

ANALIZA PORÓWNAWCZA JAKOŚCI POMIARÓW RTN NAWIĄZANYCH DO WSZYSTKICH SIECI REFERENCYJNYCH W POLSCE¹

Andrzej Uznański

dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, e-mail: auznan@agh.edu.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki analizy różnic współrzędnych kilku punktów testowych wyznaczonych 3345 razy z satelitarnych pomiarów RTN w stosunku do współrzędnych referencyjnych wyznaczonych z minimum dwóch dwunastogodzinnych sesji statycznych. Pomiarzy przeprowadzono w odniesieniu do wszystkich funkcjonujących w Polsce naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych, tj. ASG-EUPOS, NadowskiNET, SmartNet, TPINet^{PRO}, VRSNet.pl, wykorzystując do wyznaczania pozycji w czasie rzeczywistym dostępne w nich strumienie danych referencyjnych: stacje fizyczne, VRS, MAC, FKP. Celem pracy było porównanie wyników sieciowych satelitarnych pomiarów kinematycznych w czasie rzeczywistym RTN nawiązanych do różnych systemów referencyjnych pod kątem możliwości występowania różnic współrzędnych o charakterze systematycznym między systemami oraz precyzji wyników w danym systemie.

Słowa kluczowe: sieć stacji referencyjnych, pomiary RTN, RTK, ASG-EUPOS, Nadowski NET, SmartNet, TPI NET^{PRO}, VRSnet.pl, precyzja RTN, dokładność RTN

1. Wprowadzenie

Pozytywny odbiór przez wykonawców uruchomienia naziemnego systemu satelitarnych danych referencyjnych ASG-EUPOS przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii w 2008 r. zachęcił kilka firm, będących przedstawicielami w Polsce największych producentów instrumentów geodezyjnych, do uruchomienia własnych, analogicznych rozwiązań. Obok systemu państwowego funkcjonują aktualnie w Polsce systemy ogólnokrajowe, do których należą SmartNet firmy Leica Geosystems Polska, TPINet^{PRO} firmy TPI, VRSNet.pl firmy Geotronics oraz system regionalny NadowskiNET firmy Instrumenty Geodezyjne Tadeusz Nadowski, obejmujący swoim zasięgiem Polskę południową.

Praca jest kontynuacją badań, których wstępne wyniki były przedmiotem publikacji ubiegłorocznej [4]. Historia naziemnych satelitarnych systemów danych referencyjnych w Polsce oraz ich budowa i funkcjonowanie zostały przedstawione we wspomnianym artykule.

Celem pracy było zbadanie jakości wyników sieciowych pomiarów kinematycznych w czasie rzeczywistym RTN (Real Time Network) w odniesieniu do

¹ Praca w ramach tematyki badań statutowych nr 11.11.150.005

wszystkich naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych w Polsce. Aktualnie korzystanie z danych satelitarnych wszystkich systemów jest w Polsce odpłatne. Dla wykonawców istotna jest więc informacja, czy któryś z nich jest pod jakimś względem lepszy od pozostałych. Koszt uzyskania dostępu można prosto i szybko ustalić na stronach poszczególnych systemów. Dane aktualne w roku ubiegłym zestawiono we wspomnianej publikacji ubiegłorocznej [4] i nie będą w tej pracy aktualizowane. Podstawowymi czynnikami skłaniającym do wyboru danego systemu, oprócz kosztów, będzie jakość wyznaczanych współrzędnych punktów w pomiarach RTN oraz niezawodność funkcjonowania systemu. O istotnym znaczeniu niezawodności funkcjonowania naziemnego systemu satelitarnych danych referencyjnych przekonali się szczególnie wykonawcy korzystający z systemu ASG-EUPOS w pierwszych latach po jego uruchomieniu. Często występowały sytuacje braku możliwości wyznaczenia pozycji, szczególnie między godziną jedenastą a piętnastą. Wielu wykonawców, zwłaszcza obsługujących większe inwestycje, np. drogowe, decydowało się na zakupienie drugiego odbiornika satelitarnego w celu założenia własnej stacji referencyjnej.

W odstępnie miesięcznym, przez kilka dni na początku lipca oraz sierpnia 2017 r. wykonano szereg pomiarów satelitarnych w czasie rzeczywistym na punktach testowych. Wyznaczono łącznie 6038 pozycji pięciu punktów testowych w trybie stop&go. Dwa pomiary wykluczono z analiz ze względu na rozwiązania kodowe. Pomiarów RTN (Real Time Network) o identycznych parametrach, dzięki czemu można je wzajemnie porównywać, wykonano w sumie 3345. Pozostałe pomiary wykonano przy innych parametrach pomiaru i można je analizować tylko odrębnie, pod kątem specyficznego celu, w którym zostały wykonane.

2. Transmisja danych w pomiarach RTN

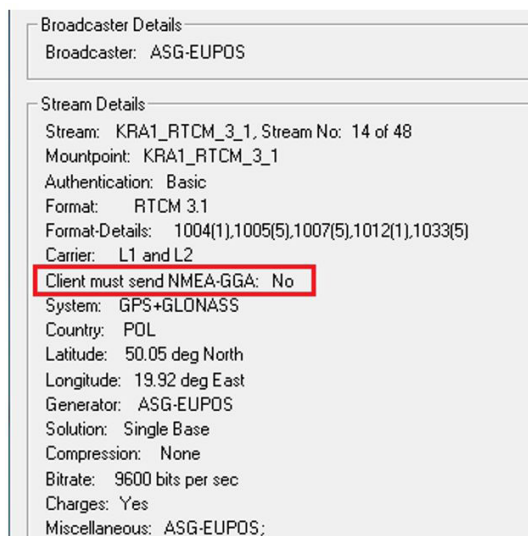
Wyznaczenie pozycji w czasie rzeczywistym przez odbiornik satelitarny wymaga odebrania przez niego danych referencyjnych z naziemnego systemu referencyjnych - danych referencyjnych. Dane te udostępniane są za pośrednictwem protokołu komunikacyjnego Ntrip (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) [6] dedykowanego strumieniowemu przesyłowi danych satelitarnych za pośrednictwem internetu. Protokół komunikacyjny to zbiór ścisłych reguł i kroków postępowania, które są automatycznie wykonywane przez urządzenia komunikacyjne, w celu nawiązania łączności i wymiany danych. Protokół Ntrip składa się z czterech komponentów:

- NtripSources: generują strumienie danych GNSS, każdy strumień, tzw. Mountpoint, ma w danym systemie unikatową czteroznakową nazwę ustalaną przez operatora systemu,
- NtripServers: przesyłają dane z NtripSources protokołem Ntrip do NtripCastera,

- NtripCaster: główna aplikacja serwera, aplikacja odpowiedzialna za odbiór i udostępniania danych wraz z autoryzacją dostępu na podstawie wykupionego abonamentu,
- NtripClients: klienci protokołu Ntrip z dostępem przez NtripCaster do strumieni danych z żadanego źródła (oprogramowanie instalowane w odbiornikach satelitarnych).

Protokołem komunikacyjnym Ntrip przesyłane są dane satelitarne najczęściej w formacie międzynarodowej organizacji RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) [9] o pełnej nazwie formatu RTCM 10403.1. Aktualnie standardem jest wersja 3.1 tego formatu. Niektóre systemy udostępniają jeszcze dane w starszej wersji tego formatu oznaczonej 2.3. Wszyscy więksi producenci opracowali własne formaty transmisji danych w czasie rzeczywistym. W protokole Ntrip dane można przesłać w dowolnym formacie. Format RTCM jest wybierany najczęściej, gdyż jest aktualnie najbardziej efektywny. Nieznacznie ustępuje mu format firmy Trimble CMR+ (Compact Measurement Record), na który konkurujące firmy często wykupują licencję do swoich odbiorników.

Ze względów praktycznych w pomiarach satelitarnych w czasie rzeczywistym wykorzystywany jest również protokół NMEA (National Marine Electronics Association) [8], generalnie w celu przesłania wiadomości GGA z pozycją odbiornika użytkownika do systemu referencyjnego. Jest to konieczne, aby oprogramowanie generujące dane sieciowe dla odbiornika satelitarnego mogło zrobić to poprawnie, na bazie najbliższych użytkownikowi stacji referencyjnych systemu. Dla pomiarów RTK, w których oprogramowanie odbiornika wykonawcy zgłasza żądanie udostępnienia strumienia ze stacji fizycznej, przesłanie wiadomości GGA nie jest wymagane, o czym informuje opis takiego strumienia danych w odbiorniku. Poniżej przykład na rysunku wygenerowanym w programie GNSSInternetRadio.



Rys. 1. Szczegóły strumienia danych ze stacji KRA1 systemu ASG-EUPOS

Wiadomość GGA protokołu NEMA ma postać (z danymi przykładowymi):
 \$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
 gdzie dane liczbowe w powyższym przykładzie oznaczają:

GGA - Global Positioning System Fix Data	
123519 -	pozycja wyznaczona o 12:35:19 czasu UTC
4807.038,N -	szerokość geograficzna północna 48° 07.038' N
01131.000,E -	długość geograficzna wschodnia 11° 31.000' E
1 -	jakość rozwiązania: pozycja nawigacyjna
08 -	liczba śledzonych satelitów
0.9 -	współczynnik HDOP
545.4,M -	wysokość w [m] n.p.m.
46.9,M -	undulacja geoidy
puste pole -	czas w sekundach od ostatniej aktualizacji DGPS
puste pole -	nazwa stacji DGPS
47 -	suma kontrolna poprzedzona znakiem „”

3. Strumienie danych systemów referencyjnych

Każdy z naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych udostępnia strumień z danymi referencyjnymi w czasie rzeczywistym, które umożliwiają odbiorcy wykonawcy wyznaczenie pozycji w terenie. Ogólnie dostępne mogą być strumienie:

- a) danych sieciowych (pomiar RTN):
 - VRS (Virtual Reference Station),
 - MAC (Master Auxiliary Concept),
 - FKP (Flächen Korrektur Parameter);
- b) danych z fizycznej stacji referencyjnej (pomiar RTK):
 - wybieranej użytkownikowi przez oprogramowanie na podstawie przesłanej pozycji w wiadomości GGA protokołu NMEA,
 - wybieranej przez użytkownika samodzielnie z listy udostępnionej w tabeli źródeł.

Nazwę dla strumienia danych w systemie ustala dowolnie jego operator. Dostępność wymienionych strumieni danych referencyjnych w czasie rzeczywistym jest zróżnicowana w poszczególnych systemach. Z tego powodu nie można było porównać ze sobą wyników z nawiązania pomiarów do wszystkich rodzajów strumieni we wszystkich systemach. W kolejności alfabetycznej przedstawione zostaną szczegóły poszczególnych systemów w tym zakresie.

System ASG-EUPOS [5] - adres Castera systemu: 91.198.76.2 lub system. asgeupos.pl

W systemie ASG-EUPOS dostępne są trzy serwisy danych referencyjnych w czasie rzeczywistym o zróżnicowanej dokładności pozycjonowania. Serwisy NA-

WGIS oraz KODGIS dedykowane są zastosowaniom GIS oraz nawigacji. Serwis NAWGEO dedykowany jest geodezji. System ASG-EUPOS jest modernizowany, m.in. poprzez wymianę odbiorników satelitarnych na stacjach referencyjnych. Z tego powodu w grudniu 2015 r. do strumieni NAWGEO dołączyły strumienie RTN ze względu na udostępnienie danych korekcyjnych także dla systemu GLONASS. Kolejnym krokiem w modernizacji systemu jest wymiana odbiorników referencyjnych na obsługujące sygnały z 4 systemów nawigacji satelitarnej: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo. W przypadku wyboru strumienia NAWGEO_POJ_3_1 system automatycznie wybiera fizyczną stację referencyjną dla odbiornika użytkownika.

Tabela 1. Strumienie danych serwisu NAWGEO systemu ASG-EUPOS

Nr portu	Typ rozwiązania	Nazwa strumienia	Systemy satelitarne	Format danych
8080, 2101	Sieciowe (RTN)	RTN_VRS_3_1	GPS + GLONASS	RTCM 10402.3
		RTN_MAC_3_1	GPS + GLONASS	
		RTN_FKP_3_1	GPS + GLONASS	
		RTN_VRS_CMR	GPS + GLONASS	CMR
		NAWGEO_VRS_3_1	GPS	RTCM 10402.3
		NAWGEO_MAC_3_1	GPS	
		NAWGEO_VRS_2_3	GPS	
		NAWGEO_VRS_CMR	GPS	CMR
8082, 8083	Stacja fizyczna (RTK)	NAWGEO_POJ_3_1	GPS + GLONASS*	RTCM 10403.1
8082-8083		xxxx_RTCM_3_1*	GPS + GLONASS*	
8084-8085		xxxx_RTCM_2_3*	GPS + GLONASS*	RTCM 10402.3

xxxx - oznacza identyfikator stacji referencyjnej

* - dostępność GLONASS zależy od wybranej stacji referencyjnej

Aktualnie dane z systemów Beidou i Galileo nie są udostępniane z fizycznych stacji referencyjnych. Liczba strumieni danych udostępnianych w systemie ASG-EUPOS w czasie rzeczywistym wynosi odpowiednio: port 8080 - 8, port 8082 - 55, 8083 - 48, 8084 - 53, 8085 - 47, w sumie 211 strumieni danych.

W systemie ASG-EUPOS dostępne są wszystkie rodzaje strumieni w czasie rzeczywistym w formacie RTCM 3.1 Utrzymywana jest jeszcze dostępność danych referencyjnych w formacie RTCM 2.3 dla metody VRS oraz z fizycznych stacji referencyjnych. Dale metody VRS transmitowane są również dane w formacie CMR.

System NadowskiNET [7] - adres Castera systemu 213.241.57.10

W tym systemie na porcie 8080 udostępnianych jest 5 strumieni w formacie RTCM 3.1: wszystkie rodzaje danych sieciowych oraz strumień z fizycznej stacji referencyjnej automatycznie wybieranej przez system (NAJBL). Na porcie 8082 udostępniane są strumienie z 42 stacji referencyjnych, spośród których użytkownik może wybrać dowolną sam.

System SmartNet [10] - adres Castera 69.64.185.160

Na porcie 2101 udostępnianych jest 12 strumieni, ale część dedykowana jest użytkownikom na Litwie. System udostępnia dane ze 147 fizycznych stacji referencyjnych w formacie RTCM 3.1 na porcie 8082. Na porcie 8083 udostępniane są 3 strumienie uwzględniające sygnały systemu Beidou.

```

NAVGED_MAC_3_1/RTK/GPS & GLO/Litauen
NAVGED_VRS_3_1/RTK/GPS & GLO/Smart Net P
NAVGED_POJ_3_1/RTK/GPS & GLO/Smart Net P
NAVGED_MAC_4_G/Leica/GPS & GLONASS/Litau
NAVGED_POJ_4_G//GPS & GLONASS/Smart Net I
NAVGED_VRS_4_G//GPS & GLONASS/Litauen
NAVGIS_DGNSS/RTK/GPS & GLO/Smart Net Pola
NAVGED_VRS_2_3/RTK/GPS & GLO/Smart Net P
NAVGED_I_MAC_4_G//GPS & GLO/Litauen
NAVGED_I_MAC_3_1/RTK/GPS & GLO/Litauen
NAVGED_POJ_2_3/RTK/GPS & GLO/Smart Net P
NAVGED_MAC_2_3/RTK/GPS & GLO/Litauen
NAVGED_POJ_3_2/RTK/GPS & GLO & BDS/Smart Ne
NAVGED_VRS_3_2/RTK/GPS & GLO & BDS/Smart Ne
NAVGED_I_MAC_3_2/RTK/GPS & GLO & BDS/Litauen

```

Rys. 2. Strumienie danych w systemie SmartNet na porcie 2101 oraz 8083

System TPI [11] - adres Castera 88.86.116.1

Firma TPI udostępnia 21 strumieni danych na porcie 2101. Liczba strumieni dostarczanych przez NTRIP Caster jest związana z połączeniem kilku sieci europejskich. Na terenie Polski można korzystać z 5 strumieni danych:

- DGNSS - dla pomiarów GIS,
- NET_RTCM3 - dane VRS w formacie RTCM 3.1,
- RTK_RTCM3 - dane z najbliższej fizycznej stacji referencyjnej w formacie RTCM 3.1,
- NET_RTCM23 - dane VRS w formacie RTCM 2.3,
- RTK_RTCM23 - dane z najbliższej fizycznej stacji referencyjnej w formacie RTCM 2.3.

```

AUTO/RTK/GPS+GLONASS/IQProxy
CUSTOM/RTK/GPS+GLONASS/IQProxy
DGNSS/DGNSS/GPS+GLONASS/IQProxy
DGPS/DGNSS/GPS+GLONASS/IQProxy
GER_01_DGNSS/DGNSS/GPS+GLONASS/IQProx
GER_02/RTK/GPS+GLONASS/IQProxy
GER_03_ET/RTK/GPS+GLONASS/IQProxy
GER_04_ET_ETRS_NHN/RTK/GPS+GLONASS/I
GER_05_ET_RTCM_Bessel/RTK/GPS+GLONASS,
GER_06_ET_RTCM_Krassowski/RTK/GPS+GLON
GER_07_ET_RTCM_Bayern_NN/RTK/GPS+GLON
NET_CMR/CMR/GPS/IQProxy
NET_CMR+/CMR+/GPS+GLONASS/IQProxy
NET_MSM5/RTK/GPS+GLONASS+QZS+BDS/IQP
NET_RTCM23/RTK/GPS+GLONASS/IQProxy
NET_RTCM3/RTK/GPS+GLONASS/IQProxy
RTK_CMR/CMR/GPS/IQProxy
RTK_CMR+/CMR+/GPS+GLONASS/IQProxy
RTK_MSM5/RTK/GPS+GLONASS+QZS+BDS/IQP
RTK_RTCM23/RTK/GPS+GLONASS/IQProxy
RTK_RTCM3/RTK/GPS+GLONASS/IQProxy

```

Rys. 3. Strumienie danych w systemie TPINet^{PRO}

Pozostałe strumienie są udostępniane przez sieci funkcjonujące w innych państwach. Strumień RTK MSM5/RTK/GPS+GLONASS+QZS+BDS nie jest transmitowany przez stacje znajdujące się w Polsce i nie należy z niego korzystać. System nie udostępnia danych FKP oraz MAC i nie pozwala na dowolny wybór stacji referencyjnej.

System VRSNet.pl [12] - adres Castera 194.24.244.35

W tym systemie udostępnianych jest 8 strumieni na porcie 8080 oraz 47 strumieni na porcie 8082 w formacie RTCM i CMR dla systemów nawigacji satelitarnej GPS i GLONASS, niektóre strumienie uwzględniają sygnały systemu Beidou.

```
VRS_RTCM_3_1/RTK/GPS+GLONASS/Geotronics
VRS_CMRx/CMRx/GPS+GLONASS/Geotronics
VRS_RTCM_2_3/RTK/GPS+GLONASS/Geotronics
VRS_POJ_3_1/RTK/GPS+GLONASS/Geotronics
VRS_GIS/RTK/GPS+GLONASS/Geotronics
GIS/RTK/GPS+GLONASS/Geotronics
VRS_RTCM31_FKP/RTK/GPS+GLONASS/Geotronics
VRS_CMR/CMR/GPS+GLONASS/Trimtech
```

Rys. 4. Strumienie danych w systemie VRSNet.pl na porcie 8080

W poniższej tabeli zestawiono dostępność rodzajów strumieni danych referencyjnych w czasie rzeczywistym w poszczególnych systemach. Symbolem REF oznaczono dane z fizycznej stacji referencyjnej wybieranie przez system automatycznie i z możliwością samodzielnego wyboru przez użytkownika.

Tabela 2. Zestawienie dostępności rodzajów strumieni danych w systemach

System/strumień	VRS	FKP	MAC	REF auto.	REF sam.
ASG-EUPOS	x	x	x	x	x
NadowskiNET	x	x	x	x	x
TPINet ^{PRO}	x	---	---	x	---
VRSNet.pl	x	x	---	x	x
SmartNet	x	---	x	x	x

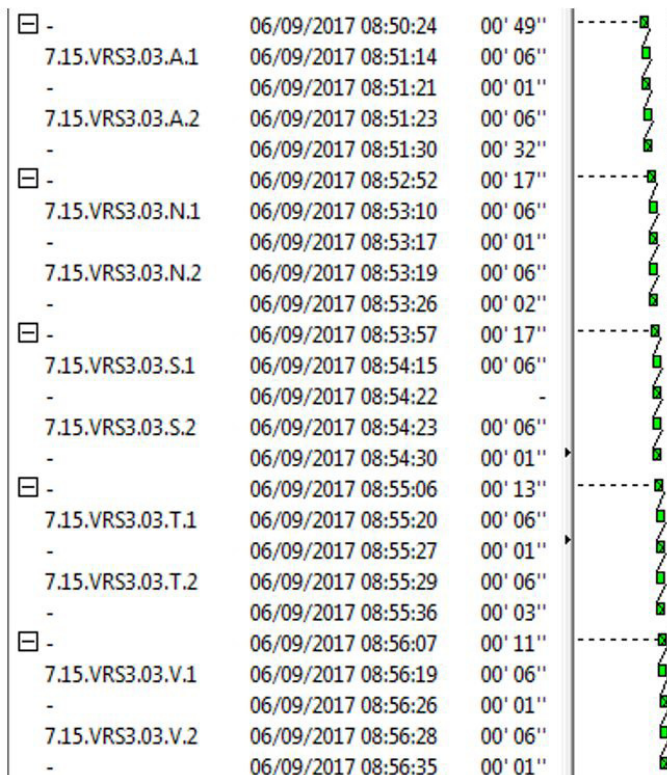
4. Analiza wyników pomiarów RTN

Na potrzeby niniejszej pracy analizie poddano 3345 wyników pomiarów RTN wykonanych w nawiązaniu do wszystkich systemów referencyjnych w Polsce. Mniejsza liczba pomiarów nawiązanych do satelitarnych danych systemu SmartNet wynika z niedostępności strumieni tego systemu w miesiącu sierpniu. Z analiz wyeliminowano dwa pomiary wykonane bezpośrednio po sobie, nawiązane do dwóch różnych systemów, gdyż wykryto brak rozwiązania fazowego w ich przypadku.

Tabela 3. Zestawienie liczby pomiarów RTN nawiązanych do poszczególnych systemów

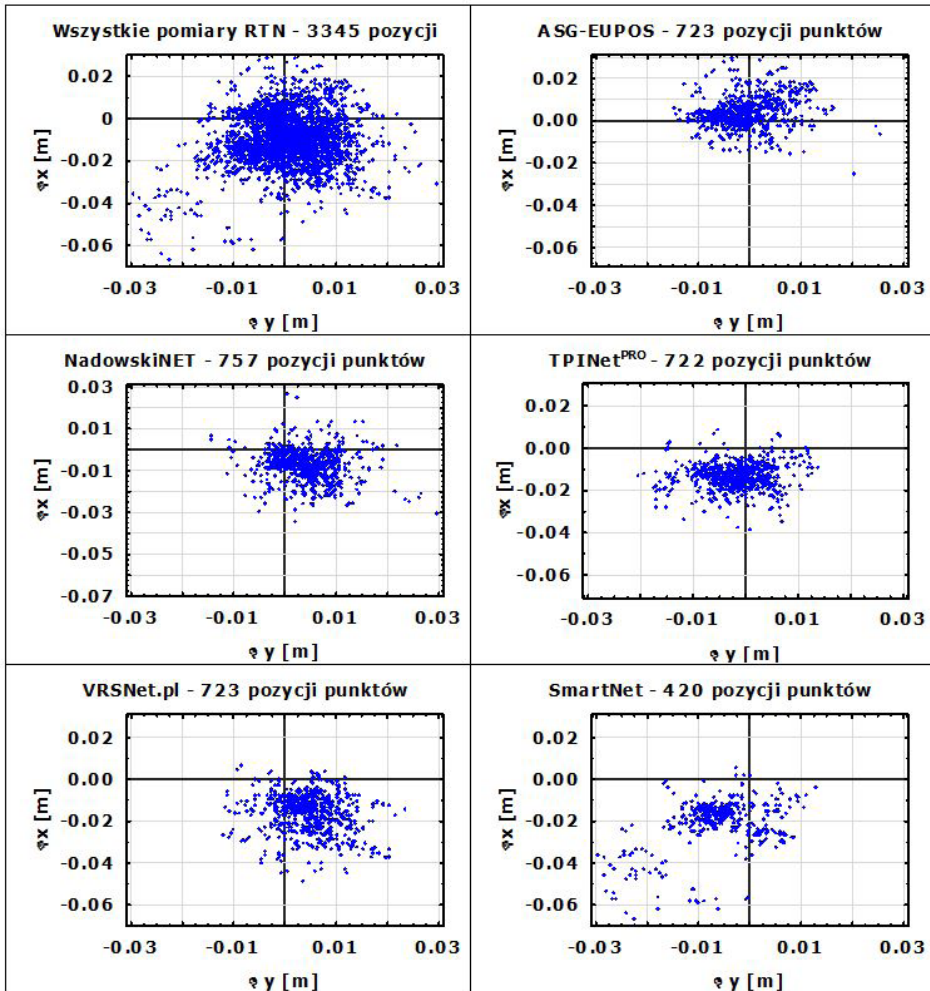
System	liczba	liczba skumulowana	procent w próbie
ASG-EUPOS	1675	1675	27.8
NadowskiNET	1796	3471	29.7
TPINet ^{PRO}	1034	4505	17.1
VRSNet.pl	987	5492	16.4
SmartNet	544	6036	9.0

Pomiary realizowano wg schematu przedstawionego na rys. 5. System nawiązania pomiaru RTN zmieniano według porządku alfabetycznego. Każdy pomiar trwał 6 jednosekundowych epok, był powtarzany w ramach tej samej inicjalizacji odbiornika satelitarnego, a następnie zmieniano ustawienia konfiguracyjne odbiornika i był wykonywany pomiar w nawiązaniu do kolejnego systemu danych referencyjnych. Sekwencje pomiarową do wszystkich systemów danych referencyjnych powtarzano 30 razy dla danego strumienia danych w czasie rzeczywistym. Następnie zmieniano strumień i procedurę powtarzano. W przypadku braku strumienia danego rodzaju w systemie starano się wybrać równoważny, np. brak strumienia FKP w systemie TPINet^{PRO} uzupełniano strumieniem VRS, przy założeniu braku istotnych różnic w wynikach opartych na różnych rodzajach danych sieciowych. Możliwość przyjęcia takiego założenia oparto na dotychczasowych wynikach badań w tym temacie prowadzonych od 2008 r.



Rys. 5. Procedura pomiarowa na przykładzie pomiarów nawiązanych do strumienia VRS

Współrzędne referencyjne do oceny dokładności i precyzji wyników pomiarów RTN przyjęto z rozwiązania kilku długich, nawet dwunastogodzinnych sesji pomiarowych nawiązanych do stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS. System ASG-EUPOS wybrano, jako system odniesienia dla wyników pomiarów RTN, gdyż jego stacje referencyjne formalno-prawnie są najwyższej klasy. Ponadto standard techniczny Ig-7 [1] wymaga nawiązania statycznych pomiarów satelitarnych punktów podstawowej osnowy poziomej do stacji referencyjnych systemu państwowego.



Rys. 6. Rozrzut precyzji poziomej punktów w pomiarach RTN

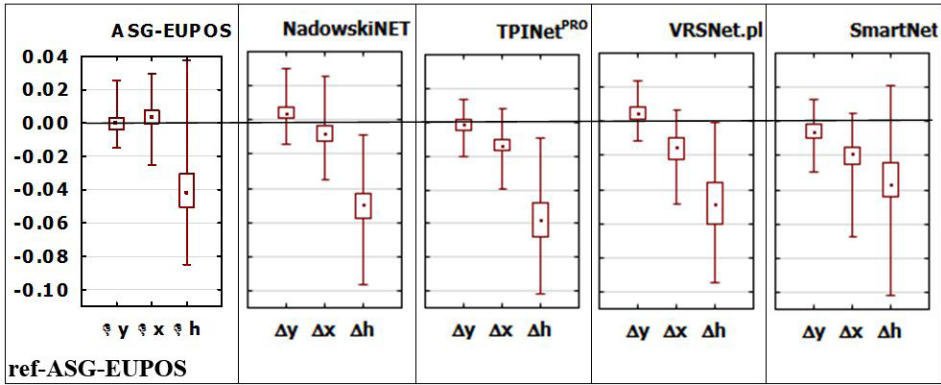
Na rysunku 6 przedstawiono wszystkie rozwiązania na płaszczyźnie x,y układu współrzędnych płaskich PL-2000, zbiorczo i dla wyników nawiązanych do każdego z systemów danych referencyjnych oddzielnie. Można zauważyć, że rozrzut wyników jest większy wzdłuż osi „x” niż wzdłuż osi „y”. Znamienne, że prawie

idealnie w osi „x” znajdowały się punkty testowe, między którymi były mierzone kilkakrotnie wektory w długich sesjach statycznych. W przypadku każdego z systemów możemy mówić o występowaniu czynnika systematycznego w obliczonych różnicach współrzędnych. Jego wartość jest różna w zależności od systemu, a nawet rodzaju współrzędnej. Dla wyników uzyskanych w nawiązaniu do systemu SmartNet wystąpiła relatywnie liczna grupa pomiarów odstających na południowy zachód od wartości prawdziwej. W innych systemach nie było analogicznych wyników. W tabeli 4 zestawiono podstawowe statystyki opisowe analizowanej próbki pomiarowej RTN, z podziałem na poszczególne współrzędne i systemy danych referencyjnych. Dla współrzędnych poziomych deklarowana jest dokładność wyników pomiarów RTN do 3 cm, a dla wysokości do 5 cm. Na podstawie wyników ujętych w tab. 3 można potwierdzić tę deklarację dla współrzędnej «y», a dla współrzędnej «x» z wyjątkiem systemu SmartNet. Analiza danych dla poszczególnych strumieni wykazała, że ten stan rzeczy w systemie SmartNet jest efektem głównie wyników pomiarów wykonanych w oparciu o strumień MAC.

Tabela 4. Podstawowe statystyki opisowe różnic współrzędnych punktów w pomiarach RTN

<i>Współ.</i>	<i>Sieć</i>	<i>Średnia</i>	<i>Mediana</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maksimum</i>	<i>Rozstęp</i>	<i>Odch.std</i>
refA_dy	wszystkie	0.001	0.001	-0.030	0.030	0.059	0.007
refA_dx	wszystkie	-0.010	-0.011	-0.067	0.030	0.097	0.012
refA_dh	wszystkie	-0.047	-0.048	-0.102	0.038	0.140	0.018
refA_dy	A	0.000	-0.001	-0.015	0.025	0.040	0.006
refA_dx	A	0.004	0.003	-0.025	0.030	0.055	0.007
refA_dh	A	-0.039	-0.042	-0.085	0.038	0.123	0.018
refA_dy	N	0.004	0.004	-0.014	0.030	0.044	0.005
refA_dx	N	-0.008	-0.008	-0.035	0.026	0.061	0.007
refA_dh	N	-0.050	-0.050	-0.096	-0.009	0.087	0.012
refA_dy	T	-0.002	-0.001	-0.021	0.014	0.034	0.006
refA_dx	T	-0.014	-0.014	-0.039	0.008	0.048	0.006
refA_dh	T	-0.058	-0.058	-0.102	-0.010	0.093	0.014
refA_dy	V	0.005	0.005	-0.012	0.024	0.035	0.006
refA_dx	V	-0.016	-0.015	-0.049	0.006	0.055	0.009
refA_dh	V	-0.048	-0.049	-0.095	-0.001	0.094	0.018
refA_dy	S	-0.006	-0.006	-0.030	0.013	0.042	0.008
refA_dx	S	-0.021	-0.018	-0.067	0.005	0.072	0.012
refA_dh	S	-0.034	-0.037	-0.102	0.021	0.123	0.018

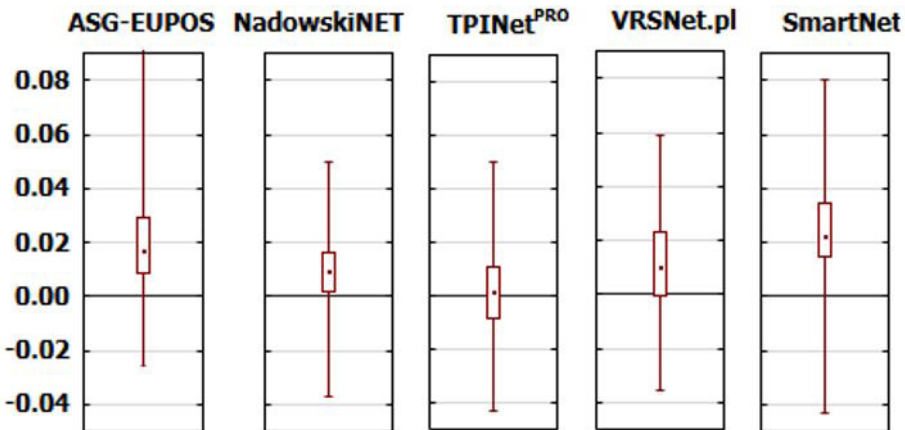
Na rysunku 7 przedstawiono graficznie wyniki analiz w przypadku, w którym współrzędne referencyjne zostały obliczone w nawiązaniu do obserwacji statycznych systemu ASG-EUPOS. Na tym rysunku oraz następnym, kółkiem oznaczono wartość średnią, prostokąt obejmuje połowę wyników pomiarów, natomiast tzw. „wąsy” oznaczają rozstęp, czyli rozrzut wszystkich wyników pomiarów.



Rys. 7. Statystyki wyników pomiarów RTN graficznie: średnia, 50% wyników i rozstęp

W przeprowadzonych analizach porównywano współrzędne wyznaczone z kilku, nawet dwunastogodzinnych sesji statycznych w systemach komercyjnych (z wyjątkiem systemu SmartNet, z którego danych właściciel nie udostępnił) w odniesieniu do współrzędnych obliczonych w nawiązaniu do systemu państwowego. Stwierdzono istotne odstawanie wysokości wszystkich punktów testowych w przypadku rozwiązania w systemie NadowskiNET, na poziomie 6 cm.

Poddano więc analizie wpływ zmiany systemu, do którego nawiązano obserwacje statyczne na wartości różnic wysokości w pomiarach RTN. W przypadku nawiązania obserwacji statycznych punktów testowych do systemu NadowskiNET, czynnik systematyczny w pomiarach RTN nawiązanych do któregośkolwiek systemu, a więc także dla systemu ASG-EUPOS, zmniejszył się. Dla systemu TPINet^{PRO} był nawet bliski zeru. Wykazano w analizowanej próbie pomiarów, że wysokości z pomiarów RTN w systemie ASG-EUPOS są bardziej zgodne z wysokościami referencyjnymi wyznaczonymi w nawiązaniu do systemu NadowskiNET niż w nawiązaniu do systemu macierzystego, czyli ASG-EUPOS.



Rys. 8. Statystyki pomiarów RTN we wszystkich systemach, współrzędne referencyjne w nawiązaniu do systemu NadowskiNET: średnia, 50% wyników i rozstęp

Dokładność wyników pomiarów RTN dla wykonawcy jest najczęściej w praktyce nieznaną. Ocena jakości wyników swoich pomiarów wykonawca opiera zazwyczaj na ich precyzji [2,3], gdyż odpowiedni parametr wyświetlany jest na ekranie kontrolera. Zazwyczaj jest to błąd średni kwadratowy rms (root mean square) lub odchylenie standardowe. W odbiornikach firmy Leica wyświetlany jest współczynnik CQ (Coordinate Quality). Wartość współczynnika jakości pomiaru wyświetlana przez kontroler odbiornika satelitarne może wprowadzić wykonawcę pomiarów w błąd. Jakość wyniku jest zazwyczaj niższa niż wartość wyświetlanego parametru. M.in. z tego powodu wymagane są pomiary kontrolne na punktach osnowy, powtarzanie pomiarów punktów. W pracy, ze względu na dużą próbkę statystyczną oraz wyznaczenie współrzędnych referencyjnych można przeanalizować precyzję wyników pomiarów RTN na podstawie odchylenia standardowego. Tradycyjnie w pomiarach satelitarnych wyraźnie widać istotne zróżnicowanie dla współrzędnych poziomych i wysokości punktów (tab. 4), w analizowanych pomiarach najczęściej w stosunku kilku milimetrów (5-9 mm) do kilkunastu milimetrów (12-18 mm). Potwierdza się ogólnie formułowana dla pomiarów satelitarnych relacja, że wysokości wyznaczane są dwukrotnie mniej dokładnie niż współrzędne poziome. O znaczeniu precyzji można się przekonać analizując w tym kontekście wartość średnią. Dla współrzędnej «y» możemy uznać, że wyniki pomiarów były precyzyjne i dokładne. W przypadku współrzędnej «h» uwidacznia się czynnik systematyczny na poziomie rzędu 5 cm. Jest to przeciętna miara różnicy między pojęciem precyzji i dokładności w analizowanej próbce pomiarów. Dla współrzędnej «x» również można zauważyć występowanie czynnika systematycznego o wartości zróżnicowanej dla pomiarów RTN nawiązanych do poszczególnych systemów, od 4 do nawet 21 mm.

W kolejnych tabelach przeanalizowano, jaki wpływ na wartości statystyk miały wyniki odstające. W kolumnie «liczba» w nawiasie z literą «S» podano liczebność wyników uzyskanych z nawiązania do systemu SmartNet dla wybranych przedziałów, w których taka informacja miała istotniejsze znaczenie. Analogicznie dla litery T oznaczającej system TPINet^{PRO} oraz „V” oznaczającej system VRSNet. pl w przypadku wyników dotyczących wysokości. Wartości z przedziału ± 1 cm oznaczono tłem, a przedział powtarzający się najliczniej pogrubiono. W przypadku współrzędnej «y» w przedziale ± 1 cm mieści się 86.8% wyników, a w przedziale ± 2 cm aż 98.7% wyników.

Tabela 5. Częstość wartości różnic współrzędnej «y» w przedziałach

Przedział	Liczba	Skumulowane	Procent	Skumulowane %	% ogółu	Skumulowane %
$-.030 < x \leq -.020$	31 (30S)	31	0.9	0.9	0.9	0.9
$-.020 < x \leq -.010$	142	173	4.2	5.2	4.2	5.2
$-.010 < x \leq -.000$	1308	1481	39.1	44.3	39.1	44.3
$.000 < x \leq .010$	1597	3078	47.7	92.0	47.7	92.0
$.010 < x \leq .020$	252	3330	7.5	99.6	7.5	99.6
$.020 < x \leq .030$	15	3345	0.4	100.0	0.4	100.0

Tabela 6. Częstość wartości różnic współrzędnej „x” w przedziałach

Przedział	Liczba	Skumulowane	Procent	Skumulowane %	% ogółu	Skumulowane %
$-0.070 < x \leq -0.060$	4 (4S)	4	0.1	0.1	0.1	0.1
$-0.060 < x \leq -0.050$	14(14S)	18	0.4	0.5	0.4	0.5
$-0.050 < x \leq -0.040$	27(16S)	45	0.8	1.3	0.8	1.3
$-0.040 < x \leq -0.030$	92(28S)	137	2.8	4.1	2.8	4.1
$-0.030 < x \leq -0.020$	397	534	11.9	16.0	11.9	16.0
$-0.020 < x \leq -0.010$	1217	1751	36.4	52.3	36.4	52.3
$-0.010 < x \leq -0.000$	975	2726	29.1	81.5	29.1	81.5
$.000 < x \leq .010$	491	3217	14.7	96.2	14.7	96.2
$.010 < x \leq .020$	109	3326	3.3	99.4	3.3	99.4
$.020 < x \leq .030$	19	3345	0.6	100.0	0.6	100.0

Tabela 7. Częstość wartości różnic współrzędnej „b” w przedziałach

Przedział	Liczba	Skumulowane	Procent	Skumulowane %	% ogółu	Skumulowane %
$-0.110 < x \leq -0.100$	3 (2T,1S)	3	0.1	0.1	0.1	0.1
$-0.100 < x \leq -0.090$	16(5T,8S)	19	0.5	0.6	0.5	0.6
$-0.090 < x \leq -0.080$	58(23T,22V)	77	1.7	2.3	1.7	2.3
$-0.080 < x \leq -0.070$	201(117T)	278	6.0	8.3	6.0	8.3
$-0.070 < x \leq -0.060$	444	722	13.3	21.6	13.3	21.6
$-0.060 < x \leq -0.050$	760	1482	22.7	44.3	22.7	44.3
$-0.050 < x \leq -0.040$	861	2343	25.7	70.0	25.7	70.0
$-0.040 < x \leq -0.030$	506	2849	15.1	85.2	15.1	85.2
$-0.030 < x \leq -0.020$	261	3110	7.8	93.0	7.8	93.0
$-0.020 < x \leq -0.010$	117	3227	3.5	96.5	3.5	96.5
$-0.010 < x \leq -0.000$	77	3304	2.3	98.8	2.3	98.8
$-0.000 < x \leq .010$	24	3328	0.7	99.5	0.7	99.5
$.010 < x \leq .020$	14	3342	0.4	99.9	0.4	99.9
$.020 < x \leq .030$	2	3344	0.1	100.0	0.1	100.0
$.030 < x \leq .040$	1	3345	0.0	100.0	0.0	100.0

Dla współrzędnej „x” widać przesunięcie w kierunku wartości ujemnych. Najliczniejszy jest przedział $(-0.020;-0.010]$. W przedziale ± 1 cm mieści się niespełna połowa, 43.8% wyników pomiarów, ale w przedziale ± 2 cm już 83.5% wyników pomiarów. W przedziale powyżej 3 cm znalazło się 4.1% wyników i wszystkie mają znak ujemny. W przypadku wysokości w przedziale ± 1 cm mieści się zaledwie 3% wyników. Najliczniejszy jest przedział $(-0.050;-0.040]$, który z przedziałami sąsiednimi zawiera prawie 2/3 wyników (63.5%). Odstające wyniki systemu SmartNet dotyczyły tylko współrzędnych poziomych obliczonych przy wykorzystaniu strumienia MAC.

5. Podsumowanie

Celem pracy było porównanie wyników sieciowych satelitarnych pomiarów kinematycznych w czasie rzeczywistym RTN nawiązanych do wszystkich naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych pod kątem możliwości występowania różnic współrzędnych o charakterze systematycznym między systemami oraz precyzji wyników w danym systemie. Praktyczne znaczenie tak postawionego problemu polega na szukaniu odpowiedzi na pytanie, czy wykonawcy korzystając z różnych systemów danych referencyjnych w obsłudze jednej inwestycji lub na styku dwóch inwestycji mogą popełniać istotne błędy z tego powodu. Przeanalizowano 3345 wyników pomiarów kilku punktów testowych. W stosunku do roku ubiegłego przestał funkcjonować Małopolski System Pozycjonowania Precyzyjnego, a system SmartNet firmy Leica Geosystems Polska został rozbudowany. W roku ubiegłym na obszarze testów system SmartNet korzystał ze stacji referencyjnych systemu NadowskiNET i nie mógł być analizowany odrębnie.

Analiza różnic współrzędnych pomiarów RTN, w stosunku do współrzędnych referencyjnych wyznaczonych z nawiązania sesji statycznych do stacji referencyjnych państwowego systemu ASG-EUPOS, wskazuje na występowanie różnic między wynikami pomiarów nawiązanych do różnych systemów, ale i na występowanie różnic między współrzędnymi i strumieniami.

Koniecznym jest zwrócenie uwagi, że pomiary testowe wykonywane były w warunkach korzystnych dla pomiarów satelitarnych z powodu braku przesłoneń horyzontu. Na terenach kolejowych takie przesłonecia zdarzają się często. Nie mniej uniwersalna analiza i sformułowanie ogólnie ważnych wniosków, wpływu przesłoneń i zakłóceń sygnałów na wyniki pomiarów RTN w praktyce jest niemożliwe.

W przypadku pomiarów satelitarnych występuje istotne, około dwukrotne, zróżnicowanie dokładności wyznaczanych współrzędnych poziomych w stosunku do wysokości. Dodatkowo, w przypadku wysokości, stwierdzono, że większa ich zgodność dla pomiarów RTN występuje w przypadku nawiązania do systemu NadowskiNET, niż do państwowego systemu ASG-EUPOS. W analizowanej próbie pomiarów zróżnicowane wyniki otrzymano również dla współrzędnych poziomych. Różnice współrzędnej «y» mieściły się dla wszystkich systemów w deklarowanej dokładności rzędu ± 3 cm. Wartość średnia różnic współrzędnej «y» wahała się od 0 do 6 mm. Średnie różnice współrzędnej „x” były większe i przesunięte w kierunku wartości ujemnych. Gdyby nie to przesunięcie, to wyniki dla tej współrzędnej również mieściły by się w granicach deklarowanych, traktując wartość ± 3 cm jako równoważną rozstępowi o wartości 6 cm. Próba znalezienia wyjaśnienia w analizie współrzędnych referencyjnych punktów, aktualnie nie przyniosła odpowiedzi, gdyż różnice dla współrzędnych x,y między systemem ASG-EUPOS i każdym innym nie przekroczyły wartości 3 mm. Występuje więc duża zgodność wyników dla referencyjnych współrzędnych poziomych punktów we wszystkich systemach.

Można uznać, że w zakresie ± 3 cm dla współrzędnych poziomych nie ma istotnych różnic pomiędzy wynikami wszystkich systemów, z wyjątkiem strumienia

MAC systemu SmartNet. Niestety, mimo starań, nie udało się uzyskać dostępu do danych tego systemu w miesiącu sierpniu, co nie pozwoliło na zweryfikowanie wyników otrzymanych z pomiarów lipcowych.

Wymóg korzystania z jednego naziemnego systemu satelitarnych danych referencyjnych na pewno nie będzie rodził wątpliwości. Nie mniej nie wydaje się to być szczególnie konieczne w zakresie dokładności na poziomie ± 3 cm. W aspekcie niezawodności funkcjonowania systemów danych referencyjnych taki wniosek może mieć znaczenie praktyczne. W trakcie pomiarów zdarzył się jeden dzień, w którym przerwano pomiary testowe mające służyć analizie porównawczej ze względu na brak możliwości uzyskania danych z systemu ASG-EUPOS. W takiej sytuacji wykonawca mógłby podjąć decyzję o zmianie wykorzystywanego systemu danych referencyjnych, jeśli np. terminowość przeważałaby kwestię kosztów.

Bibliografia

- [1] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Standard techniczny określający zasady i dokładności pomiarów geodezyjnych dla zakładania wielofunkcyjnych znaków regulacji osi toru Ig-7. Załącznik do zarządzenia Nr 27/2012 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 19 listopada 2012 r.
- [2] Uznański A., Estymacja precyzji i dokładności wyników RTN w odniesieniu do sieci ASG-EUPOS. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie, z. 149, s. 595–610, Kraków, 2009.
- [3] Uznański A., Niezawodność pomiarów geodezyjnych w zintegrowanej osnowie kolejowej. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie, z. 154, Kraków 2010.
- [4] Uznański A., Pozycjonowanie RTN w odniesieniu do różnych sieci stacji referencyjnych w Polsce. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie, cz. 1, Kraków 2016.
- [5] <http://www.asgeupos.pl/>
- [6] <http://epsagnss.usal.es/documentos/ntripdocumentation.pdf>
- [7] <http://nadowski.pl/nadowski-net/>
- [8] <https://www.nmea.org/>
- [9] <http://www.rtcn.org/>
- [10] <http://www.smartnetleica.pl/>
- [11] <http://www.tpinet.pl/>
- [12] <http://vrsnet.pl/>

