

Propozycja systemu stacji referencyjnych GPS dla Warszawy i okolic

# W zasięgu sieci

**JERZY B. ROGOWSKI, LECH KUJAWA, PAWEŁ MAZURKIEWICZ, JACEK RATAJCZAK**

**Ciągłe obserwacje GPS na stacjach międzynarodowej służby IGS (International GPS Service for Geodynamics) prowadzone są w Polsce od 1993 roku. Liczba tych stacji wzrastała w ciągu ostatnich kilku lat i stanowiły one wraz z innymi stacjami w Europie podstawę zakładania sieci dla celów naukowych i praktycznych. Obecny stan technik telekomunikacyjnych i technik obserwacyjnych GPS umożliwia udostępnianie zbiorów danych obserwacyjnych do ich wykorzystania tak w czasie rzeczywistym, jak i postprocessingu oraz zapewnia uzyskanie pozycji ze zróżnicowaną dokładnością.**

**T**echniki pomiarów GPS można podzielić z grubsza na wykorzystujące pomiar kodu (mniej dokładne) i pomiar fazy (pozwalające na wyznaczenie pozycji nawet z dokładnością subcentymetrową). Wyznaczanie pozycji może odbywać się w czasie rzeczywistym i postprocessingu. W przypadku pomiaru fazowego dokładność zależy od odbiornika, jaki został użyty (jedno- czy dwuczęstotliwościowy), oraz od techniki pomiarów. Najbardziej dokładna jest technika statyczna, mniej – szybka statyczna, a najmniej – kinematyczna. Wyznaczenie pozycji poprzez pomiar fazy odbywa się zasadniczo w postprocessingu. Metoda kinematyczna dzięki stosowanym obecnie algorytmom szybkiej inicjalizacji – OTF (*On The Fly*) stosowana jest do pomiarów w ruchu, np. do określania pozycji środków rzutów kamer fotogrametrycznych w czasie wykonywania zdjęć lotniczych. Metoda kinematyczna pozwala również na pomiar w czasie rzeczywistym zwany techniką RTK (*Real Time Kinematics*). Metoda ta pozwala wyznaczać zarówno pozycje w ruchu, jak i pozycje nieruchomych punktów na powierzchni Ziemi. Obszar jej zastosowań rozciąga się od zagadnień precy-

zyjnej nawigacji (np. kierowanie dobieganiem do kei dużych jednostek pływających), poprzez badania procesów dynamicznych (np. badanie stabilności wysokich masztów antenowych) aż do pomiarów sytuacyjno-wysokościowych GPS total station.

**S**zybki wzrost liczby stacji permanentnych GPS w Europie zastępujących punkty nawiazania sieci geodezyjnych oraz wzrost liczby użytkowników tych technik spowodował

W czasie pomiarów na poligonie testowym





Rys. 1. Szkic testowego poligonu

konieczność podziału sieci europejskiej EUREF na podsieci lokalne oraz wyłączenia z niej sieci zapewniającej dane GPS dla celów komercyjnych. Przykładami takich sieci wykorzystywanych do celów praktycznych i opartych na zasadach komercyjnych są SAPOS i SWEPOS. Pierwsza z nich pracuje na terenie Niemiec, a druga w Szwecji. Aby wyłożyć istotę naszej propozycji, posłużymy się przykładem sieci SAPOS. Sieć SAPOS administrowana jest przez Związek Publicznych Władz Geodezyjnych Landów RFN – AdV. Docelowo ma składać się z około 200 pracujących w sposób ciągły

dwuczęstotliwościowych stacji GPS dostarczających wyniki obserwacji o najwyższej precyzji. Taka liczba punktów zapewnia średnią odległość pomiędzy nimi rzędu 50 km. Serwis SAPOS umożliwia obsłużenie zarówno odbiorników kodowych GPS w zakresie poprawki różnicowej umożliwiającej pozycjonowanie z dokładnością od kilku metrów do kilku decymetrów w zależności od użytego odbiornika (technika DGPS), jak i odbiorników z pomiarem fazy zapewniającym uzyskanie dokładności nawet subcentymetrowych. SAPOS obejmuje cztery serwisy o różnych cechach i dokładnościach:

- SAPOS EPS – wyznaczenie pozycji w czasie rzeczywistym (DGPS);
- SAPOS HEPS – wyznaczenie pozycji w czasie rzeczywistym z wysoką dokładnością (RTK);
- SAPOS GPPS – precyzyjne wyznaczenie pozycji dla celów geodezyjnych;
- SAPOS GHPS – wyznaczenie pozycji dla celów geodezyjnych z bardzo wysoką dokładnością.

Podstawowe dane charakteryzujące usługi w systemie SAPOS przedstawione są w tabeli na stronie obok.

**U**życie dekodera przy pomiarach w czasie rzeczywistym, jak również przy pozyskiwaniu danych, ułatwia rozwiązanie szeregu problemów technicznych oraz porządkuje i upraszcza system opłat. Dane przekazywane drogą radiową wykorzystują:

1. Sieć narodową ARD – FM na kanale informującym o korkach ulicznych oraz system RDS.
2. Fale długie LW z nadajnika w pobliżu Frankfurtu nad Menem – system transmisji cyfrowej na niskich częstotliwościach.
3. W zakresie VHF (na falach o długości ok. 2 m) nadajniki o zasięgu lokalnym, które administrowane są przez AdV. Zasięg tych nadajników obejmuje obecnie ponad 40% obszaru Niemiec. Wykorzystują one 5 przyznaných do tego celu częstotliwości. Na obszarach, gdzie nie jest jeszcze możliwy odbiór w zakresie VHF, transmisja odbywa się poprzez telefony komórkowe GSM.

**C**zęść usług oferowanych przez niemiecki system SAPOS mogłaby zostać uruchomiona w Warszawie i okolicach dzięki wykorzystaniu istniejących stacji Józefosław, Borowa Góra oraz uruchomieniu nowej stacji w Wojskowej Akademii Technicznej. Od kilku lat stacje w Józefosławiu i Borowej Górze prowadzą ciągłe obserwacje GPS dla potrzeb służby IGS. Stacja w Józefosławiu posiada szybkie łącze internetowe ze znajdującym się Instytucie Geodezji Wyższej i Astronomii Geodezyjnej Politechniki Warszawskiej Centrum Analiz GPS. W instytucie tym od początku 1996 r. działa Lokalne Centrum Analiz EUREF wykonujące obecnie systematyczne codzienne obliczenia części permanentnej sieci EUREF. Dysponuje ono wyposażeniem komputerowym, oprogramowaniem oraz personelem umożliwiającym zarówno przetwarzanie danych obserwacyjnych w czasie rzeczywistym, jak i ich transmisję i dystrybucję. Obserwatorium w Borowej Górze podległe Instytutowi Geodezji i Kartografii nie posiada jeszcze połą-

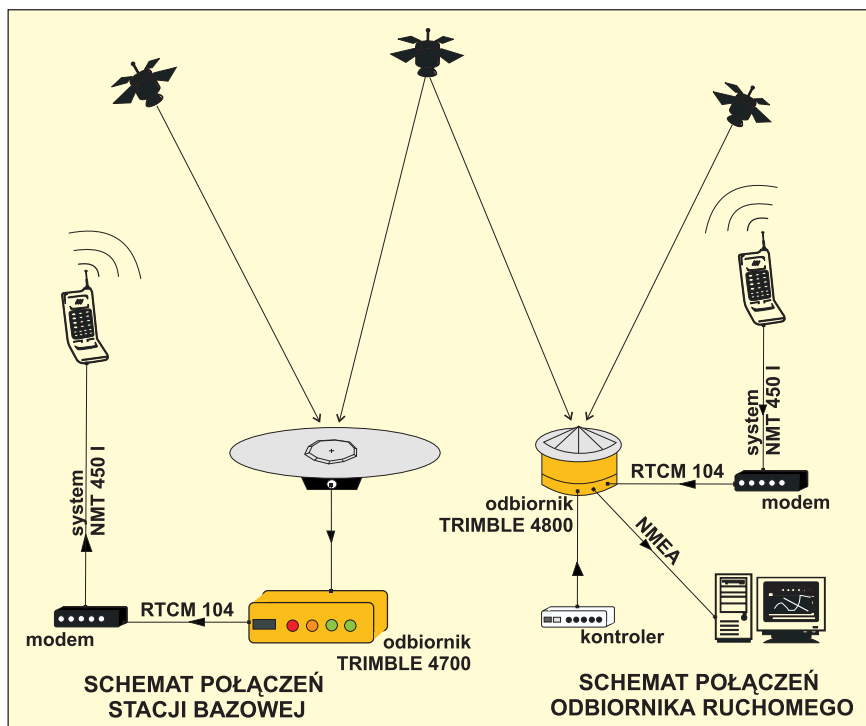


czenia internetowego, ale możliwe jest uzyskanie takiego połączenia przy wykorzystaniu telekomunikacyjnej usługi ISDN. Jeżeli chodzi o Wojskową Akademię Techniczną, to ma ona zarówno odpowiedni odbiornik satelitarne GPS, jak i połączenie internetowe. Wszystkie z tych trzech ośrodków prowadzą prace związane z wykorzystaniem w geodezji satelitarnych technik GPS. Istnieją więc warunki dla zorganizowania sieci stacji referencyjnych GPS dla Warszawy i jej okolic. Sieć tych stacji służyłaby:

- nawigacji (np. komunikacja miejska, służby kryzysowe, policja, kontrola ruchu ładunków niebezpiecznych);
- wyznaczaniu pozycji dla potrzeb m.in. LIS, GIS, katastru, ewidencji gruntów, geodezji, fotogrametrii, hydrologii i ekologii.

Jedynym problemem, jaki wymagał przeprowadzenia badań, było określenie zasięgu techniki RTK i zmniejszenia dokładności związanego ze wzrostem odległości pomiędzy stacją referencyjną i odbiornikiem ruchomym. Dla przeprowadzenia tych badań założono poligon testowy składający się z punktów leżących w odległości od 35 m do 50 km od stacji bazowej znajdującej się na terenie Obserwatorium Astronomiczno-Geodezyjnego Politechniki Warszawskiej w Józefosławiu. Szkic tego poligonu przedstawiony jest na rysunku 1.

Współrzędne punktów tego poligonu pomierzone zostały metodą statyczną za pomocą odbiorników GPS TRIMBLE 4000SSE. Na punktach poligonu przeprowadzono serię obserwacji kinematycznych techniką RTK. Na stacji referencyjnej pracował odbiornik TRIMBLE 4700, zaś sta-



Rys. 2. Schemat systemu pomiarowego

cją ruchomą był odbiornik TRIMBLE 4800. Do transmisji zbiorów bazowych w formacie RTCM 104 zastosowano telefony komórkowe Nokia wraz z modemami, pracujące w systemie analogowym NMT 450i, użyczone przez PTK Centertel. Schemat systemu pomiarowego przedstawiony jest na rysunku 2.

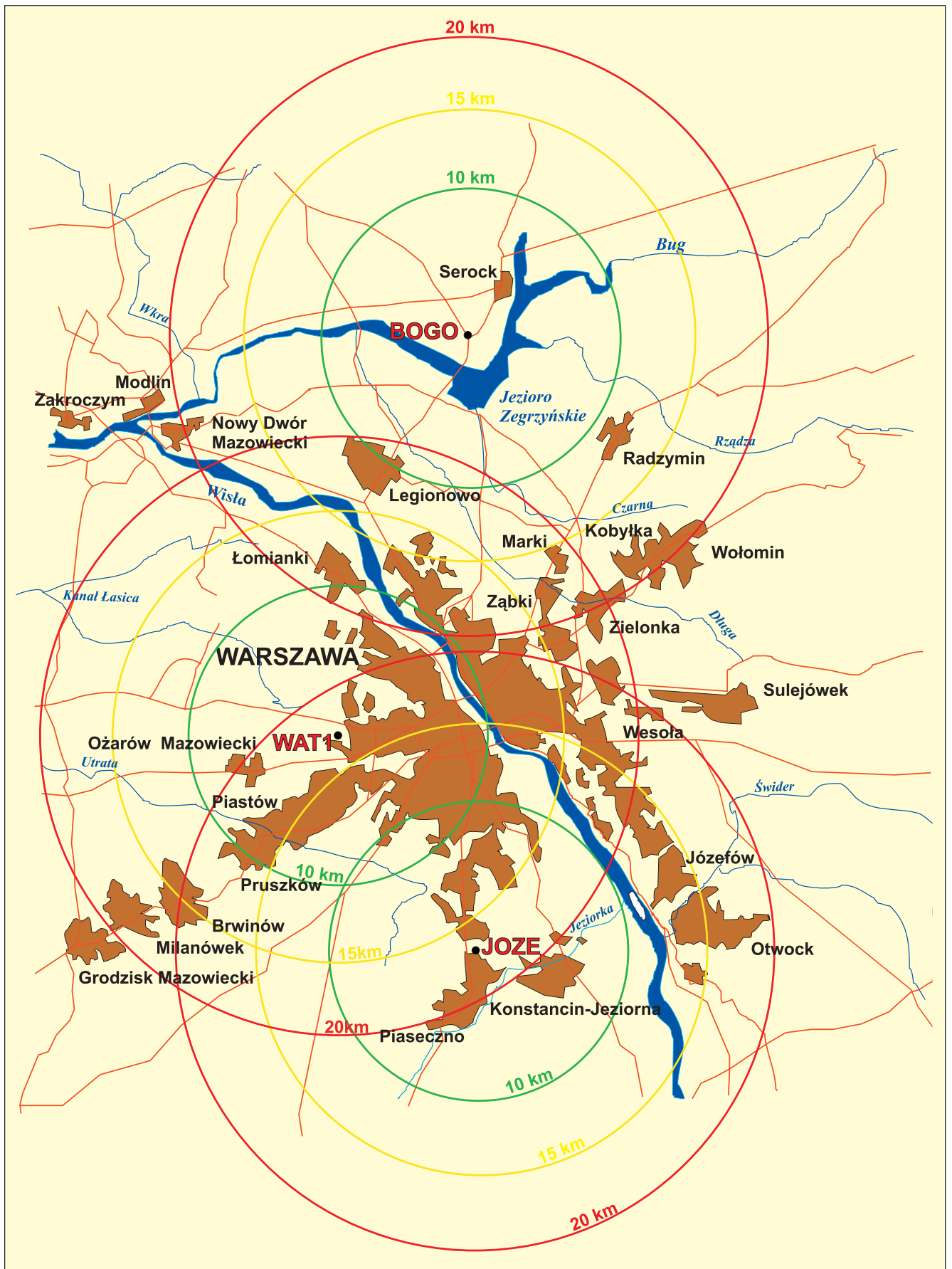
Na każdym z punktów poligonu przeprowadzono co najmniej 8 sesji pomiarowych w różnych porach dnia i przy różnej konfiguracji satelitów. Wyniki te umożliwiły obliczenie odchylenia standar-

dowego z pomiarów wykonanych na każdym z punktów poligonu. Zestawienie odchylenia standardowych dla poszczególnych punktów bazy przedstawione jest na wykresie 1. Odchylenie standardowe pomiarów RTK względem pomiaru statycznego pokazane jest na wykresie 2.

Analizując uzyskane wyniki (wykres 2), można stwierdzić, że pomiar RTK za pomocą wyżej opisanych odbiorników jest możliwy do odległości 40 km. Powyżej 40 km dokładność wyznaczanej pozycji

Usługa	Dostępność	Nośnik	Format	Aktualizacja	Dokładność	Dekoder	Dopuszczalna liczba użytkowników
SAPOS EPS	w czasie rzeczywistym	FM RDS 50 bps	RTCM	3-5 s	1-3 m	tak	nieograniczona
		LW ALF 300 bps	RTCM	3 s	1-3 m	nie	nieograniczona
		VHF (2m) 2400 bps	RTCM	1 s	1-2 m	tak	nieograniczona
SAPOS HEPS	w czasie rzeczywistym	VHF (2m) 2400 bps	RTCM	1 s	1-5 cm	tak	nieograniczona
		GSM 9600 bps	RTCM	1 s	1-5 cm	tak	duża
SAPOS GPPS	w czasie rzeczywistym	GSM 9600 bps	RINEX	1 s	1 cm	tak	duża
	w postprocessingu	dysk – telefon Internet 2400-64000bps	RINEX	1 lub 15 s	1 cm	nie	nieograniczona
SAPOS GHPS	w postprocessingu	dysk – telefon Internet 2400-64000 bps	RINEX	1 lub 15 s	<1 cm	nie	nieograniczona

Tabela 1. Charakterystyka usług oferowanych w systemie SAPOS



Rys. 3. Położenie stacji referencyjnych Józefostaw (JOZE), WAT (WAT1), Borowa Góra (BOGO) oraz zasięgi ich wykorzystania

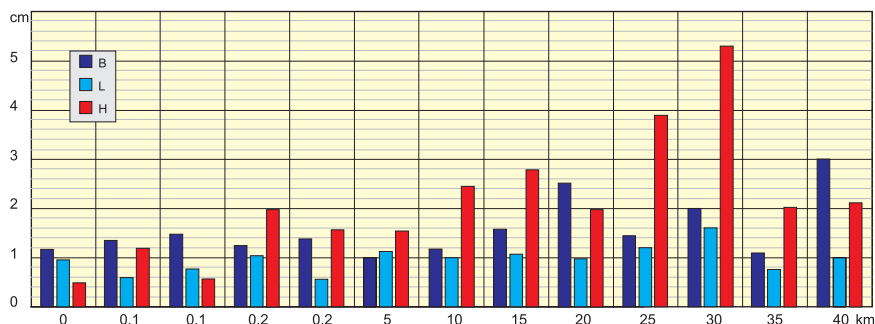
spada do około 30 cm. Na podstawie wykresu 1 możemy stwierdzić, że do odległości 20 km pomiar RTK charakteryzuje się odchyleniem standardowym dla każdej ze współrzędnych (szerokości – B, długości geodezyjnej – L i wysokości – H) nie przekraczającym 3 cm, a dla odległości do 15 km – 1,5 cm dla B i L oraz 3 cm dla H. Większe błędy na wykresie 2 wynikają z sumy błęd RTK i błęd pomiaru statycznego. Można postawić wniosek, że do 20 km uzyskuje się podobne dokładności z pomiaru statycznego i RTK.

Położenie stacji referencyjnych Józefosław (JOZE), WAT (WAT1), Borowa Góra (BOGO) oraz zasięgi ich wykorzystania przedstawione są na rysunku nr 3. Przy optymalnym zasięgu od 10 do 15 km pożądane byłoby ulokowanie dodatkowej stacji w rejonie Sulejówka lub Wołomina. Taka lokalizacja pozwoliłaby na wyznaczenie techniką RTK współrzędnych poziomych z dokładnością rzędu 1 cm i wysokości – 2,5 cm.

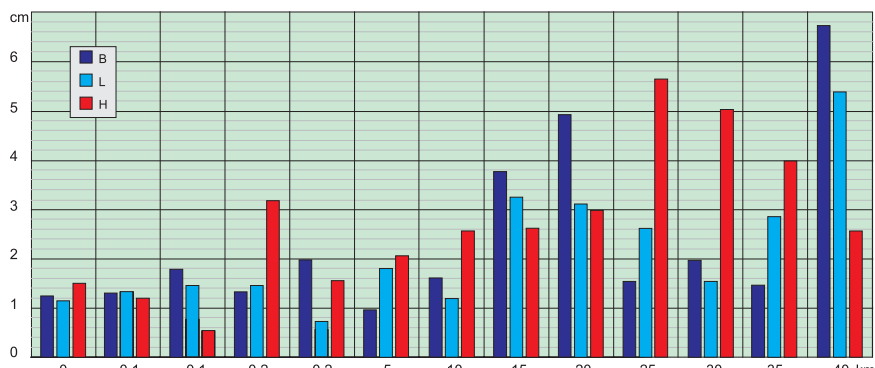
Schemat funkcjonowania systemu stacji referencyjnych dla Warszawy i jej okolic, Banku Danych oraz Centrum Obliczeniowego, które mogłyby świadczyć usługi w zakresie obliczania współrzędnych oraz transferu danych do użytkowników przedstawiony jest na rysunku 4.

Ważnym problemem jest obecnie organizacja transferu danych w formie RTCM dla użytkowników systemu DGPS i RTK. W fazie pilotowej realizacji projektu możliwe jest wykorzystanie telefonii komórkowej. Sieć IDEA – CENTERTEL posiada wystarczający zasięg dla realizacji projektu i oferuje tanią taryfę dla transmisji danych cyfrowych o zasięgu regionalnym. W dalszym etapie realizacji projektu konieczne byłoby zastosowanie rozwiązań w zakresie transmisji danych stosowanych w Republice Federalnej Niemiec. Biorąc pod uwagę skalę problemu i potencjalnych użytkowników konieczne wydaje się stworzenie konsorcjum, do którego weszłyby: Politechnika Warszawska, Instytut Geodezji i Kartografii, Wojskowa Akademia Techniczna oraz przedstawiciele zainteresowanych resortów i władz samorządowych. Wdrożenie projektu mogłoby być realizowane w ramach projektu celowego KBN. Najtrudniejszym problemem będzie zapewnienie dystrybucji danych do pomiarów w czasie rzeczywistym za pomocą transmisji w paśmie VHF, co wymagać będzie przydziału częstotliwości radiowych.

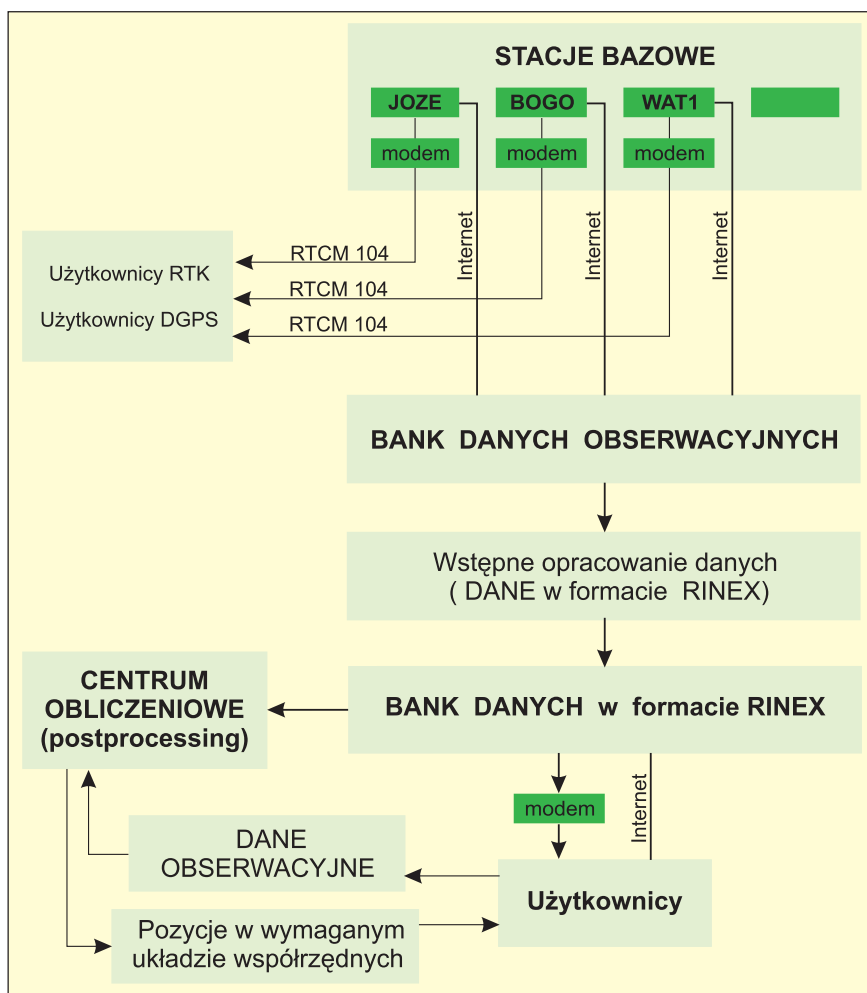
Zdjęcia z archiwum autorów



Wykres 1. Odchylenie standardowe pomiarów RTK



Wykres 2. Odchylenie standardowe pomiarów RTK względem pomiaru statycznego



Rys. 4. Schemat funkcjonowania systemu stacji referencyjnych dla Warszawy i jej okolic