

Adam MARKOWSKI, Wiesław MICZULSKI
 UNIwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii Elektrycznej

Badania symulacyjne rozproszonego systemu pomiarowo – sterującego*

dr inż. Adam MARKOWSKI

Od roku 1996 pracownik Politechniki Zielonogórskiej i Uniwersytetu Zielonogórskiego. Jest autorem 16 publikacji naukowych oraz kilku opracowań zrealizowanych na zamówienie przemysłu. Jego zainteresowania związane są z projektowaniem i analizą rozproszonych systemów pomiarowo – sterujących. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Metrologii Elektrycznej Uniwersytetu Zielonogórskiego.

e-mail: A.Markowski@ime.uz.zgora.pl



dr hab. inż. Wiesław MICZULSKI, prof. UZ

Od roku 1973 pracownik WSInż, a następnie Politechniki i Uniwersytetu Zielonogórskiego. W latach 2002 – 2004 prodziekan i 2004 – 2005 dziekan Wydziału Elektrotechniki, Informatyki i Telekomunikacji UZ. Aktualnie dyrektor Instytutu Metrologii Elektrycznej. Autor ponad 60 publikacji. Specjalizuje się w dziedzinie inteligentnej aparatury i systemów pomiarowych. Członek Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowej PAN.

e-mail: W.Miczulski@ime.uz.zgora.pl



Streszczenie

W artykule przedstawiono zastosowanie modelu rozproszonego systemu pomiarowo-sterującego do oceny wpływu struktury systemu i struktury węzła na poziom utraty danych i wartość czasu opóźnienia w transmisji danych w systemie. Zaprezentowano w tym zakresie przykładowe wyniki badań symulacyjnych systemu pracującego wg zasady *peer to peer*.

Słowa kluczowe: rozproszony system pomiarowo – sterujący, symulacja zdarzeń dyskretnych, analiza czasowa.

Influence of node and system structure on feature of measuring and control network system

Abstract

Using a model of measuring and control system to assessment of system and node structure on level of data loss in system is presented. An influence of node structure on data transmission delay in measuring and control system is described. Results of *peer to peer* system simulation are presented.

Keywords: Distributed measurement-control system, Discrete-event simulation, Timing analysis.

1. Wprowadzenie

Zadania stawiane rozproszonemu systemowi pomiarowo-sterującemu (RSPS) to przetwarzanie i przesyłanie wyników pomiarów mierzonych wielkości pomiędzy węzłami systemu. Ocena właściwości projektowanego RSPS może być przeprowadzona z zastosowaniem metod analitycznych lub symulacyjnych. Ze względu na dużą złożoność RSPS stosowanie metod analitycznych jest ograniczone. Zdecydowanie większą możliwością w tym zakresie wykazują metody symulacyjne.

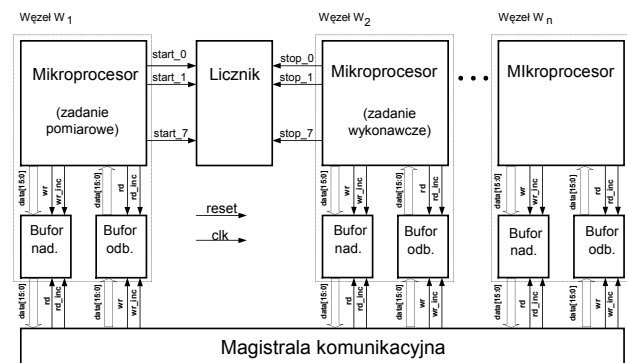
Właściwości RSPS są charakteryzowane szeregiem różnych parametrów opisanych m.in. w pracach [1], [3] i [5]. Wśród tych parametrów można między innymi wyróżnić: współczynnik przejścia systemu oraz wartość czasu opóźnienia w transmisji danych. Wartość współczynnika przejścia systemu jest informacją o stopniu utraty danych w systemie pomiarowo-sterującym. Wartość czasu opóźnienia w transmisji danych jest istotnym parametrem, gdy system pracuje jako system czasu rzeczywistego i muszą być zachowane ograniczenia czasowe narzucone na zadania realizowane przez system. O wartości współczynnika przejścia systemu i wartości czasu opóźnienia w transmisji danych w systemie decyduje m.in. struktura systemu i struktura węzła.

W artykule przedstawiono zastosowanie modelu RSPS [5] do

określenia wpływu struktury systemu i struktury węzła na wartość współczynnika przejścia systemu oraz na wartość czasu opóźnienia w transmisji danych w systemie. Opracowany model umożliwił przeprowadzenie szeregu symulacji, w których zmieniano strukturę systemu oraz strukturę węzła, podczas gdy pozostałe parametry opisujące system, takie jak parametry czasowe zadań realizowanych w węzłach i szybkość transmisji danych na magistrali, pozostawały niezmienione.

2. Model rozproszonego systemu pomiarowo-sterującego

Punktem wyjścia do opracowania modelu RSPS był model komunikacyjny takiego systemu [1]. Na jego podstawie opracowano model strukturalny (rys. 1).



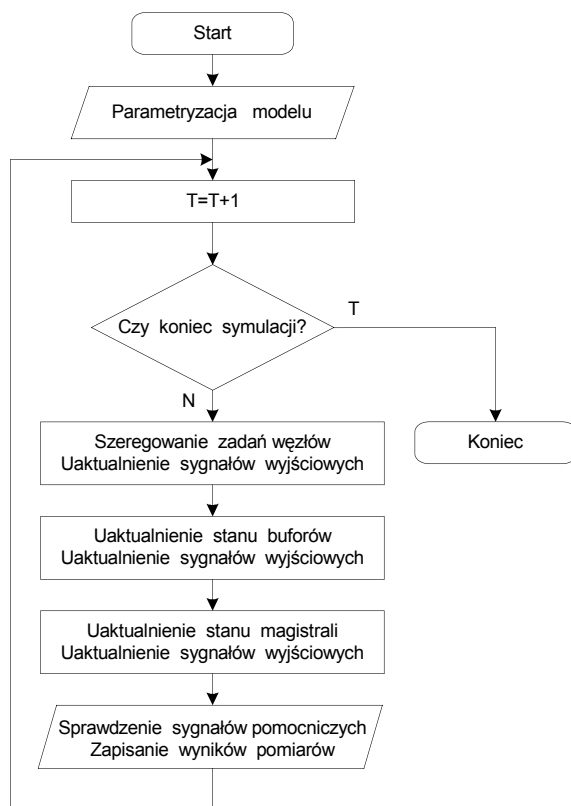
Rys. 1. Model strukturalny RSPS

Fig. 1. DMCS model structure

W celu zapewnienia uniwersalności modelu w zakresie realizowania różnych struktur oraz różnych metod szeregowania zadań w poszczególnych blokach systemu, współpraca pomiędzy poszczególnymi blokami została zrealizowana podobnie jak wygląda to w rzeczywistych systemach mikroprocesorowych czyli za pośrednictwem odpowiednich sygnałów. Wyróżniono magistralę danych, sygnały sterujące oraz sygnały pomocnicze związane z obsługą odpowiednich liczników. Takie rozwiązanie daje także możliwość niezależnej pracy poszczególnych bloków modelu, a także ich niezależne testowanie w fazie uruchamiania. W węzłach modelu odbywa się szeregowanie przypisanych dla danego węzła zadań. Każdy z węzłów współpracuje wykorzystując odpowiednie sygnały sterujące i magistralę danych z przeznaczonym dla niego buforem nadawczym i odbiorczym. W buforach następuje przechowywanie danych odebranych lub do przesłania. Z buforami nadawczymi i odbiorczymi współpracuje

blok magistrali, w którym realizowany jest mechanizm arbitrażu właściwy dla metody dostępu *peer to peer* lub jest realizowany scenariusz wymian przewidziany dla metody dostępu *master – slave*.

Na podstawie modelu strukturalnego opracowano w dalszej kolejności model RSPS, który jest algorytmem realizującym wszystkie zadania wykonywane w systemie [5]. Badania symulacyjne RSPS były prowadzone w oparciu o metodę przeglądania działań i metodę planowania zdarzeń [6]. W artykule przedstawiono algorytm pracy programu realizującego badania symulacyjne wg metody przeglądania działań (rys. 2). Po wprowadzeniu w bloku „parametryzacja modelu” wartości początkowych dla wszystkich zmiennych wykorzystywanych podczas symulacji (liczba węzłów, parametry zadań węzłów i powiązań komunikacyjnych, ...) następuje inkrementacja zegara systemu i sprawdzenie warunku końca symulacji, który jest określony przez liczbę cykli zegara taktującego model. W dalszej kolejności następuje wykonanie szeregowania zadań dla wszystkich węzłów wykorzystywanych podczas symulacji. W związku z tym, że część zadań może pobierać z buforów odbiorczych dane bądź wpisywać dane do buforów nadawczych węzłów, w trakcie szeregowania zadań następuje także sprawdzenie ich stanu oraz nadanie odpowiednich wartości sygnałom wyjściowym węzłów. Po wykonaniu szeregowania zadań węzłów, następuje sprawdzenie stanu sygnałów wejściowych we wszystkich buforach komunikacyjnych i w zależności od ich wartości następuje odpowiednia reakcja. Wyróżnia się wpis danych, inkrementację wskaźnika zapisu, odczyt danych oraz inkrementację wskaźnika odczytu. Po uaktualnieniu stanu buforów komunikacyjnych następuje uaktualnienie stanu magistrali.



Rys. 2. Algorytm pracy programu realizującego model RSPS
Fig. 2. Algorithm of a simulation model program

Działanie bloku magistrali w zależności od metody dostępu do nośnika polega na realizacji wymian danych pomiędzy węzłami, co sprowadza się do odczytania wyznaczonych na podstawie arbitrażu (dla metody dostępu *peer to peer*) lub na podstawie scenariusza wymian (dla metody dostępu *master – slave*)

wybranych buforów nadawczych węzłów i po odmierzeniu wyznaczonego opóźnienia wpisaniu tych danych do bufora odbiorczego określonego węzła. Zarówno odczytanie danych z bufora nadawczego, jak i zapisanie danych do bufora odbiorczego węzła jest związane z nadaniem określonej wartości sygnałom wyjściowym bloku magistrali.

3. Badania symulacyjne

3.1. Rozpatrywane struktury systemu pomiarowo - sterującego

W badaniach symulacyjnych były brane pod uwagę systemy o różnych strukturach, w których należało zrealizować po 16 zadań systemu, czyli po 16 zadań pomiarowych i zadań wykonawczych o parametrach przedstawionych w tabeli nr 1.

Wartości parametrów T (okres występowania) i C (czas realizacji) [1], charakteryzujące zadania pomiarowe i wykonawcze, są wyrażone w liczbie impulsów taktujących model symulacyjny systemu. Ze względu na parametry czasowe zadania podzielono na 4 grupy, od najkrótszego do najdłuższego okresu występowania. W każdej grupie występowały zadania o identycznych parametrach czasowych.

Założono, że w każdej strukturze systemu występują cztery węzły pomiarowe, realizujące zadania będące częściami pomiarowymi zadań systemu. Pozostałe węzły są węzłami wykonawczymi realizującymi zadania wykonawcze grupowane w kolejnych symulacjach wg schematu przedstawionego w tabeli nr 2. Założono również, że każdy z węzłów pomiarowych i wykonawczych realizuje dodatkowo dwa zadania lokalne nie związane z zadaniami systemu.

Tab. 1. Parametry zadań realizowanych w systemie
Tab. 1. Parameters of tasks running in system

Nr zadania (priorytet)	Zadanie pomiarowe		Zadanie wykonawcze	
	T	C	T	C
1..4 (0..3)	1110	130	1110	130
5..8 (4..7)	2110	240	2110	240
9..12 (8..11)	3110	330	3110	330
13..16 (12..15)	4110	410	4110	410

Tab. 2. Obciążenie węzłów w kolejnych symulacjach
Tab. 2. Load of node in following simulations

Nr symulacji	Liczba węzłów wyk.	Liczba zadań w węzle wyk.	Strategia grupowania zadań	u_m
1	16	1	-	0,5
2	16	1	-	1
3	8	2	pp	0,5
4	8	2	pp	1
5	4	4	pp	0,5
6	4	4	pp	1
7	8	2	sp	0,5
8	8	2	sp	1
9	4	4	sp	0,5
10	4	4	sp	1
11	4	4	pp	0,5
12	4	4	pp	1

Grupowanie zadań w poszczególnych węzłach pomiarowych i wykonawczych odbywało się wg strategii „pp” (zadania

o przesuniętych priorytetach) lub według strategii „sp” (zadania o kolejnych priorytetach). W przypadku grupowania zadań dla czterech węzłów wg strategii „pp” w pierwszym węźle umieszczono zadania o priorytetach: 0, 4, 8, 12. W przypadku grupowania zadań dla czterech węzłów wg strategii „sp” w pierwszym węźle zostały umieszczone zadania o priorytetach: 0, 1, 2, 3.

Ponadto przyjęto, że w systemie obowiązuje metoda dostępu do nośnika *peer to peer* [1], a zadania w węzłach i na magistrali komunikacyjnej są szeregowane wg metody *RM (Rate Monotonic)* bez wywłaszczania [1]. Dla każdego przypadku symulacje były uruchamiane przez 10 mln. cykli zegara taktującego model.

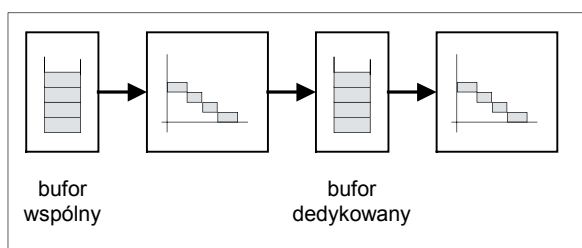
Każdy przypadek obciążenia węzła wykonawczego był badany dla dwóch szybkości transmisji danych na magistrali. Wówczas współczynnik wykorzystania magistrali u_m określony dla n zadań komunikacyjnych zależnością

$$u_m = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{T_i} \quad (1)$$

wynosił 1,0 lub 0,5.

3.2. Rozpatrywane struktury węzła

Wszystkie przypadki symulacji o numerach porządkowych od 1 do 10 (tab. 2) zostały przeprowadzone dla takiej struktury węzła wykonawczego, w której wszystkie zadania wykonawcze odczytują dane z tego samego bufora odbiorczego, który jest obsługiwany wg zasady FIFO. W symulacjach o numerach 11 i 12 wprowadzono zmianę, która polegała na tym, że w strukturze węzła jedno z realizowanych w nim zadań lokalnych cyklicznie odczytuje dane ze wspólnego bufora FIFO i umieszcza te dane w buforze dedykowanym dla danego zadania wykonawczego. W efekcie dane pomiarowe w stosunku do rozwiązania podstawowego poddawane są dodatkowym działaniom w dwóch blokach modelu, tzn. we współużytkowanym procesorze węzła, który realizuje lokalne zadanie związane z przeniesieniem danych oraz w buforze dedykowanym. Na rys. 3 przedstawiono strukturę węzła z uwzględnieniem wprowadzonych zmian w symulacji nr 11 i 12.

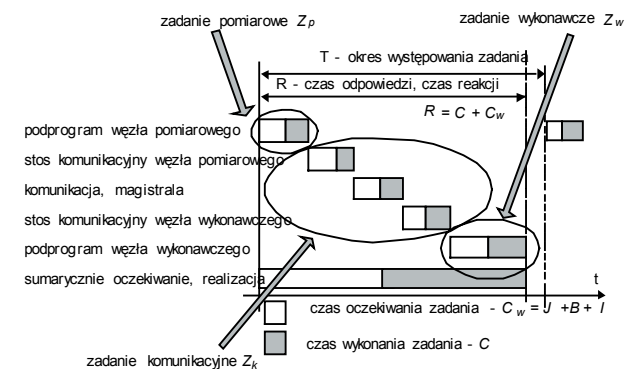


Rys. 3. Struktura węzła wykonawczego z buforem dedykowanym
Fig. 3. Structure of executive node with dedicated buffer

3.3. Przykładowe wyniki badań współczynnika przejścia systemu

W celu oceny poprawności funkcjonowania systemu zaproponowano stosowanie współczynnika przejścia systemu, który określa stopień utraty danych w systemie. Definicję tego współczynnika opracowano przy założeniu, że w systemie realizowane są zadania, których model przedstawiono na rys. 4 [1]. Pojedyncze wykonanie zadania systemu polega na realizacji jego części składowych: zadania pomiarowego, zadania komunikacyjnego i zadania wykonawczego. Zadania pomiarowe i wykonawcze są zadaniami realizowanymi w węzłach systemu. Zadanie komunikacyjne polega na przesłaniu danych

pomiarowych magistralą komunikacyjną systemu. Założono, że zadanie pomiarowe pozyskuje dane pomiarowe, które po przesłaniu magistralą komunikacyjną zostają wykorzystane przez zadanie wykonawcze do sterowania obiektem.



Rys. 4. Model zadania
Fig. 4. Task model

Za udane przesłania uważa się takie, w których dane wygenerowane w zadaniu pomiarowym nie są nadpisywane w buforach komunikacyjnych węzłów i trafiają do przynależnego im zadania wykonawczego.

Wartość współczynnika przejścia systemu k_s określono jako wartość średnią współczynników przejścia wszystkich zadań systemu:

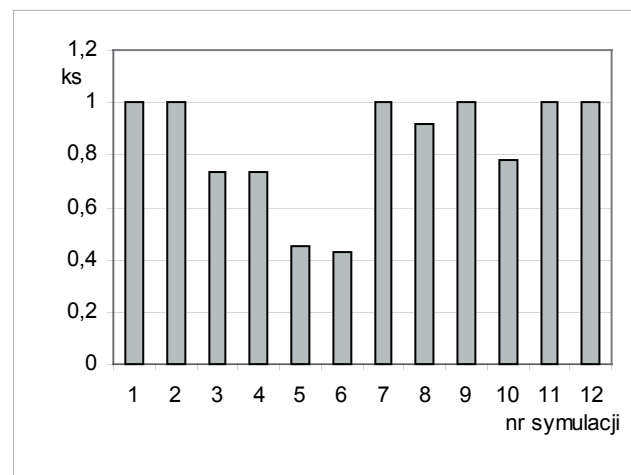
$$k_s = \frac{\sum_{i=1}^{L_z} k_{pi}}{L_z} = \frac{\sum_{i=1}^{L_z} l_{TPi} - (l_{NBNi} + l_{NBOi})}{L_z}, \quad (2)$$

gdzie:

- k_{pi} - współczynnik przejścia i -tego zadania systemu,
- L_z - liczba zadań realizowanych w systemie,
- l_{TP} - liczba realizacji zadania pomiarowego,
- l_{NBN} - liczba nadpisań w buforze nadawczym,
- l_{NBO} - liczba nadpisań w buforze odbiorczym.

Tak zdefiniowany współczynnik przejścia systemu umożliwia sprawdzenie czy system wykona wszystkie zadania nie gubiąc żadnego z nich. Zatem jego wartość może być podstawą do określenia kierunku dalszych prac nad projektowanym systemem.

Na rys. 5 przedstawiono wartości współczynnika przejścia systemu w kolejnych symulacjach.



Rys. 5. Wartość współczynnika przejścia systemu
Fig. 5. Value of passing system coefficient

Wartość $k_s = 1$ tego współczynnika oznacza, że wszystkie dane pozyskane przez część pomiarową wszystkich zadań systemu zostały wykorzystane do sterowania przez część wykonawczą zadań systemu. Wartość współczynnika przejścia $k_s < 1$ oznacza, że nastąpiła utrata części danych.

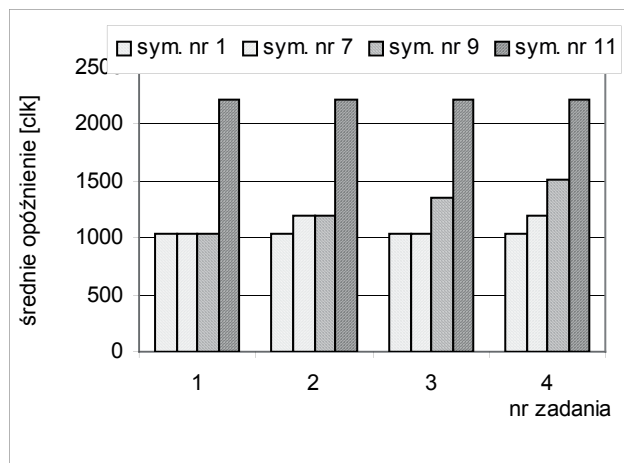
Dla struktury RSPS właściwej dla symulacji nr 5 i 6 i dla struktury węzła ze wspólnym buforem odbiorczym uzyskano najgorszą wartość współczynnika przejścia systemu. Wystąpiła ponad 50-cio procentowa utrata danych. Jest to przypadek, w którym w węzłach wykonawczych zastosowano takie same grupowanie zadań jak w węzłach pomiarowych. Oznacza to, że zarówno w węzłach pomiarowych, jak i w węzłach wykonawczych bufora komunikacyjne, nadawcze i odpowiednio odbiorcze są wykorzystywane przez cztery zadania.

Analiza wyników symulacji, związana z liczbą nadpisań w buforze nadawczym (l_{NBN}) i w buforze odbiorczym (l_{NBO}), wskazuje że utrata danych następuje w węzłach wykonawczych. Nie odczytane dane przeznaczone dla zadań o dłuższym okresie występowania blokują odczyt danych przeznaczonych dla zadań o krótszym okresie występowania. W efekcie następuje wypełnienie bufora i część wpisów od strony magistrali komunikacyjnej jest nadpisywana.

Symulacje dla przypadku nr 5 i 6 powtórzono dla zmienionej struktury węzła wykonawczego. Zmiana struktury polegała na zastosowaniu bufora dedykowanego (rys. 3). Spowodowało to poprawę właściwości RSPS, dla którego otrzymano współczynnik przejścia systemu $k_s = 1$ (symulacja nr 11 i 12 na rys. 5).

3.4. Przykładowe wyniki pomiaru wartości czasu opóźnienia w transmisji danych

Zmiana struktury węzła, która wpływa na poprawienie wartości współczynnika przejścia wpływa także na wartość opóźnienia w transmisji danych w systemie. W systemie są realizowane cztery grupy zadań. W każdej grupie zadań występują zadania o identycznych parametrach czasowych.

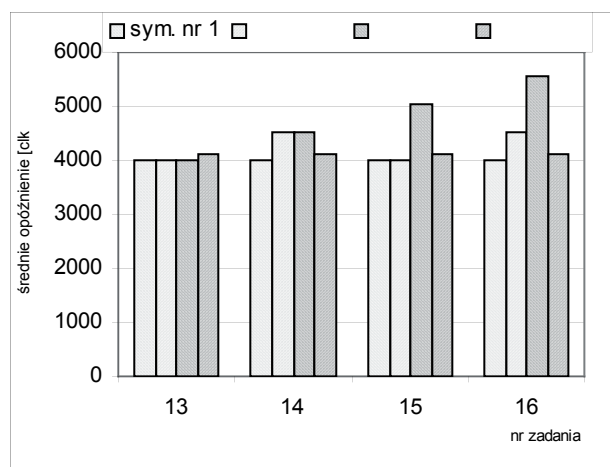


Rys. 6. Średnie opóźnienia w transmisji danych dla przypadku: 1, 7, 9, 11 dla zadań systemu o najkrótszym okresie występowania

Fig. 6. The average delay of data transmission for case: 1, 7, 9, 11 for system tasks with the shorter period.

Na rys. 6 i 7 przedstawiono średnie czasy opóźnień w transmisji danych dla zadań z grupy o najmniejszym i największym okresie występowania. Dla wszystkich wymienionych przypadków współczynnik wykorzystania magistrali wynosił $u_m = 0,5$ natomiast współczynnik przejścia systemu $k_s = 1$. W kolejnych realizacjach zadania był wyznaczany odstęp czasu od momentu wpisania danych do bufora nadawczego węzła pomiarowego do momentu odczytu danych z bufora odbiorczego węzła wykonawczego lub bufora dedykowanego. Wpisanie danych do bufora nadawczego odbywało się

w końcowej fazie realizacji zadania pomiarowego. Odczyt danych z bufora odbiorczego następował także w fazie końcowej realizacji zadania wykonawczego.



Rys. 7. Średnie opóźnienia w transmisji danych dla przypadku: 1, 7, 9, 11 dla zadań systemu o najdłuższym okresie występowania

Fig. 7. The average delay of data transmission for case: 1, 7, 9, 11 for system tasks with the longer period.

Zastosowanie mechanizmu buforów dedykowanych wiąże się ze wzrostem średniego opóźnienia w transmisji danych w systemie. Największy wpływ zastosowania buforów dedykowanych na opóźnienie występuje przy zadaniach o krótszym okresie występowania. Dla zadań o okresach większych ten wpływ jest znacznie mniejszy.

4. Podsumowanie

W artykule, na przykładzie systemu pracującego wg zasady *peer to peer*, przedstawiono zastosowanie modelu RSPS do oceny wpływu struktury systemu i struktury węzła na poziom utraty danych i wartość czasu opóźnienia w transmisji danych w systemie. Przeprowadzone badania symulacyjne wskazują, że zastosowanie modelu RSPS na etapie projektowania systemu może w znacznym stopniu pomóc podjąć decyzję o docelowej strukturze systemu. Znajomość stopnia utraty danych w systemie jest niezbędna w celu oceny poprawności funkcjonowania systemu. Natomiast znajomość czasu opóźnienia w transmisji danych, a w szczególności ich rozkładów pozwala na ocenę systemu ze względu na warunki czasu rzeczywistego oraz może być przydatna w ocenie właściwości metrologicznych systemu [4].

5. Literatura

- [1] Michta E.: Modele komunikacyjne w planowaniu wykonania zadań w sieciowych systemach pomiarowo-sterujących. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej seria Elektryka z.181, Gliwice 2002.
- [2] Markowski A.: Wyznaczanie opóźnień transmisji danych w sieciowych systemach pomiarowo-sterujących. PAR 7-8, 2004.
- [3] Kwiecień A., Bigowski Z., Mrówka Z.: Analiza czasu najgorszego przypadku w sieciach przemysłowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. seria Informatyka, z. 36, Gliwice 1999.
- [4] Jakubiec J.: Błędy powodowane opóźnieniami w systemie pomiarowo-sterującym. PAR 7-8, 2004.
- [5] Markowski A.: Model symulacyjny rozproszonego systemu pomiarowo-sterującego. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Zielonogórski, Wydz. Elektrotechniki Informatyki i Telekomunikacji. Zielona Góra 2006.
- [6] Tyszer J.: Symulacja cyfrowa. WNT, Warszawa 1990.

Artykuł recenzowany

* Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008, jako projekt badawczy rozwojowy.