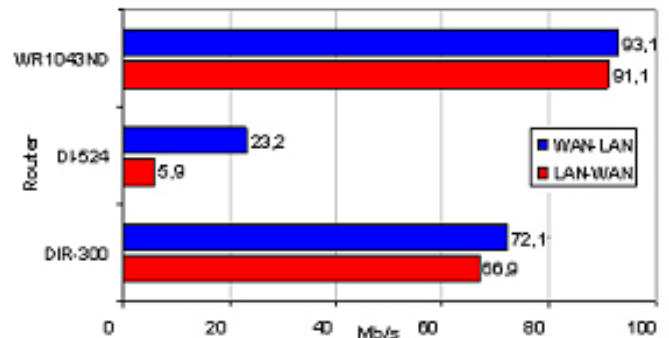
W każdym z testów porównawczych zastosowano ten sam schemat adresacji oraz te same urządzenia końcowe. Do testów wykorzystano otwarte oprogramowanie: Netperf 2.4, Performance Test 7, Wireshark (wszystkie trzy do badania przepustowości transferu), WinAgent TFTP i Apache http Server (służące do uruchomienia usług). W przypadku każdego z testów porównawczych pobierano te same pliki, opierając się o tą samą usługę.

## 5. Wyniki badań

Pierwszą serię badań oparto na masowym przesyłaniu przy wykorzystaniu protokołu TCP. Stosowano domyślny rozmiar wysyłanych wiadomości równy 8192 bajty. Rozmiar ten przekracza wielkość MTU sieci (1500 bajtów), dlatego w warstwie transportowej dane dzielone były na segmenty o wielkości 1460 bajtów. W drugim teście, opartym na protokole transportowym UDP, ustawiono wielkość transmitowanych danych na 1024 bajty. Domyślnie program wysyła wiadomości liczące 8192 bajty, co przekracza rozmiar MTU i powoduje segmentację danych w warstwie sieciowej. W takiej sytuacji pojawiał się problem. Otrzymywane wyniki były nieprawidłowe, ponieważ skuteczna szybkość przesyłania danych przekraczała teoretyczną maksymalną wartość dla użytej technologii transmisji. Pomiary wykonano trzykrotnie, zaokrąglając wynik końcowy.

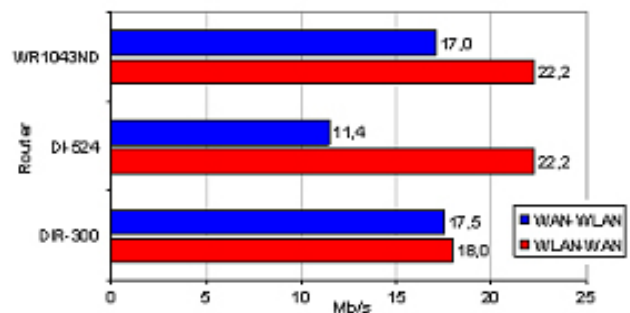


Rys. 8. Wyniki pomiarów programem Netperf (protokół TCP, topologia A)



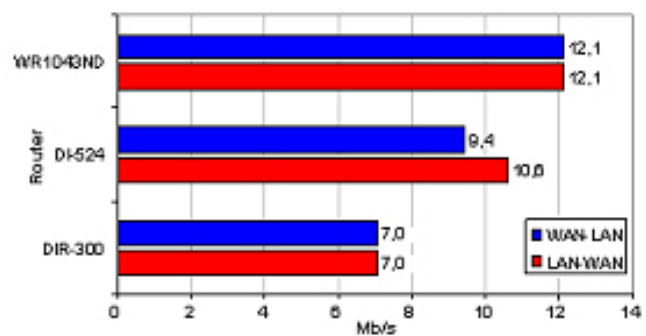
Rys. 9. Wyniki pomiarów programem Performance Test 7 (protokół TCP, topologia A)

Podobne pomiary wykonano dla topologii B (z wykorzystaniem medium bezprzewodowego). W tym wypadku programy testujące wykazały tą samą tendencję, tzn. wyniki wskazują na te same wnioski, bez względu na program.

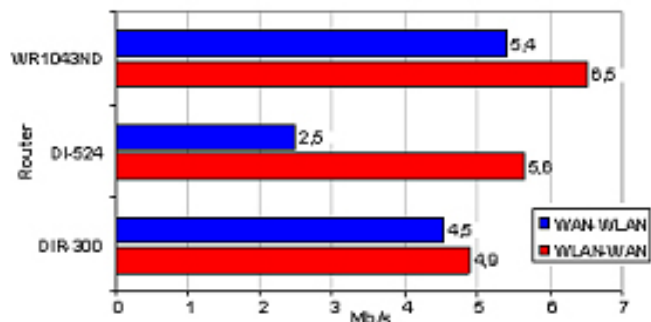


Rys. 10. Wyniki pomiarów programem Performance Test 7 (protokół TCP, topologia B)

Powyższe badania przeprowadzono także dla protokołu UDP (opierając się na serwerze TFTP). Poniższe rysunki prezentują wyniki testów dla topologii A i B.

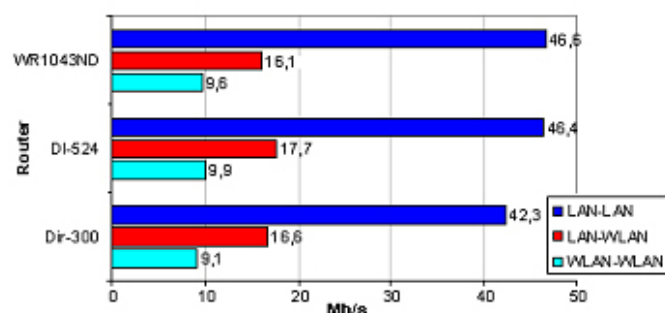


Rys. 11. Wyniki pomiarów programem Netperf (protokół UDP, topologia A)

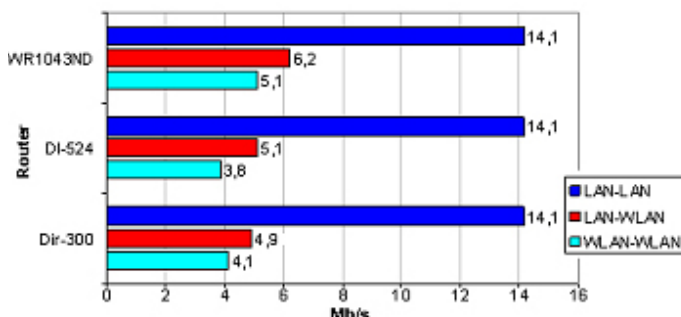


Rys. 12. Wyniki pomiarów programem Netperf (protokół UDP, topologia B)

Podobne testy wykonano dla topologii C, D oraz E. Wszystkie użyte programy wykazały tą samą tendencję w przepustowości. Poniżej przedstawiono otrzymane uśrednione wartości dla protokołów TCP oraz UDP.

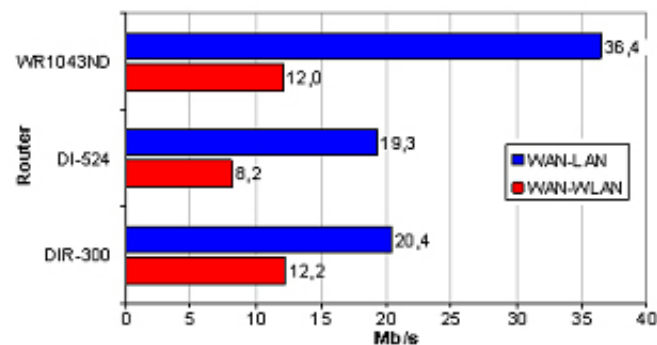


Rys. 13. Wyniki pomiarów; transfer do / z serwera HTTP (protokół TCP, topologia C, D, E)



Rys. 14. Wyniki pomiarów; transfer do / z serwera TFTP (protokół UDP, topologia C, D, E)

Technologii F i G użyto do testów, opartych o protokół TCP (transfer z / do zainstalowanego serwera Apache HTTP). Wyniki zaprezentowano na rys. 15.



Rys. 15. Wyniki pomiarów; transfer do / z serwera HTTP (protokół TCP, topologia F, G)

## 6. Wnioski

Do najważniejszych wniosków użytkarnych i naukowych należą:

1. Rozmiar datagramu UDP używanego w transmisji danych ma wpływ na jej wydajność. W przeprowadzonych testach przy rozmiarze datagramu równym 1024 bajty, osiągane szybkości przesyłu danych były wyższe, niż w przypadku datagramu wielkości 512 bajtów. Mowa tu o wynikach z programów Netperf i Performance Test. W teście z wykorzystaniem serwera TFTP wyniki, mimo datagramów liczących 1024 bajty, były znacznie niższe, co było skutkiem dodatkowego narzutu spowodowanego wysyłaniem, w przypadku protokołu TFTP, potwierdzeń odbioru.
2. Większe przepustowości przesyłu danych osiągnano w transmisji opartej o protokół transportowy TCP. Wynika to z bardzo małej liczby błędów w transmisji i tym samym mniejszego narzutu spowodowanego retransmisją pakietów. W rzeczywistych warunkach, w których serwer i klient znajdują się w znacznej odległości w sieci, błędy transmisji są znacznie częstsze. W takim przypadku transmisja oparta na protokole UDP okazuje się wydajniejsza.
3. Nowsze routery charakteryzują się większymi pasmami pobierania danych, natomiast większe pasmo wysyłania danych jest przymiotem routerów starszych. Wynika to z narzutów na procesor routera w przypadku coraz większej ilości oferowanych usług.
4. Wydajność urządzeń działających tylko w sieci lokalnej jest na zbliżonym poziomie – oznacza to mały skok technologiczny w wypadku integrowanych switchy.
5. Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty badań – nowsze modele routera oferują większą moc obliczeniową co pozytywnie wpływa na pasmo (z zastrzeżeniem punktu 3).

## Literatura (References)

- [1] Amato V. *Akademia sieci Cisco: pierwszy rok nauki*. MIKOM, Warszawa 2001.
- [2] Tanenbaum A. *Sieci komputerowe*. HELION, Gliwice 2004.
- [3] Ross J. *Sieci bezprzewodowe: przewodnik po sieciach Wi-Fi i szerokopasmowych szerokopasmowych sieciach bezprzewodowych*. HELION, Gliwice 2009.
- [4] Scrimger R., LaSalle P. i inni. *TCP/IP. Biblia*. HELION, Gliwice 2002.
- [5] Kozłowski M. *Analiza wydajności routerów do zastosowań domowych*. Praca dyplomowa inżynierska, WWSIS 2011.