

# Zastosowanie pakietowej transmisji danych – GPRS w rozproszonych systemach pomiarowych

Michał Maćkowski\*

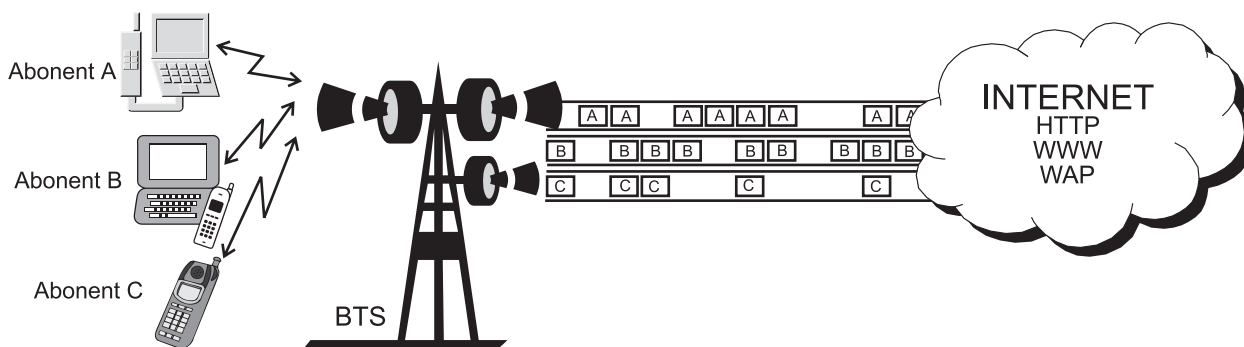
W artykule przedstawiono pakietową transmisję danych GPRS (*General Packet Radio Service*) w sieciach komórkowych GSM/GPRS. Omówiono możliwości rozproszonych systemów pomiarowych wykorzystujących, do transmisji wyników pomiarów, pakietową transmisję GPRS. Pokazano przykładowe rozwiązania systemów zbudowane i sprawdzone przez autora w Politechnice Poznańskiej. Zaprezentowano wyniki pomiarów efektywnej szybkości transmisji danych pomiarowych. Rozważono wady i zalety tego sposobu transmisji danych, które porównano z szybko komutowaną transmisją danych w sieciach GSM: HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*).

**Application of packet data transmission in distributed measuring system.** In this article GPRS (General Packet Radio Service) data transmission in GSM/GPRS mobile network was presented. Features and possibility of measuring system with packet data transmission was described. An example this kind of measuring system, build and tested by author in Poznań University of Technology, was shown. The results of measurement an effective speed data transmission was presented. In conclusion there are some words about features: advantages and disadvantages this solution, compared to HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) transmission method in GSM network.

## Wstęp

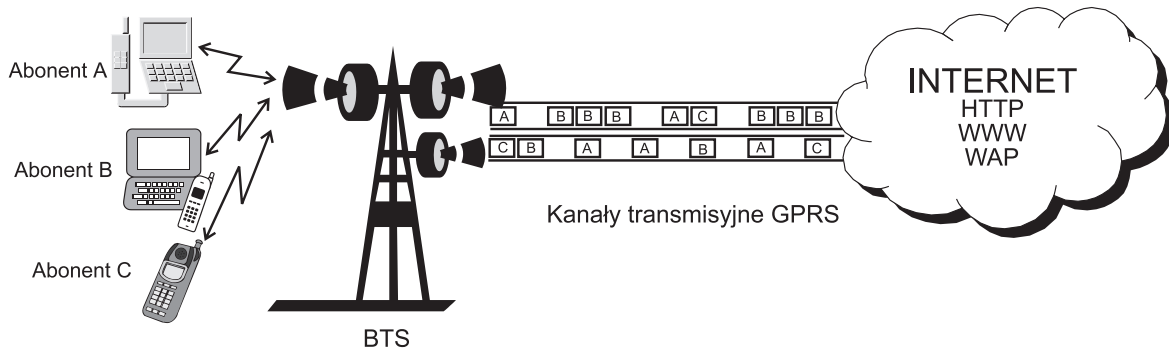
Pakietowa transmisja danych GPRS (*General Packet Radio Services*) stanowi jedną z usług transmisji danych w sieciach telefonii komórkowej GSM. Obok transmisji GPRS sieci GSM oferują transmisję z komutacją kanałów CSD (*Circuit Switched Data*) oraz jej modyfikację zwiększającą przepływność – HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*). Zarówno GPRS i HSCSD

umożliwiają zblizoną maksymalną szybkość transmisji (obecnie w Polsce GPRS 53,6 kbit/s, HSCSD 57,6 kbit/s). Najistotniejszą cechą różniącą te technologie transmisji danych jest sposób wykorzystania dostępnych zasobów sieciowych. W HSCSD kanał transmisyjny jest przydzielony abonentowi na wyłączność przez cały czas trwania połączenia, niezależnie od jego aktywności (ilości wymienianych danych) i w tym czasie nie jest dostępny dla innych użytkowników sieci (rys. 1). GPRS



**Rys. 1.** Ilustracja transmisji danych w trybie HSCSD w sieciach GSM. Każdy abonent zajmuje oddzielny kanał transmisyjny przez cały czas trwania połączenia

\* mgr inż. Michał Maćkowski – Politechnika Poznańska, Instytut Elektroniki i Telekomunikacji



**Rys. 2.** Ilustracja transmisji danych pakietowych GPRS w sieciach GSM/GPRS. Dane wszystkich abonentów są transmitowane przez współdzielone kanały transmisyjne. Użytkownik wykorzystuje dostępne pasmo tylko w czasie transmisji

umożliwia współdzielenie tych samych kanałów transmisyjnych przez wielu abonentów [1]. Dany użytkownik wykorzystuje zasoby sieci tylko na czas wymiany danych, w pozostałym czasie zasoby te są dostępne dla innych abonentów (rys. 2). Takie rozwiązanie umożliwia zmianę sposobu naliczania opłat za transmisję: w przypadku GPRS abonent płaci za ilość wysłanych i odebranych danych, z kolei korzystając z transmisji HSCSD abonent płaci za całkowity czas połączenia. To pozwala użytkownikowi wykorzystującemu transmisję GPRS na stałe połączenie z siecią, adres IP przydzielony jego terminalowi jest stale widoczny w sieci.

Wykorzystanie usług transmisji danych oferowanych przez sieci GSM/GPRS, zwłaszcza GPRS, stwarza nowe możliwości przy budowaniu rozproszonych systemów pomiarowych [2]. Bezprzewodowa transmisja danych pomiarowych jest alternatywą dla systemów przewodowych, szczególnie gdy obiekt pomiaru znajduje się w znacznej odległości od centrali systemu pomiarowego, lub znajduje się w trudno dostępnym miejscu (np. rozległe tereny leśne, puszcze, parki narodowe) oraz gdy obiekt pomiaru przemieszcza się po dużym obszarze. Systemy pomiarowe oparte na transmisji danych przez sieci GSM/GPRS doskonale spełniają to zadanie. Ich zaletą jest duży zasięg potencjalnego systemu (obszar działania sieci GSM), dodatkowo nie wymagają dużych nakładów inwestycyjnych przeznaczonych na budowę infrastruktury telekomunikacyjnej. W systemach pomiarowych można wykorzystać zarówno transmisję danych z komutacją kanałów (CSD, HSCSD), jak i z komutacją pakietów (GPRS); o wyborze sposobu transmisji decyduje ilość i częstość transmitowanych danych.

Cechy pakietowej transmisji danych GPRS predestynują ją do zastosowania w systemach pomiarowych, w których jest wymagana stała, ciągła łączność stacji pomiarowych z centralą, a dane są transmitowane nieokresowo lub często w niewielkich pakietach (pojedyncze kilobajty).

Przykłady zastosowań technologii GPRS w systemach pomiarowych:

- w pomiarach meteorologicznych do automatycznej akwizycji wyników pomiarów temperatury, wilgotności, siły i kierunku wiatru itp. z rozmieszczonych na dużym obszarze lub poruszających się stacji pomiarowych
- do monitorowania alarmowego, np. przekroczenia poziomów alarmowych zbiorników wodnych, wykrywania pożarów na dużych obszarach leśnych
- w pomiarach geodezyjnych, kartograficznych do bezpośredniej transmisji danych z odbiorników systemu nawigacji satelitarnej GPS
- do nadzoru floty pojazdów w przedsiębiorstwach kurierskich, transportowych, komunikacji publicznej
- w energetyce do nadzoru stacji transformatorowych, rozdzielczych itp.

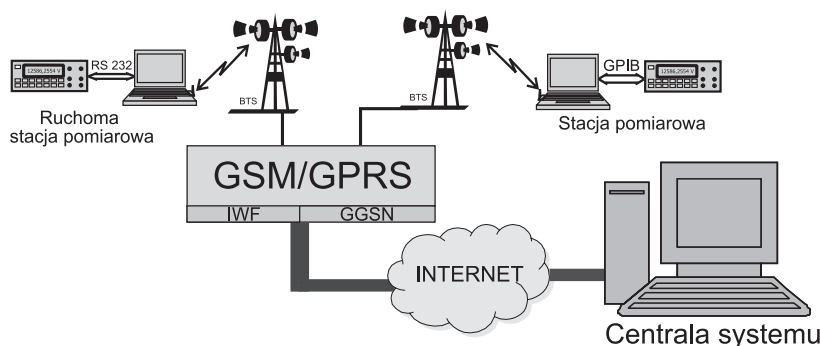
## Pakietowa transmisja danych – GPRS

Transmisja pakietowa GPRS została wprowadzona w 2000 roku, w systemie GSM drugiej generacji w tzw. fazie 2+ [3]. W GPRS dane transmitowane przez różnych użytkowników są dzielone na pakiety, które następnie są transmitowane przez współdzielone kanały, podobnie jak w sieciach komputerowych. Wszystkie pakiety danych zawierają adres przeznaczenia, dlatego mogą być przenoszone niezależnie, różnymi trasami, zwykle z pewnym opóźnieniem. Ponadto protokoły transmisji GPRS, oparte na protokołach IP, bezproblemowo mogą współpracować z protokołami stosowanymi w stacjonarnych sieciach komputerowych.

W specyfikacjach opisujących GPRS definiuje się cztery schematy kodowania danych w pojedynczej szczelinie TDMA, o różnych przepływnościach (tabela 1). Podstawowa różnica pomiędzy schematami polega na liczbie bitów przesyłanych dodatkowo w celu korekcji błędów. Wyboru używanego sposobu kodowania dokonuje stacja bazowa sieci GSM/GPRS, wybór ten jest uzależniony głównie od jakości interfejsu radiowego, pomiędzy terminalem a stacją. Aktualnie, w praktyce wykorzystuje się jedynie schematy CS-1 oraz CS-2.

**Tabela 1.** Schematy kodowania zdefiniowane w GPRS

Schemat kodowania	CS-1	CS-2	CS-3	CS-4
Maksymalna przepływność pojedynczego kanału (kbit/s)	9,05	13,4	15,6	21,4



Rys. 3. System pomiarowy z transmisją danych w sieci GSM/GPRS

Drugim parametrem transmisji GPRS odpowiedzialnym za maksymalną przepływność jest klasa transmisji wielokanałowej (tzw. *multislot class*), którą może obsługiwać stacja ruchoma. Określa ona liczbę kanałów, które stacja może wykorzystywać do wysyłania i odbierania danych (tabela 2).

Aktualnie, dostępne na rynku terminale GSM/GPRS należą do następujących klas transmisji wielokanałowej: 4, 5, 6, 8 i 10. W większości mogą one obsługiwać dowolny schemat kodowania. Maksymalne szybkości transmisji w GPRS obecnie wynoszą: 53,6 kbit/s dla danych odbieranych przez stacje ruchomą i 26,8 kbit/s dla danych nadawanych (klasa 10).

Istotną zaletą technologii GPRS jest reakcja na przeciążenie sieci GSM/GPRS, polegająca na automatycznym zmniejszeniu przepływności poszczególnych połączeń, a nie blokowaniu dostępu do sieci lub zerwaniu istniejącego połączenia – jak ma to miejsce w tradycyjnych sieciach GSM z komutacją kanałów (CSD, HSCSD).

## Systemy pomiarowe zbudowane w Politechnice Poznańskiej

Jak wspomniano we wstępie, usługi transmisji danych oferowane przez sieci komórkowe GSM/GPRS umożliwiają wykorzystanie ich w rozproszonych systemach pomiarowych. Przykład takiego rozwiązania pokazano na rys. 3. Według tego schematu zbudowano i sprawdzono działanie systemu pomiarowego przeznaczonego do zdalnego pomiaru temperatury. System zestawiono z pojedynczej, przenośnej stacji pomiarowej oraz centrali systemu.

Stacja pomiarowa, przez modem GSM/GPRS, łączyła się z punktem dostępowym do Internetu, udostępnio-

nym przez operatora sieci GSM, a następnie przez Internet z centralą systemu. Po nawiązaniu połączenia wysyłała, w czasie rzeczywistym, wyniki pomiarów temperatury.

Centralę systemu stanowi komputer stacjonarny klasy PC połączony z siecią Internet za pomocą łącza stałego. Ważną cechą połączenia centrali systemu z Internetem jest jej stały adres IP, który umożliwia „odnalezienie centrali” w sieci przez stację pomiarową. Programy sterujące pracą stacji pomiarowej oraz centrali napisano w środowisku LabView. Widok panelu użytkownika programu sterującego pracą centrali pokazano na rys. 4. Zadaniem centrali systemu jest rejestracja i wizualizacja przychodzących wyników.

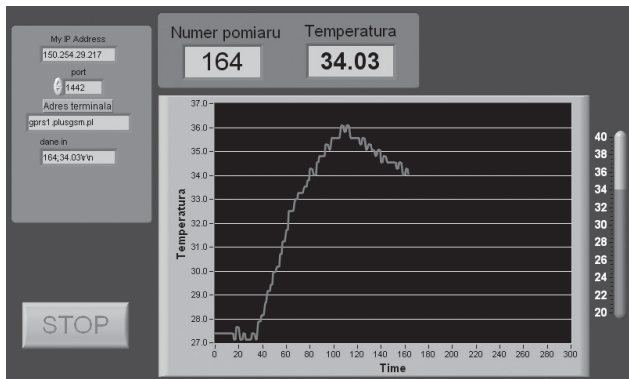
Przedstawiony system pomiarowy stanowi praktyczną realizację zdalnego pomiaru temperatury. Dynamika systemu umożliwia transmisję do 10 pomiarów w jednostce czasu. Wszystkie transmitowane dane były zapisywane po stronie nadawczej i odbiorczej w celu późniejszego porównania. Zastosowany protokół transmisji danych TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) jest protokołem transmisji gwarantowanej [4]. Wybór tego protokołu powinien zagwarantować poprawność transmisji bez konieczności stosowania dodatkowych mechanizmów.

Po przeprowadzeniu serii prób i porównaniu danych nadanych przez stację pomiarową z danymi zarejestrowanymi przez centralę systemu, nie stwierdzono błędów w transmisji – wszystkie wysłane dane zostały bez błędów odebrane przez centralę systemu.

Przed sprawdzeniem maksymalnej przepływności systemu pomiarowego z transmisją danych przez GPRS oraz Internet, wykonano pomiary czasów retransmisji pakietów danych o różnej długości. Napisano program, który cyklicznie transmitował do centrali pakiety o za-

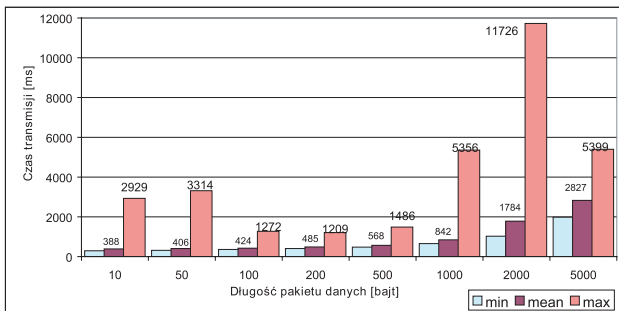
Tabela 2. Przykładowe klasy transmisji wielokanałowej (wg GSM TS 05.02)

Klasa transmisji wielokanałowej	Maksymalna liczba kanałów (slotów)		
	w dół (Rx)	w górę (Tx)	Suma
4	3	1	4
5	2	2	4
6	3	2	4
8	4	1	5
10	4	2	5



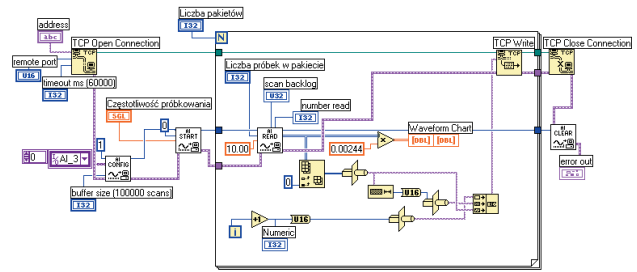
Rys. 4. Widok panelu użytkownika programu sterującego pracą centrali systemu

danej długości, centrala natychmiast po odebraniu pakietu retransmitowała go powrotnie do stacji wysyłającej. Rejestrowano czas tej operacji. Przyjęto połowę tego czasu jako czas transmisji pakietu w systemie. Na rys. 5 przedstawiono wykres ilustrujący zarejestrowane czasy transmisji pakietów o różnych długościach. Na wykresie pokazano średni czas transmisji pakietu, obliczony z serii 100 cykli, oraz dodatkowo najkrótszy i najdłuższy czas transmisji w serii.



Rys. 5. Wykres przedstawiający czas transmisji pakietu danych w zależności od jego długości

W celu sprawdzenia maksymalnej przepływności systemów pomiarowych z transmisją danych w sieciach GSM/GPRS, dokonano modyfikacji przedstawionego wcześniej systemu. Polegała ona głównie na zamianie urządzenia pomiarowego. W miejsce multimetru cyfrowego zastosowano kartę pomiarową DAQCard-6024E, wykorzystującą 12-bitowy przetwornik a/c, o maksymalnej częstotliwości próbkowania 200 kS/s. Ta zmiana pozwoliła na znaczne zwiększenie szybkości rejestrowanych i transmitowanych pomiarów, ponadto uzyskano wynik pojedynczego pomiaru o stałej długości – 2 bajty, co dodatkowo poprawiło efektywność transmisji. Modyfikacji poddano także oprogramowanie zarówno stacji pomiarowej jak i centrali.



Rys. 6. Diagram programu ilustrującego pracę stacji pomiarowej

Umożliwiono transmisję wyników pomiarów w pakietach o maksymalnej długości 65 536 próbek. Na rys. 6 pokazano diagram programu ilustrującego algorytm działania stacji pomiarowej. Program sterujący po uruchomieniu nawiązywał połączenie z centralą systemu, następnie konfigurował kartę pomiarową i inicjował pomiary (na rys. 6. obiekt AI START) o zadanej częstotliwości próbkowania. Próbkki były lokowane w szeregowym buforze o długości 100 tys. próbek. W pętli odczytywano próbki z pamięci (obiekt AI READ), dane uzupełniano informacjami dodatkowymi: numerem pakietu oraz liczbą próbek w pakiecie (na rys. 7 pokazano ramkę transmitowanego pakietu) i wysyłano do centrali systemu. Po każdym powtórzeniu pętli obserwowano liczbę pozostałych w pamięci (nieodczytanych) próbek (obiekt *scan backlog*). Systematyczne zwiększanie się tej wartości świadczy o tym, że system nie nadąża transmitować, na bieżąco, odczytywanych z pamięci danych.

Nagłówek TCP	Numer pakietu (2 bajty)	Liczba próbek w pakiecie (2 bajty)	Próbki (0 – 131 072 bajty)
--------------	-------------------------	------------------------------------	----------------------------

Rys. 7. Format pakietu z danymi pomiarowymi

Po wysłaniu serii pakietów danych obliczano średnią szybkość transmisji danych w systemie. Szybkość tę obliczano z zależności (1), jako stosunek liczby wszystkich wysłanych bajtów danych do całkowitego czasu transmisji serii pakietów.

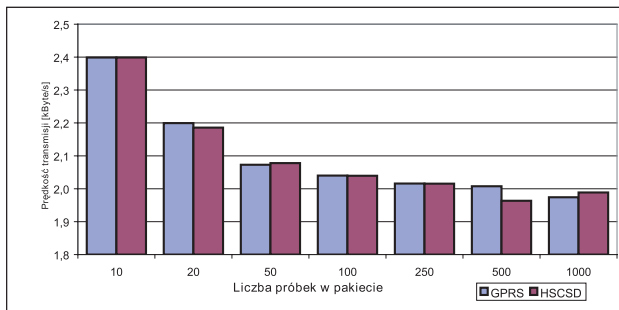
$$\bar{V} = \frac{N}{T} \cdot 8 \text{ (bit/s)} \quad (1)$$

gdzie:  $\bar{V}$  – średnia szybkość transmisji,  $N$  – liczba wszystkich wysłanych bajtów danych,  $T$  – całkowity czas transmisji.

W tabeli 3 przedstawiono średnią szybkość transmisji danych w systemie. Dane transmitowano w pakietach zawierających różną liczbę próbek. Badany sy-

Tabela 3. Średnia szybkość transmisji danych w omawianym systemie pomiarowym, sygnału próbkowanego z częstotliwością 1 kHz

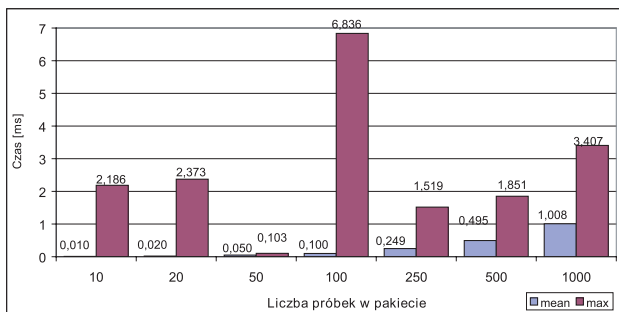
Technologia transmisji	Liczba próbek pomiarowych w pakiecie							
	10	20	50	100	250	500	1000	
GPRS	19,19	17,60	16,58	16,32	16,13	16,06	15,79	kbit/s
HSCSD	19,19	17,49	16,62	16,32	16,12	15,45	15,91	kbit/s



Rys. 8. Średnia prędkość transmisji danych w systemie w zależności od liczby próbek pomiarowych w transmitowanym pakiecie

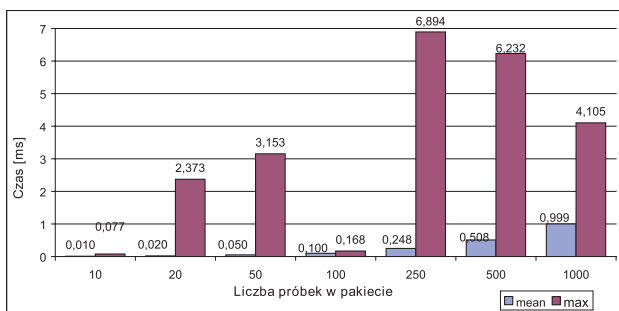
gnał próbkowano z częstotliwością 1 kHz. Pojedyncza próbka jest dwubajtowa, zatem przesłanie samego sygnału próbkowanego z częstotliwością 1 kHz wymaga pasma o przepływności 16 kHz, wyższe szybkości transmisji przedstawione w tabeli 3 wynikają z obecności w każdym pakiecie dodatkowych czterech bajtów informacyjnych. Ilustracją tabeli 3 jest wykres przedstawiony na rys. 8.

Poprzez pomiar czasu wykonania pętli, dokonywano pomiaru i rejestracji czasu wysyłania pojedynczych pakietów. Wyniki te przedstawiono na wykresach (rys. 9 i 10). Na wykresach pokazano wartości średnie i maksymalne.



Rys. 9. Czas wysyłania przez GPRS pojedynczego pakietu (wykonania pojedynczej pętli programu)

Wartości średnie czasów wysyłania pakietów pokrywają się w obu sposobach transmisji (GPRS i HSCSD) z wartościami teoretycznymi, które możemy wyznaczyć, dzieląc częstotliwość próbkowania przez liczbę próbek w pakiecie. Aby transmisja przebiegała na bieżąco, czas wysyłania pakietów nie powinien być dłuższy od tych



Rys. 10. Czas wysyłania przez HSCSD pojedynczego pakietu (wykonania pojedynczej pętli programu).

wartości. Zwiększenie czasu transmisji pakietu powodowało powstawanie opóźnień w transmisji i zwiększanie liczby nieodczytanych próbek w pamięci stacji. Ponieważ efektywna przepływność danych w Internecie ma charakter losowy w wyniku ciągłych zmian obciążenia sieci, niewielkie opóźnienia pojawiały się stosunkowo często. Po wysłaniu serii pakietów z pomiarami przez stację pomiarową, centrala systemu kończyła odbiór danych kilka, kilkanaście sekund później. Przedstawione na wykresie maksymalne zarejestrowane czasy transmisji pojawiały się sporadycznie, niezależnie od zastosowanej technologii transmisji (GPRS, HSCSD), wielkości pakietu oraz pory transmisji.

Transmitowano sygnał próbkowany z maksymalną częstotliwością 1 kHz, przy wyższych częstotliwościach, w wyniku pojawiających się opóźnień w transmisji, system nie nadążał odczytywać i transmitować rejestrowanych próbek sygnału, co przy skończonej pojemności pamięci przeznaczonej na próbki powodowało utratę części danych.

Czas tworzenia połączenia stacji pomiarowej z Internetem nie przekraczał kilkunastu sekund. Połączenie realizowano za pomocą techniki *Dial-Up*. Połączenia GPRS, wielokrotnie zestawiane podczas badań, trwały od kilku minut do kilku godzin i nie zauważono przypadkowego ich zrywania, w przeciwieństwie do połączeń komutowanych HSCSD, gdzie połączenia były zrywane po kilkunastu minutach (najdłuższe połączenie trwało 16 min i 30s).

## Uwagi końcowe i wnioski

Zastosowanie GPRS, w rozproszonych systemach pomiarowych umożliwia transmisję wyników pomiarów, zawartych w jednym, dwóch bajtach, rejestrowanych z częstotliwością pojedynczych kiloherców. Jest to wartość wystarczająca do wielu zastosowań takich systemów, np. w meteorologii. Przedstawione wyniki świadczą o bardzo zbliżonych możliwościach transmisji danych w obu sprawdzonych technologiach GPRS oraz HSCSD. Do niewątpliwych zalet systemów pomiarowych wykorzystujących transmisję w sieci GSM/GPRS można zaliczyć: duży obszar działania (zasięg systemu GSM), mobilność, niskie koszty związane z wdrażaniem systemu pomiarowego oraz dużą elastyczność systemu umożliwiającą łatwą jego rekonfigurację.

## Bibliografia

- [1] Simon A., Walczyk M.: Sieci komórkowe GSM/GPRS. Usługi i bezpieczeństwo, Wyd. Xylab, Kraków 2002.
- [2] Nawrocki W.: Komputerowe systemy pomiarowe, Wyd. WKŁ, Warszawa, 2002.
- [3] Urbanek A.: Vademecum Teleinformatyka II, Wyd. IDG Poland S.A., Warszawa 2002.
- [4] Komar B.: TCP/IP dla każdego, Wyd. Helion, Gliwice, 2002.