

Stanowisko do badania transmisji danych w sieciach komputerowych

Dariusz Świsulski
Daniel Kazana *

Przedstawiono przyczyny opóźnień występujących przy przesyłaniu danych pomiarowych przez sieci komputerowe. Rozpatrzono opóźnienia dla trzech protokołów: TCP, UDP i DSTP. Do zbadania wartości opóźnień opracowano w środowisku LabVIEW specjalne aplikacje. Przedstawiono i omówiono wyniki badań wykonanych dla trzech przykładowych konfiguracji systemów pomiarowych.

Laboratory stand for measurement of data transmission in computer network. In the paper, causes of delays, which occur during measurement data transmission over the network, are presented. Delay values have been considered for three protocols: TCP, UDP and DSTP. Measurement of transmission delays has been made in support of LabVIEW application. Results are presented and discussed for three example configurations.

Wprowadzenie

Gwałtowny rozwój sieci komputerowych spowodował ich szerokie wykorzystanie w wielu dziedzinach techniki. Coraz częściej sieci oparte na technologii Ethernet, posiadające połączenie z Internetem, używane są w systemach pomiarowych do przesyłania sygnałów sterujących aparaturą pomiarową i udostępniania wyników pomiarów [1]. Umożliwia to budowę rozproszonych systemów pomiarowych o prawie nieograniczonym zasięgu [2].

Poważne ograniczenie w przypadku odczytywania informacji o szybko zmiennych parametrach, gdzie ważne jest jak najdokładniejsze określenie stanu mierzonej wielkości w celu odpowiedniego zachowania się systemu, mogą stanowić opóźnienia związane z przesyłaniem danych pomiarowych. Opóźnienia odgrywają również znaczącą rolę w momencie pojawienia się sytuacji niebezpiecznych dla systemu. Do zadań stojących przed projektantami systemów pomiarowych należy określenie wartości możliwych opóźnień, co może mieć znaczący wpływ na jakość działania systemu.

Przyczyny opóźnień transmisji danych w sieciach komputerowych

Przesyłając dane przez sieci komputerowe, należy pamiętać, że do danych użytkownika dołączane są nagłówki dodawane przez poszczególne warstwy modelu TCP/IP.

W przypadku korzystania z protokołu TCP ich suma wynosi standardowo 58 B na maksymalnie 1460 B danych, natomiast dla UDP odpowiednio 46 B na 1472 B danych [3]. Protokół DSTP korzystający pośrednio z TCP, dołącza dodatkowo nagłówek w warstwie aplikacji. Przy przesyłaniu niedużych ilości danych może się okazać, że ich długość jest mniejsza od długości dodanych nagłówków. Dla większych ilości danych zostaje wykonany podział na ramki, z których każda zawiera nagłówek IP, a tylko jedna nagłówek TCP lub UDP.

Liczba ramek, na które zostanie podzielona przesyłana informacja jest trudna do jednoznacznego określenia. Zależy ona m.in. od obciążenia interfejsu sieciowego i procesora, czy możliwości fragmentacji datagramów przy przesyłaniu przez sieci dopuszczające różne długości ramek. Dla uproszczenia założono, że dane użytkownika dzielone są na r ramek (1) o maksymalnej długości d_r i ostatnią ramkę o mniejszej długości d_o

$$r \leq \frac{d_u}{d_m - d_n} \quad (1)$$

gdzie:

d_u – długość danych użytkownika,

d_m – maksymalna długość ramki,

d_n – suma długości nagłówków w pojedynczej ramce dla danych protokołów,

r – największa liczba całkowita spełniająca zależność (1) jako liczba ramek maksymalnej długości d_r .

Ostatnia ramka ma długość d_o :

$$d_o = d_u - r \cdot (d_m - d_n) + d_n \quad (2)$$

* Dr inż. Dariusz Świsulski, mgr inż. Daniel Kazana – Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki

Na podstawie założonego podziału danych użytkownika na ramki można wyznaczyć minimalny czas t potrzebny do wysłania danych:

$$t = r \cdot \left(t_{IFG} + t_p + \frac{d_m}{f} \right) + t_{IFG} + t_p + \frac{d_o}{f} \quad (3)$$

gdzie:

- t_{IFG} - odstęp międzyramkowy (9,6 μ s),
- t_p - czas przesłania preambuły oraz znacznika początku ramki (6,4 μ s przy 10 Mbit/s),
- f - szybkość łącza fizycznego.

Tabela 1. Minimalny czas przesłania danych dla protokołu TCP (1 - bez odesłania potwierdzenia, 2 - z uwzględnieniem komunikacji między komputerami) i UDP

d_u (B)	t (ms)		
	TCP (1)	TCP (2)	UDP
1	0,0672	0,269	0,0672
100	0,142	0,344	0,133
1000	0,862	1,064	0,853
10000	8,44	9,042	8,37
60000	50,62	53,578	50,16

Wyznaczone w ten sposób wartości czasu przesłania danych dla $f = 10$ Mbit/s przedstawione są w tabeli 1. Transmisja danych z wykorzystaniem protokołu TCP wymaga odesłania potwierdzenia, co wprowadza dodatkowe obciążenie łącza oraz powoduje zwiększenie opóźnień. Sumaryczny czas przesłania danych uwzględniający czas potrzebny na przesłanie ramek komunikacyjnych jest pokazany również w tabeli 1. Przedstawione czasy nie uwzględniają opóźnień związanych z przepływem sygnału przez przewody i urządzenia znajdujące się na jego drodze.

Proces wysyłania i odbierania danych realizuje odpowiedni sprzęt (karta sieciowa). Jej obsługą zajmuje się system operacyjny, który również ma wpływ na uzyskane wyniki. Obciążenie komputera przez użytkownika innym procesem zajmującym jego zasoby może być również przyczyną zwiększenia czasów transmisji danych. Mimo, że opóźnienia związane z realizacją zadań pod kontrolą systemu operacyjnego są trudne do wyznaczenia, należy je także uwzględniać.

Kolejną przyczyną opóźnień są sieci komputerowe i urządzenia znajdujące się na drodze przesyłanych danych. Wynika to ze skończonej szybkości przepływu sygnału przez przewody oraz urządzenia sieciowe. Opóźnienia wnoszone przez sieci są nieznaczne, a ich wartość zależna jest od nośnika: dla sieci UTP/STP wynosi 0,0057 μ s/m, dla 10Base2 - 0,00514 μ s/m, dla 10Base5 - 0,00433 μ s/m, dla światłowodu - 0,005 μ s/m [4].

Znacznie trudniej jest wyznaczyć opóźnienia wprowadzane przez urządzenia pracujące w sieci. Opóźnienia te są uzależnione od wielu czynników, np. producenta sprzętu (a nawet modelu), szybkości łącza sieciowego, aktualnego ruchu w sieci (obciążenia sprzętu).

Typowe opóźnienie przy przejściu sygnału przez transceiver karty sieciowej można oszacować na ok. 0,27 μ s [4]. Całkowity czas zależy od magistrali danych, za pomocą której karta sieciowa łączy się z komputerem (PCI, PCMCIA, USB, ISA) oraz czasu dostępu do łącza fizycznego.

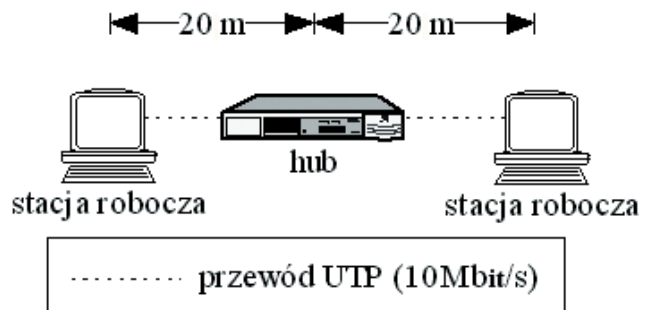
Opóźnienia wprowadzane przez wieloportowe wzmacniaki (*huby*) wynoszą ok. 0,1 μ s [4]. W przypadku obciążenia portów huba mogą pojawić się opóźnienia wynikające z możliwości nadawania tylko na jednym porcie w danej chwili.

Urządzenia nazywane switchami mogą pracować w dwóch podstawowych trybach: „store and forward” i „fast forward” [5]. Drugi tryb pracy jest dużo szybszy, jednak nie zapewnia kontroli poprawności przesyłanych danych (nie sprawdza sumy kontrolnej).

Największy wpływ na czas dostarczenia danych przy przesyłaniu poza sieć lokalną mają routery. Urządzenia te pracują w warstwie Internetu, a zatem odczytują adresy IP otrzymanych danych i na podstawie tablicy routingu określają najlepszą trasę, którą przesłany zostanie datagram. Routery mogą łączyć sieci używających różnych protokołów, więc są też odpowiedzialne za konwersję danych - dodanie nagłówek odpowiednich dla wykorzystywanego protokołu oraz za fragmentację [5].

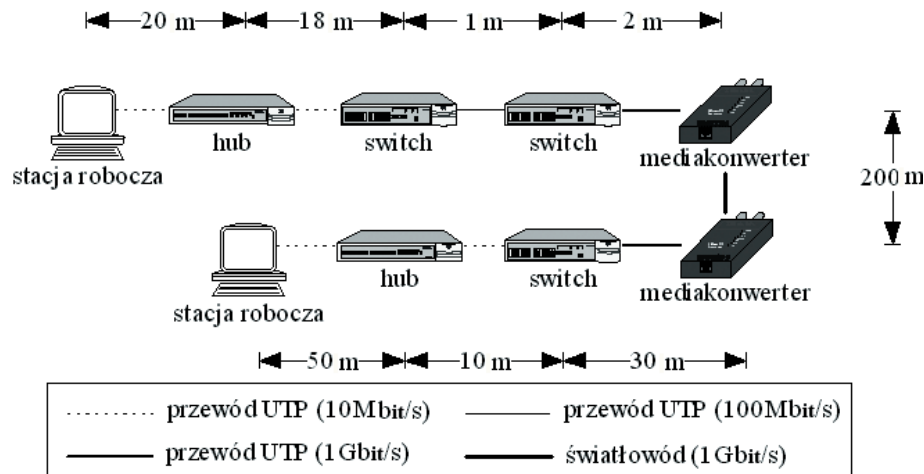
Rozpatrywane konfiguracje toru transmisyjnego z siecią komputerową

Autorzy wykonali pomiary opóźnień transmisji w różnych konfiguracjach. W najprostszym przypadku dwa urządzenia połączone są ze sobą za pomocą huba oraz przewodu UTP (rys. 1). Sytuacja taka jest często spotykana przy korzystaniu z sieci LAN do celów pomiarowych w małej firmie czy laboratorium. Czas propagacji sygnału w tym przypadku jest znikomy. Na uzyskane przy pomocy tej konfiguracji opóźnienia największy wpływ ma obciążenie węzła sieciowego (huba) łączącego oba komputery.

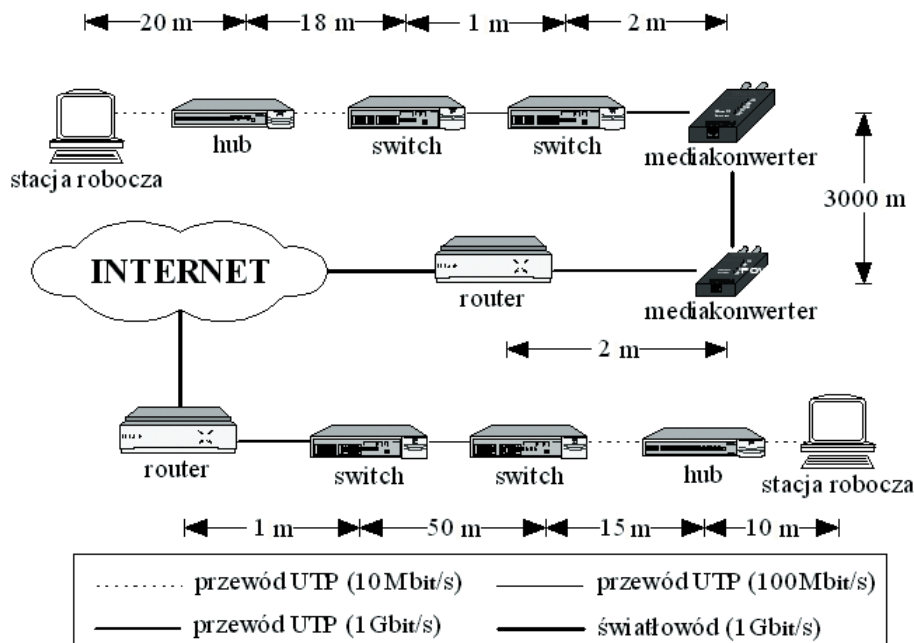


Rys. 1. Schemat konfiguracji nr 1

W drugiej rozważanej konfiguracji jako kanał do transmisji danych użyto dużej sieci lokalnej (rys. 2). W przypadku tym dają się zaobserwować większe niż poprzednio długości przewodów oraz spora liczba urządzeń na drodze pomiędzy hostami. W sytuacji tej sygnał



Rys. 2. Schemat konfiguracji nr 2



Rys. 3. Schemat konfiguracji nr 3

nie jest taktowany z jednakową szybkością na całej drodze, lecz zmienia się przy przejściu przez kolejne urządzenia. Maksymalną możliwą do uzyskania szybkość transmisji ograniczają najwolniejsze połączenia.

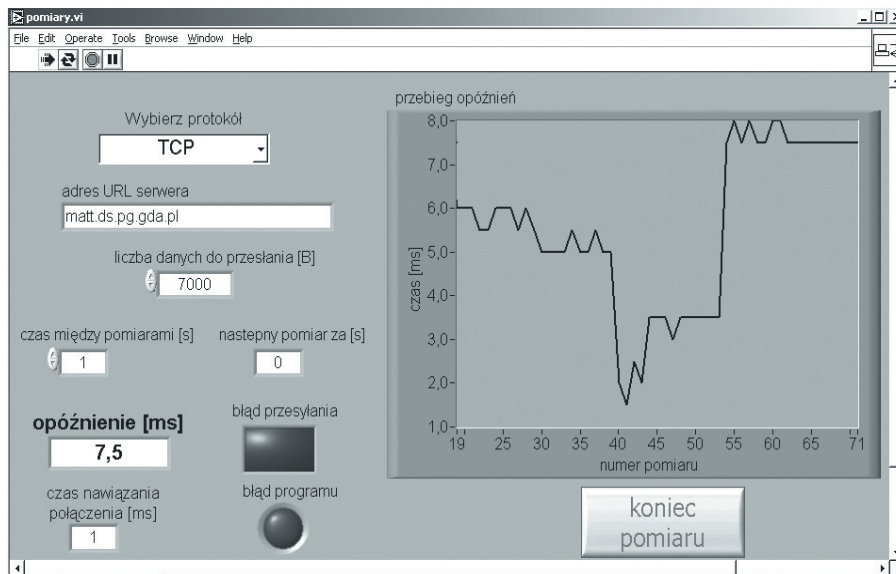
W trzeciej konfiguracji dane przesyłane są pomiędzy sieciami lokalnymi przy pomocy Internetu (rys. 3). Największy wpływ na wielkość opóźnień w takiej konfiguracji będą miały urządzenia łączące obie sieci.

W tej konkretnej sytuacji na Internet rozumiany jako połączenie między routerami brzegowymi składa się ok. 3-4 km przewodu światłowodowego oraz, w zależności od konfiguracji, co najmniej dwa urządzenia typu switch/router. Dzięki połączeniu sieci lokalnych z Internetem za pomocą bardzo szybkiego łącza oraz znikomej liczby urządzeń między nimi można się spodziewać, że uzyskane w ten sposób wyniki nie będą znacząco odbiegać od otrzymanych przy wykorzystaniu konfiguracji 2.

Oprogramowanie do pomiaru opóźnień

Do wyznaczenia wartości opóźnień opracowano w środowisku LabVIEW specjalne aplikacje, umieszczone na komputerach, między którymi ma być wykonany pomiar. Jedną z nich jest serwerem, który oczekuje na dane. Drugą aplikacją jest tzw. klientem wysyłającym dane. Aplikacja umożliwia pomiary dla protokołów najczęściej stosowanych w systemach pomiarowych: TCP, UDP i DFTP.

Idea działania programów polega na odczytaniu czasu w chwili rozpoczęcia transmisji od klienta do serwera. Serwer odbiera wysłane do niego dane i od razu odsyła je z powrotem. Po odebraniu informacji przez klienta ponownie następuje odczytanie czasu i wyznaczenie średniego czasu transmisji jako różnicy wymienionych chwil czasowych podzielonej przez 2.



Rys. 4. Panel aplikacji klienta

Zaletą przyjętej metody jest prostota opracowanych aplikacji. Wadą jest uśrednianie pomiaru z przesyłania w dwie strony. Ze względu na trudności synchronizacji obu komputerów, zrezygnowano z metody, w której przesyłanie odbywałoby się tylko w jedną stronę.

Panel aplikacji klienta przedstawiony jest na rys. 4. Użytkownik ma do wyboru jeden z trzech protokołów, dla których może wykonać pomiary. W polu adres URL serwera należy wpisać nazwę, bądź adres IP docelowego hosta. Następnie można zdefiniować ilość danych, dla której będą wykonywane pomiary oraz przedział czasu pomiędzy kolejnymi próbami. Wyniki pomiarów są przedstawione na wykresie. Dla protokołu TCP podawany jest również czas potrzebny do nawiązania połączenia z serwerem przed transmisją danych.

Ponadto na panelu można odczytać informację o czasie pozostałym do kolejnego pomiaru, a także informacje o błędach. Błąd przesłania wskazuje, iż dane nie zostały przesłane w całości. Drugi wskaźnik informuje o błędach związanych z wykonywaniem programu, np. gdy klient nie może nawiązać komunikacji z serwerem.

Wyniki uzyskane podczas pomiarów są zapisywane do plików, osobno dla każdego protokołu. Dla pojedynczego pomiaru są archiwizowane następujące informacje: wartość opóźnienia, data i godzina wykonania pomiaru, liczba bajtów

przesyłanych podczas próby, informacja o błędzie transmisji. Plik jest zapisywany w formacie tekstowym, wygodnym do dalszej analizy.

Wyniki pomiarów

Badania opóźnień podczas przesyłania danych przez sieć komputerową wykonano dla trzech przedstawionych konfiguracji.

W tabeli 2 umieszczono średnie wartości opóźnienia oraz odchylenie standardowe w konfiguracji nr 1 dla 100 kolejnych pomiarów.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, iż przesyłanie danych za pomocą protokołu UDP jest najszybsze. Nieco wolniej działa TCP. Przesyłanie danych za pomocą DSTP jest dużo wolniejsze od pozostałych protokołów, szczególnie przy niewielkiej ilości transmitowanych informacji.

W tabeli 3 umieszczono średnie wartości opóźnienia oraz odchylenie standardowe w konfiguracji nr 2.

Wyznaczone czasy są dłuższe niż w konfiguracji 1, różnica nie jest jednak duża.

Tabela 2. Wyniki pomiarów dla konfiguracji 1

d_u (B)	t (ms)			σ (ms)		
	TCP	UDP	DSTP	TCP	UDP	DSTP
1	1,63	0,83	156,28	0,53	0,32	29,53
100	1,61	0,87	158,29	0,42	0,31	24,61
1000	2,76	2,45	159,35	1,32	0,56	26,07
10000	14,24	11,07	168,52	1,88	3,40	30,02
60000	66,32	53,59	221,55	12,17	11,88	48,42

Tabela 3. Wyniki pomiarów dla konfiguracji 2

d_u (B)	t (ms)			σ (ms)		
	TCP	UDP	DSTP	TCP	UDP	DSTP
1	2,50	1,29	164,69	2,24	1,71	21,15
100	2,40	1,38	162,09	0,95	1,54	46,05
1000	3,22	2,88	161,00	0,42	1,06	30,54
10000	14,72	11,53	181,30	1,81	2,78	36,75
60000	73,92	58,14	229,09	13,37	17,62	43,73

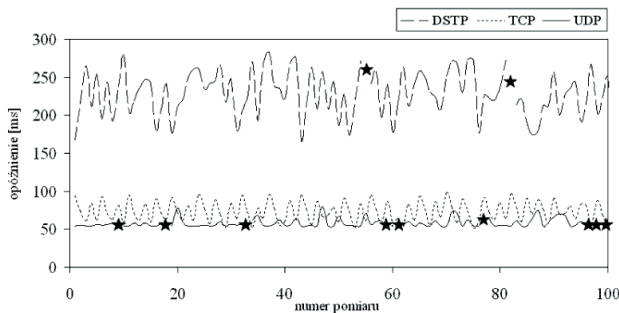
Tabela 4. Wyniki pomiarów dla konfiguracji 3

d_u (B)	T (ms)			σ (ms)		
	TCP	UDP	DSTP	TCP	UDP	DSTP
1	3,28	1,31	163,12	0,81	0,41	23,44
100	4,19	1,78	162,61	1,92	0,60	24,60
1000	5,11	3,41	166,23	2,39	2,18	34,37
10000	17,12	12,34	181,93	1,25	3,10	37,97
60000	78,84	błąd	253,56	22,42	-	43,69

W tabeli 4 umieszczono średnie wartości opóźnień oraz odchylenie standardowe w konfiguracji nr 3.

Próba przesłania 60000 bajtów danych protokołem UDP zakończyła się niepowodzeniem. Część wysłanych pakietów zaginęła po drodze lub dotarła zmieniona.

W kilku przypadkach dla protokołu DSTP wartości opóźnień są porównywalne bądź nieznacznie mniejsze od poprzednio uzyskanych. Bardzo zbliżone wyniki uzyskano również dla przesyłania danych z wykorzystaniem UDP.



Rys. 5. Opóźnienie transmisyjne dla badanych protokołów w konfiguracji 2 przy przesyłaniu 60000 bajtów (gwiazdka oznacza utratę danych)

Na rys. 5 przedstawiono wartość opóźnienia transmisyjnego dla 100 kolejnych pomiarów dla badanych protokołów w konfiguracji 2 przy przesyłaniu 60000 bajtów.

Uzyskane wyniki potwierdziły rozważania teoretyczne. Najmniejsze opóźnienia uzyskano dla protokołu UDP. Szybkość ta okupiona jest jednak możliwością gubienia pakietów i w efekcie niedostarczenia wiadomości.

Protokoły oferujące niezawodną transmisję – TCP oraz DSTP powodują zwiększony ruch w sieci ze względu na konieczność nawiązania połączenia oraz potwierdzania przesyłanych wiadomości. Jeśli jednak pominąć czas nawiązywania połączenia przez protokół TCP, to uzyskane przy jego pomocy wyniki pomiarów nie odbiegają znacząco od UDP.

Protokół DSTP nie powinien być stosowany w systemach, w których zależy na krótkim czasie transmisyjnym danych. Jego zaletą jest natomiast łatwość programowania, możliwość udostępniania danych wielu klientom oraz zapewnienie bezpieczeństwa danych [6].

Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań pozwalają na zapoznanie się z wartościami opóźnień związanych z transmisją przez sieci komputerowe o przykładowych konfiguracjach, w zależności od wykorzystanego protokołu oraz ilości przesyłanych danych.

Rzeczywiste czasy uzyskane podczas pomiarów odbiegają nieco od wyznaczonych teoretycznie. Wynika to z trudności dokładnego określenia opóźnień wprowadzanych przez rywalizacyjny dostęp do łącza.

Trudno także zmierzyć natężenie ruchu sieciowego w kolejnych węzłach sieci, przez które są przesyłane dane między nadawcą a odbiorcą. Dlatego też doświadczalne wyznaczenie czasów transmisyjnych danych poprzez sieć daje sporą wiedzę na temat zachowania się sieci oraz pozwala na dokładniejsze oszacowanie parametrów transmisyjnych.

Wyniki otrzymane w pomiarach cechowały się dużym rozrzutem wokół wartości średniej, zależnym m.in. od odległości między nadawcą i odbiorcą oraz od ilości przesyłanych danych. Dlatego nie można założyć ściśle określonego czasu transmisyjnego danych w sieciach Ethernet. Związane jest to z rywalizacyjną metodą dostępu do łącza fizycznego, która nie jest w stanie zapewnić dostępu do nośnika w określonym z góry czasie. Fakt ten powoduje, że sieci ethernetowe nie znajdują zastosowania w systemach pomiarowych czasu rzeczywistego. Mogą być natomiast stosowane wszędzie tam, gdzie dopuszczalne jest przekroczenie ograniczeń czasowych.

Bibliografia

- [1] Świsulski D.: *Udostępnianie wyników pomiarów przez Internet*. Materiały XXXII Międzyuczelnianej Konferencji Metrologów. Rzeszów-Jawor, 11-15 września 2000, t. 2, s. 565-570.
- [2] Lesiak P., Świsulski D.: *Komputerowa technika pomiarowa w przykładach*, Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2002.
- [3] Nowicki K., Woźniak J.: *Sieci LAN, MAN i WAN – protokoły komunikacyjne*. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji. Kraków 1998.
- [4] Sportack M.: *Sieci komputerowe. Księga eksperta*. Wydawnictwo Helion, Gliwice 1999.
- [5] Krysiak K.: *Sieci komputerowe. Compendium*. Wydawnictwo Helion, Gliwice 2003.
- [6] Świsulski D., Referowski L.: *Przesyłanie wyników pomiarów z wykorzystaniem technologii DataSocket*. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej 2000, Elektryka, nr 35, s. 189-195. ■