

POZYCJONOWANIE RTN W ODNIESIENIU DO RÓŻNYCH SIECI STACJI REFERENCYJNYCH W POLSCE¹

Andrzej Uznański

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

***Streszczenie.** Tematyka pracy dotyczy satelitarnego wyznaczania współrzędnych punktów z wykorzystaniem naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych funkcjonujących na terenie Polski, popularnie nazywanych sieciami stacji referencyjnych. Przedstawiona została historia, budowa i zasada działania takich systemów w Polsce. Od 1 lipca 2016 roku nieodpłatne dotąd dane referencyjne udostępniane w czasie rzeczywistym przez Małopolski System Pozycjonowania Precyzyjnego przestały być dostępne. W pracy przedstawiono i omówiono wyniki pomiaru testowego, które analizowano pod kątem ustalenia jakości wyznaczanych pozycji punktów oraz czy jest możliwe wskazanie najlepszego systemu satelitarnych danych referencyjnych w Polsce.*

***Słowa kluczowe:** system stacji referencyjnych, ASG-EUPOS, ASG-PL, MSPP, NadowskiNET, TPI NET[™], VRSnet.pl, pomiary RTK/RTN*

1. Wprowadzenie

Wg statystyk 95% firm geodezyjnych w Polsce dysponuje odbiornikami satelitarnymi. Aktualnie najefektywniejszą, a przez to najchętniej wykorzystywaną przez wykonawców, techniką realizacji pomiarów geodezyjnych, są sieciowe kinematyczne pomiary satelitarne w czasie rzeczywistym RTN (Real Time Network). Określenie sieciowe oznacza, że do ich realizacji użytkownik odbiornika satelitarnego musi wykorzystać dane referencyjne z naziemnego systemu stacji referencyjnych, który działa na obszarze wykonywania przez niego pomiarów. Na terenie Polski działa kilka naziemnych satelitarnych systemów danych referencyjnych. System ASG-EUPOS jest systemem państwowym, zbudowanym z dotacji Unii Europejskiej. Udostępniony został użytkownikom w czerwcu 2008 r. Od 2014 roku korzystanie z jego danych jest odpłatne. Systemem, który działał wcześniej, a jego stacje weszły w skład systemu ASG-EUPOS, jest Małopolski System Pozycjonowania Precyzyjnego (MSPP). Korzystanie z danych referencyjnych tego systemu w czasie rzeczywistym było zawsze bezpłatne. Na początku czerwca 2016 r. użytkownicy MSPP otrzymali dość lakoniczną wiadomość. Jasno sprecyzowano efekt w postaci zaprzestania udostępniania nieodpłatnych dotąd danych w czasie

¹ Praca wykonana w ramach badań statutowych, umowa nr 11.11.150.005

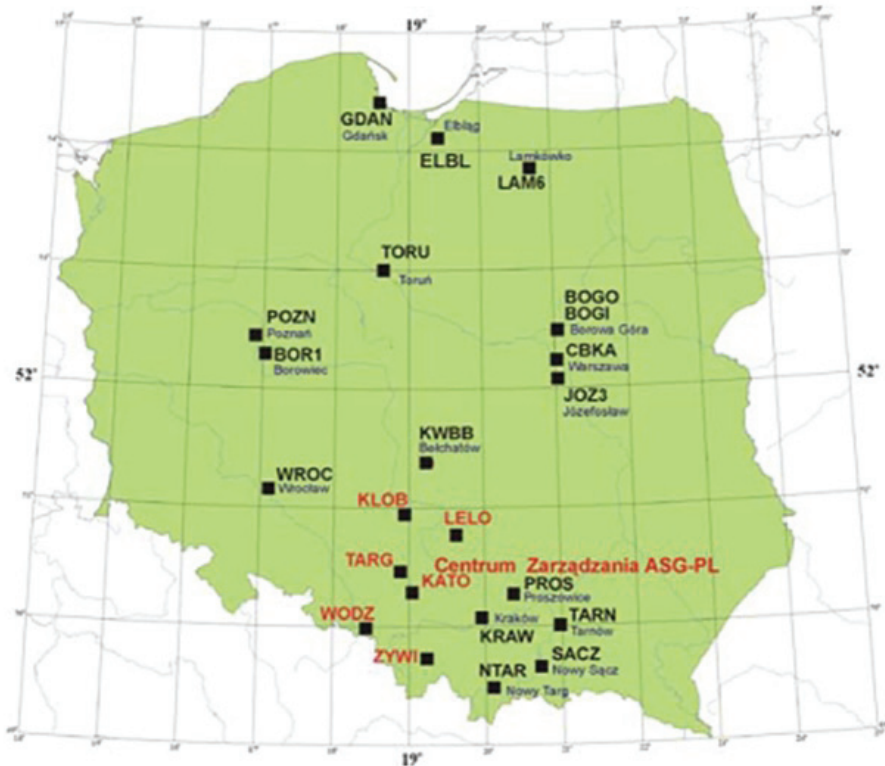
rzeczywistym do pozycjonowania satelitarnego, ale powodu użytkownik musi się doszukiwać samodzielnie w zmianach w Ustawie Prawo Geodezyjne i Kartograficzne [2] oraz w aneksie do umowy z dnia 18.02.2016 r. o współpracy pomiędzy Województwem Małopolskim a Głównym Geodetą Kraju, dotyczącego wykorzystania Małopolskiego Systemu Pozycjonowania Precyzyjnego w ogólnokrajowym systemie ASG-EUPOS. Aktualnie funkcjonują więc tylko rozwiązania odpłatne, poza ASG-EUPOS, czysto komercyjne, firm prywatnych. Autor spotkał się z zapotrzebowaniem ze strony wykonawców prac geodezyjnych na informację, który odpłatny system referencyjny wybrać. Z tego powodu zostały wykonane pomiary testowe. Zestawiono i porównano również aktualne (jesień 2016) zasady odpłatności za korzystanie z danych referencyjnych systemów naziemnych.

2. Historia naziemnych satelitarnych systemów danych referencyjnych w Polsce

Pomiary satelitarne ewoluowały najpierw w kierunku skrócenia czasu potrzebnego na uzyskanie dokładnej i wiarygodnej pozycji z opracowania obserwacji satelitarnych przez specjalistyczne oprogramowanie komputera stacjonarnego. Ewolucja ta przyniosła skrócenie czasu pomiaru z kilku godzin do kilkadziesiątu - kilkunastu minut. Kolejnym istotnym krokiem w rozwoju satelitarnej techniki pomiarowej było pojawienie się możliwości uzyskania wystarczająco dokładnych współrzędnych punktów do wielu zastosowań praktycznych, przy zadowalającej wiarygodności pozycji wyznaczonej przez odbiornik bezpośrednio w terenie, tuż po wykonaniu, zazwyczaj kilkusekundowym, pomiarze. W takim przypadku koniecznością było skorzystanie z danych referencyjnych drugiego odbiornika satelitarnego, którego antena była ustawiona w pobliżu (kilka, kilkanaście kilometrów) nad punktem o znanych współrzędnych geodezyjnych. Tę technikę pomiarową nazwano RTK (Real Time Kinematic). W ostatnich latach satelitarne pomiary kinematyczne w czasie rzeczywistym RTK ewoluowały w kierunku pomiarów Real Time Networks (RTN) [5], polegających na zastąpieniu danych z fizycznej stacji referencyjnej, danymi obliczonymi przez komputer Centrum Zarządzającego danej sieci stacji referencyjnych. Realizację takiego systemu, opartego o sieci stacji referencyjnych, umożliwiły algorytmy pozwalające na zwiększenie odległości odbiornika satelitarnego wykonawcy od najbliższej stacji referencyjnej z kilku, kilkunastu kilometrów do kilkadziesiątu kilometrów (w Polsce ok. 35 km). Zaletą pomiarów RTN jest możliwość realizacji pomiaru przez wykonawcę bardzo szybko, za pomocą jednego odbiornika satelitarnego.

W maju 2001 r. podpisane zostało porozumienie między Głównym Geodetą Kraju i Wojewodą Śląskim, które umożliwiło rozpoczęcie prac nad stworzeniem pierwszego w Polsce satelitarnego systemu danych referencyjnych o zasięgu regionalnym. System o nazwie Aktywna Sieć Geodezyjna (ASG-PL) został uruchomiony 25.02.2003 r. [4]. Jego zadaniem było udostępnianie użytkownikom obserwacji

stacyjnych ze stacji referencyjnych systemu, na podstawie zamówienia złożonego przez internet. Drugą funkcjonalnością był automatyczny post-processing obserwacji stacyjnych użytkownika nadesłanych przez internet. W skład sieci wchodziło 6 stacji referencyjnych położonych na obszarze województwa śląskiego oraz 12 stacji na terenie kraju. Spośród stacji referencyjnych zlokalizowanych poza województwem śląskim, dla powierzchniowego charakteru systemu, który wówczas jeszcze nie udostępniał strumienia danych referencyjnych w czasie rzeczywistym, praktyczne znaczenia miała tylko stacja KRAW znajdująca się na terenie Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Statystyki początków funkcjonowania systemu stacji referencyjnych mówią o poniżej 40 użytkownikach w latach 2003/04 i wykonaniu dla nich ok. 4000 obliczeń przy 25000 odwiedzających stronę internetową systemu. W lipcu 2004 r. uruchomiony został testowo strumień sieciowych danych referencyjnych (metoda VRS) udostępnianych w czasie rzeczywistym dla pomiarów RTN. Z końcem 2004 roku udostępniano także dane z fizycznych stacji referencyjnych systemu dla pomiarów RTK.



Rys. 1. Lokalizacja stacji referencyjnych systemu ASG-PL i MSPP [9]

Na mocy uchwały Zarządu Województwa Małopolskiego z 23.01.2006 r. w sprawie „Budowy systemu pozycjonowania precyzyjnego o przeznaczeniu ogólnogospodarczym dla województwa małopolskiego” podjęto się realizacji Mało-

polskiego Systemu Pozycjonowania Precyzyjnego (MSPP), który uruchomiono we wrześniu 2006 roku. Zarząd Województwa Małopolskiego 15.09.2016 r. przyjął uchwałę o współpracy z Głównym Geodetą Kraju i Województwem Śląskim oraz włączeniu stacji MSPP do systemu ASG-PL, dzięki czemu powstał regionalny system stacji referencyjnych obejmujący zasięgiem swego działania dwa województwa.

W Europie pojawiła się w 2003 roku inicjatywa utworzenia kontynentalnego systemu danych referencyjnych pod nazwą EUPOS. W dniu 2 sierpnia 2005 roku podpisano umowę na budowę krajowego systemu ASG-EUPOS, który miał być polskim komponentem systemu europejskiego. Koszt realizacji projektu wyniósł ok. 30 mln PLN. Środki pozyskano z Sektorowego Programu Operacyjnego Wzrost Konkurencyjności Przedsiębiorstw lata 2004-2006. W Polsce naziemny nawigacyjny system wyznaczania pozycji Aktywna Sieć Geodezyjna European Position Determination System (ASG-EUPOS) [5] został udostępniony użytkownikom w czerwcu 2008 r., a zamknięcie strony internetowej systemu ASG-PL nastąpiło 18.10.2008 r. i było ostatnim etapem włączania tej sieci do systemu ASG-EUPOS.



Rys. 2. Lokalizacja stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS (7)

MSPP działa nadal, równolegle z ASG-EUPOS, a stacje referencyjne tego systemu zostały włączone do krajowego systemu ASG-EUPOS. Zarówno ASG-EUPOS, jak i MSPP wykorzystują oprogramowanie tej samej firmy, stacje MSPP tworzą fragment systemu ASG-EUPOS na terenie dwóch województw, systemy udostępniały identyczne serwisy i rodzaje strumieni danych, a oddzielne są Centra Zarządzające. Jak wspomniano, od czerwca 2016 r. MSPP nie udostępnia strumieni danych referencyjnych w czasie rzeczywistym.

Tzw. krokiem milowym było wprowadzenie opłat za usługi systemu ASG-EUPOS od dnia 12 lipca 2014 r. na mocy Ustawy z 5 czerwca 2014 r. o zmianie ustawy – Prawo geodezyjne i kartograficzne oraz ustawy o postępowaniu egzekucyjnym w administracji (Dz. U. z 2014 r. poz. 897) [2]. Wzory formularzy zamówienia usług i danych systemu ASG-EUPOS reguluje Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji w sprawie udostępniania materiałów państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego, wydawania licencji oraz wzoru Dokumentu Obliczenia Opłaty (Dz. U. z 2014 r. poz. 917) [1].

Odpowiedzią na odpłatność serwisów systemu ASG-EUPOS była budowa przez firmy komercyjne własnych systemów stacji referencyjnych, o których więcej w dalszej części pracy.

3. Budowa i funkcjonowanie naziemnego systemu satelitarnych danych referencyjnych

Najczęściej spotykanym określeniem na naziemny system satelitarnych danych referencyjnych jest nazwa „sieć stacji referencyjnych”, akcentująca fizyczny aspekt takiego systemu. Nie mniej istotą systemu jest udostępnianie użytkownikom satelitarnych danych referencyjnych do post-processingu oraz w czasie rzeczywistym. Literatura wyszczególnia 4 komponenty takiego systemu: satelity nawigacyjne, odbiorniki referencyjne, Centrum Zarządzające i użytkowników. Rodzaj odbiorników satelitarnych stacji referencyjnych decyduje o tym, z których systemów nawigacji satelitarnej sygnały zostaną odebrane i dla których zostaną obliczone dane referencyjne dla wykonawców robót geodezyjnych. Aktualnie nadal podstawowym systemem nawigacji satelitarnej wykorzystywanym do pozycjonowania jest amerykański system NAVSTAR GPS. Odbiorniki satelitarne sieci referencyjnych, w zasadzie w standardzie już, odbierają sygnały rosyjskiego systemu GLONASS. W systemie ASG-EUPOS modernizacja sprzętu zbliża się do końca i jedynie odbiorniki zlokalizowane na północnym wschodzie Polski odbierają tylko sygnały systemu NAVSTAR GPS. Kolejnymi systemami nawigacji satelitarnej, które będą coraz szerzej pojawiały się w pozycjonowaniu geodezyjnym będzie chiński COMPASS i być może europejski Galileo.

Zasada działania naziemnego systemu danych referencyjnych polega na odbiorze przez stacje referencyjne systemu sygnałów z satelitów nawigacyjnych. Odczyty kodów i faz tych sygnałów są drogą naziemną przesyłane ze stacji re-

ferencyjnych do Centrum Zarządzającego (CZ), w którym są one archiwizowane oraz przetwarzane zgodnie z żądaniami użytkowników systemu. Łączność stacji referencyjnych z CZ realizowana jest światłowodami poprzez internet za pośrednictwem protokołu Ntrip [8], który został opracowany w Niemczech specjalnie do tego celu. Pośrednikiem w komunikacji naziemnych komponentów systemu (stacje referencyjne i użytkownicy) jest tzw. Ntrip Caster, czyli aplikacja serwera dostępowego. Użytkownik chcąc korzystać z danych referencyjnych systemu musi uzyskać do nich dostęp od administratora. Jest to też element systemu naliczania opłat za usługi. W CZ znajdują się serwery, na których archiwizowane są oryginalne obserwacje ze stacji referencyjnych, serwery służące udostępnianiu danych ze stacji referencyjnych w czasie rzeczywistym oraz serwery prowadzące obliczenia referencyjnych danych sieciowych zgodnie z bieżącymi żądaniami użytkowników. Użytkownik otrzymuje dane sieciowe w czasie rzeczywistym, wygenerowane specjalnie dla niego. Z tego powodu liczba użytkowników przekłada się na obciążenie serwerów.

Z punktu widzenia kinematycznych pomiarów satelitarnych w czasie rzeczywistym strumienie danych można podzielić na te pochodzące z fizycznych stacji referencyjnych do pomiarów RTK oraz sieciowe dane referencyjne obliczone przez serwer CZ systemu do pomiarów RTN. Do wysyłania różnych rodzajów strumieni danych wykorzystywane są różne porty Ntrip Castera. Dla mniej wymagających dokładnościowo użytkowników zazwyczaj udostępniane są dodatkowe strumienie danych referencyjnych. Formatem danych referencyjnych aktualnie jest standardowo protokół RTCM 3.1, choć są też strumienie dodatkowe, przesyłane w protokole Trimble'a CMR+. Szczegółowe opisy strumieni danych referencyjnych można znaleźć na stronach poszczególnych naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych [7,9-13] i nie będą tu przytaczane.

4. Naziemne systemy satelitarnych danych referencyjnych działające w Polsce

Systemy stacji referencyjnych są opisane na ich własnych stronach internetowych [7,9-13]. W niniejszym punkcie zostaną zaprezentowane mapy stacji referencyjnych systemów umożliwiające ich porównanie oraz wybrane informacje na ich temat.

Państwowym systemem stacji referencyjnych w Polsce jest system ASG-EUPOS, którego mapa stacji referencyjnych została przedstawiona w pkt. 2. wraz z mapą, tracącego na znaczeniu, systemu MSPP. Komercyjne systemy danych referencyjnych w Polsce to: NadowskiNET, Leica SmartNet Polska, TPI NET^{Pr}, VRSnet.pl.

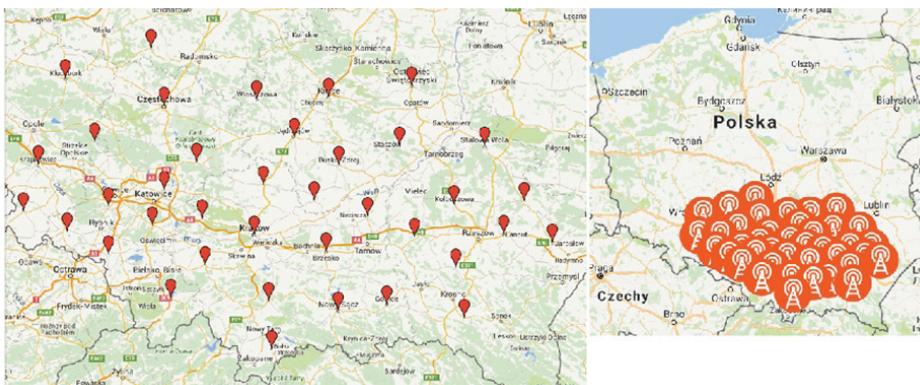
Przyjęcie do zasobu ODGiK pracy wykonanej z wykorzystaniem nawiązania pomiaru wykonawcy do stacji referencyjnych jakiegось systemu wymaga,

aby te stacje były przyjęte do Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego jako punkty osnowy. Przy odbiorze punktów i po kontroli określana jest klasa danego punktu. Punkty ASG-EUPOS są punktami 1. klasy. Punkty sieci komercyjnych zostały zakwalifikowane jako osnowa szczegółowa, punkty 3. klasy. Jeśli właściciel sieci nie wykonał niwelacji punktów stacji referencyjnych, to należy rozdzielić osnowę na poziomą i wysokościową. Punkty zaniwelowane stanowią wysokościową osnowę szczegółową, a punkty nie zaniwelowane osnowę pomiarową. Nie w każdym systemie komercyjnym informacja o klasie punktu jest eksponowana.

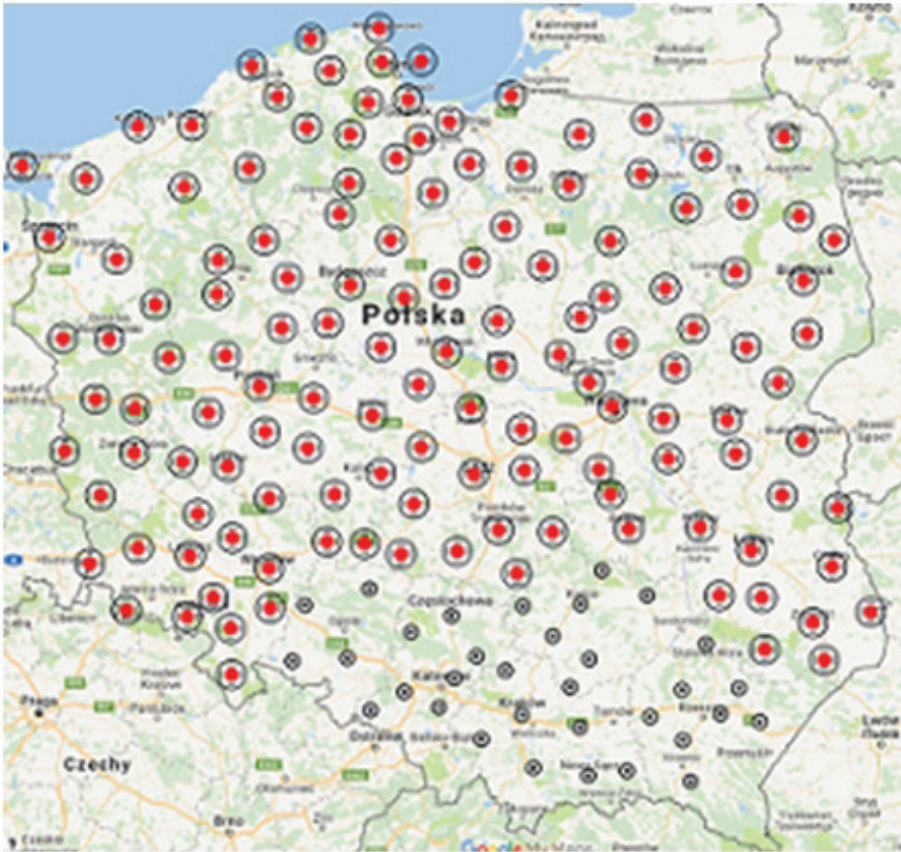
Pierwszą, najbardziej widoczną różnicą między systemami stacji referencyjnych jest obszar i gęstość lokalizacji stacji referencyjnych. Systemy MSPP i NadowskiNET są sieciami regionalnymi, pozostałe należy zaliczyć do krajowych, przy czym system VRSnet.pl ma aktualnie wyraźnie mniejszą liczbę stacji referencyjnych. Dla miejsca wykonywania pomiarów ustalono 6 najbliższych stacji referencyjnych każdego z systemów, a dane zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Odległości stacji referencyjnych systemów od miejsca pomiaru

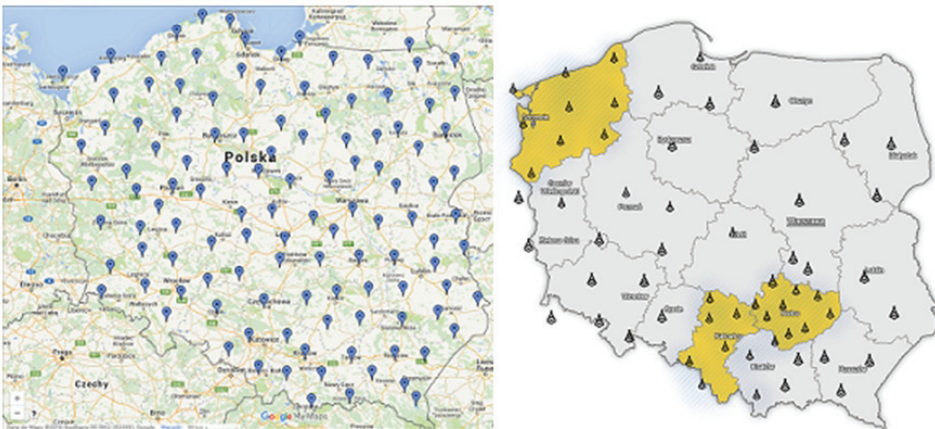
Lp.	ASG-EUPOS = MSPP		NadowskiNET = SmartNet Polska		TPI NETPro		VRSNet.pl	
	Id	[km]	Id	[km]	Id	[km]	Id	[km]
1	PROS	10.3	KRAK	24.0	Kraków	18.1	KRAK	23.2
2	KRA1	19.4	MIEW	25.6	Michałów	43.0	TOLA	27.1
3	BUZD	53.2	KAZA	27.1	Olkusz	46.2	BUSK	53.5
4	TRNW	60.6	BRZE	36.4	Tymbark	47.4	JEOW	55.9
5	NWSC	69.9	TRZE	50.0	Tarnów	60.2	TRNW	60.5
6	LELO	70.7	MSZA	52.4	Sucha Beskidzka	64.2	NWSC	69.9
suma [km]:		284.1	215.5		279.1		290.1	



Rys. 3. Mapa stacji referencyjnych NadowskiNET (na dzień pomiarów tożsama z SmartNet Polska)



Rys. 4. Mapa stacji referencyjnych SmartNet Polska



Rys. 5. Mapa stacji referencyjnych systemu TPI NET pro oraz VRSnet.pl

Z zestawienia w tabeli 1 wynika, że dla miejsca realizacji pomiarów najbliższej i najgęściej zlokalizowane są stacje referencyjne systemu NadowskiNET. Pozostałe systemy mają zbliżoną wartość sumy kilometrów dla odległości 6 najbliższych stacji referencyjnych od mierzonych punktów.

Istotnym czynnikiem przemawiającym za wyborem sieci stacji referencyjnych przez wykonawcę będzie oczywiście cena usługi. Aktualne na jesień 2016 roku cenniki zebrano poniżej (tab. 2). Dane nie uwzględniają darmowych okresów testowych, okresowych promocji, możliwości uzyskiwania rabatów, itp. Zdecydowanie najprostsz system naliczania cen jest w systemie NadowskiNET. W systemie VRSnet.pl koszt subskrypcji RTK/RTN zależy od regionu wykonywania pomiarów.

Tabela 2. Cennik usług systemów stacji referencyjnych, RR – pomiary RTK/RTN, PP – obserwacje do postprocessingu

System	ASG-EUPOS ¹		MSPP	NadowskiNET	SmartNet Polska		TPI NETpro		VRSnet.pl	
	RTN	RTK	---	---	dealera	inny	dealera	inny	dealera	inny
Dane/ okres	---		---	---	odbiornik		odbiornik		odbiornik	
RR/ 1 tydzień	54	25.20	---	---	---	---	100	---	---	
RR/ 1 m-c	180	84	---	---	180	250	---	---	---	
RR/ 3 m-ce	---		---	400	480	670	---	---	---	
RR/ 4 m-ce	---		---	---	---	---	800	---	---	
RR/ 6 m-cy	810	378	---	600	930	1300	---	---	---	
RR/ 1 rok	1500	700	---	1000	1800	2200	1800	2200	400/ 500 ³	800/ 1000
PP/ fizyczne	10.00 – 0.90		Gratis ²	w cenie RR	1 rok/ 800/ 30 plików		w cenie RTK?		W cenie RR do 100 godzin	
PP/ wirtualne	5.00 – 1.50		---	?	1 rok/ 800		?		Tab. 3	
PP/ automat.	5.00 – 1.50		---	---	1 rok/ 800		---		Tab. 3	

¹ – minimalna wartość zamówienia – 30 PLN, ceny brutto, pozostałe systemy ceny netto, zakres cen dla PP wynika ze zróżnicowania ze względu na liczbę punktów/stacji referencyjnych

² – mimo, że stacje referencyjne MSPP są tożsame ze stacjami ASG-EUPOS, działanie serwisu różni się istotnie na niekorzyść MSPP (zupelny brak danych lub dostępność z krótkich przedziałów czasowych)

³ – zróżnicowanie obszarowe, szczegółowy opis na stronie właściciela systemu

Tabela 3. Ceny dostępu do danych referencyjnych z limitem danych

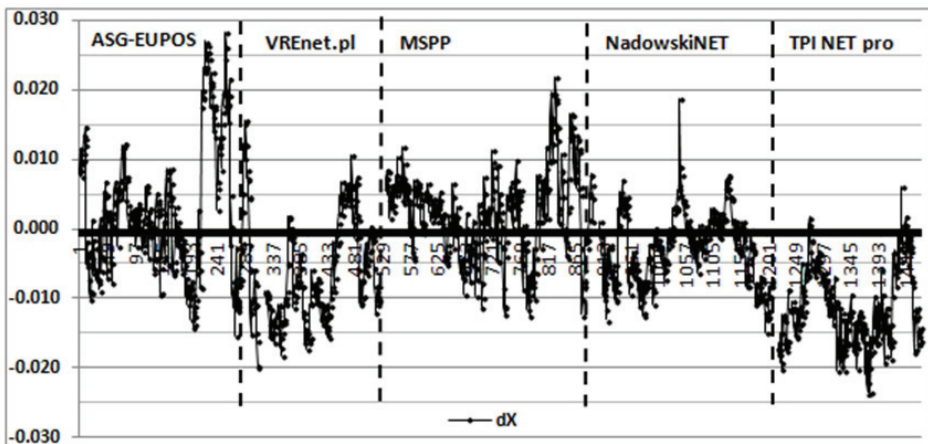
System	czas pomiarów	ważność subskrypcji	Cena, może zależeć od odbiornika	
			dealera	inny
SmartNet Polska	120 godzin	1 rok	1100	---
	10 godzin	1 m-c	---	99
TPI NETpro	115+10 godzin	1 rok	999	---
	115	1 rok	---	999
VRSnet.pl	100 godzin RR	3 m-ce	300	
	100 godzin RR	6 m-cy	400	
	100 godzin RTN	1 rok	200, dodatkowa 1 h = 1 PLN	
	---	100 punktów PP automat.	500	
	100 godzin	1 rok obs. do PP wirtualne	200, dodatkowa 1 h = 1 PLN	
	100 godzin	1 rok obs. do PP fizyczne	200, dodatkowa 1 h = 1 PLN	

5. Analiza wyników pomiarów

Przedmiotem analiz są w zasadzie wyniki satelitarnych pomiarów kinematycznych w czasie rzeczywistym RTN (tylko jeden strumień RTK) wykonane na dwóch punktach testowych. Analizowana próbka liczyła ogółem 1428 pomiarów testowych. Pomiaru starano się wykonywać w seriach złożonych z 25 pomiarów dla każdego strumienia każdej z sieci, przy czasie trwania pomiarów wynoszącym: 1, 5, 10 i 30 jednosekundowych epok. Ze względu na problemy techniczne z utrzymaniem połączenia lub jego nawiązaniem w niektórych sieciach, próbki nie są równoliczne w poszczególnych kategoriach zmiennych grupujących, czyli parametrów charakterystycznych, jak strumień i czas pomiaru. Liczebność pomiarów w sieciach jest istotnie zróżnicowana, a informację tę zamieszczono w tab. 4. Z danych wynika, że np. pomiarów w sieci VRSnet.pl wykonano aż o 45% mniej niż w sieci MSPP. Z tego powodu analizy i wnioski musiały zostać ograniczone.

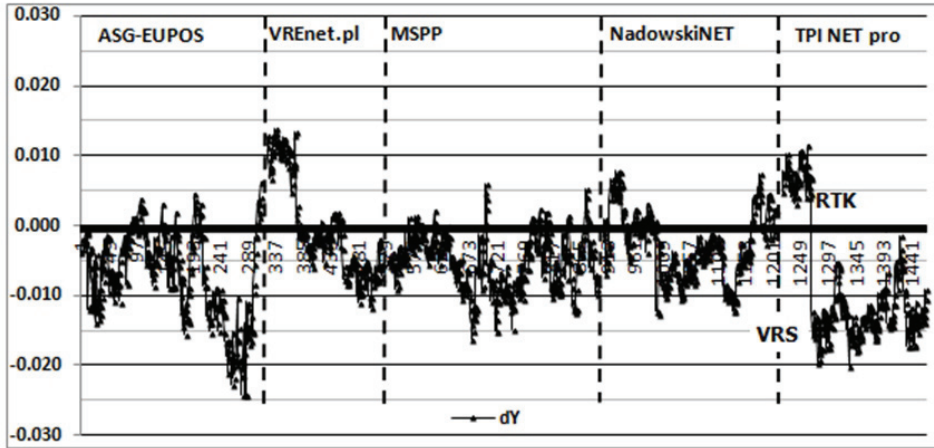
Podstawą analizy jakości wyników pomiarów RTN/RTK były różnice współrzędnych mierzonych punktów między współrzędnymi referencyjnymi, wyznaczonymi z obserwacji satelitarnej sesji statycznej i współrzędnymi obliczonymi przez odbiornik GNSS w czasie rzeczywistym. Jakość współrzędnych referencyjnych oszacowano na podstawie wariantów wyrównania satelitarnych obserwacji statycznych, nawiązanych do dwóch systemów ASG-EUPOS (punkty 1. klasy) i kontrolnie MSPP. Fizycznie obydwa systemy na obszarze pomiarów tworzą te same stacje referencyjne, ale wyniki różniły się zwłaszcza dla wyznaczonych wysokości. Różnice współrzędnych (x, y) były na poziomie 1 mm. Zrezygnowano z analiz wysokości, gdyż wystąpił czynnik systematyczny o wartości ok. 2 cm. Przy braku niwelacji geometrycznej, nie ma podstaw do wyboru wartości referencyjnych dla wysokości punktów.

Poniższe rysunki przedstawiają różnice współrzędnych płaskich punktów (x, y) w układzie PL-2000, uporządkowanych wg systemu referencyjnego. Pierwszym wnioskiem z analizy wyników pomiarów jest stwierdzenie nieprzekraczania przez różnice współrzędnych płaskich punktów wartości 3 cm. Można też zauważyć, że różnice współrzędnej y są przeciętnie mniejsze niż różnice współrzędnej x punktów.



Rys. 6. Różnice współrzędnej x punktów testowych

Na rysunku 7 oznaczono dla sieci TPI NET pro charakterystyczną skokową zmianę wartości różnic, wynikającą ze zmiany strumienia danych referencyjnych z RTK na VRS. Strumień RTK oznacza dane referencyjne z najbliższej miejscowości fizycznej stacji referencyjnej danego systemu.



Rys. 7. Różnice współrzędnej y punktów testowych

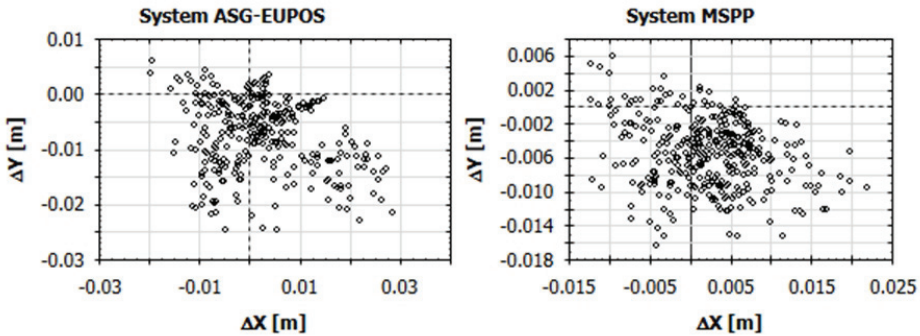
Statystyki opisowe zamieszczone w tabeli 4 wskazują, że największe średnie różnice wystąpiły dla pomiarów korzystających z danych referencyjnych systemu TPI NET^{pro}. Wartości odchylenia standardowego, będącego miarą precyzji pomiarów wskazują już mniej jednoznacznie na sieć TPI, gdyż dla współrzędnej x największa wartość wystąpiła w przypadku sieci ASG-EUPOS. Największy rozrzut wartości odnotowano dla sieci ASG-EUPOS. Dla wielu z analizowanych wielkości różnice w wartościach są jednak milimetrowe.

Tabela 4. Podstawowe statystyki opisowe różnic współrzędnych punktów (x, y)

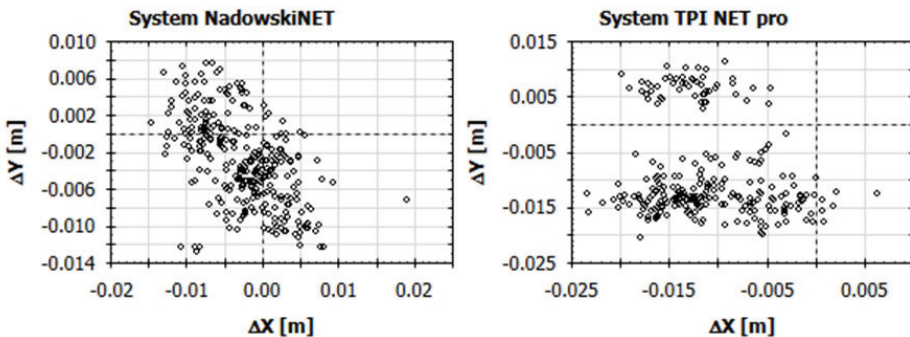
Współ.	System	L. pomiarów	Średnia	Odch. std	Rozstęp	Minimum	Maksimum
Δx	razem	1428	-0.002	0.009	0.052	-0.024	0.028
	M	363	0.002	0.006	0.034	-0.013	0.022
	N	301	-0.003	0.005	0.034	-0.015	0.019
	V	201	-0.007	0.007	0.029	-0.018	0.011
	A	313	0.002	0.010	0.048	-0.020	0.028
	T	250	-0.011	0.006	0.030	-0.024	0.006
Δy	razem	1428	-0.005	0.007	0.038	-0.024	0.014
	M	363	-0.005	0.004	0.022	-0.016	0.006
	N	301	-0.003	0.005	0.020	-0.013	0.008
	V	201	0.000	0.007	0.026	-0.012	0.014
	A	313	-0.007	0.007	0.030	-0.024	0.006
	T	250	-0.009	0.009	0.032	-0.020	0.012

Rysunki 8-10 przedstawiają rozrzut wyników pomiarów względem współrzędnych referencyjnych dla każdego systemu oddzielnie. Można zauważyć występowanie czynnika systematycznego w wartościach różnic współrzędnych. Jego wielkość waha się zależnie od systemu i strumienia danych w systemie od 2 mm do 11 mm. Zróżnicowanie wartości czynnika systematycznego świadczy o tym, że pomiary z wykorzystaniem różnych systemów i strumieni danych referencyjnych mogą skutkować różnicami w wynikach na poziomie od kilku milimetrów do ok. 1 cm.

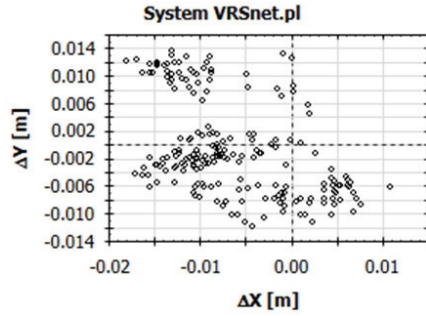
W tabeli 5 zamieszczono licznosci różnic współrzędnych referencyjnych i z pomiarów RTK/RTN dla wszystkich wyników. W wykonanym teście nie ma wartości różnic współrzędnych przekraczających 3 cm, a w przedziale ± 1 cm mieści się aż ok. 73% wyników analizy (72.8% dla współrzędnej x oraz 73.9% dla współrzędnej y).



Rys. 8. Wykresy rozrzutu różnic współrzędnych punktów: systemy ASG-EUPOS i MSPP



Rys. 9. Wykresy rozrzutu różnic współrzędnych punktów: systemy NadowskiNET i TPI NET pro



Rys. 10. Wykresy rozrzutu różnic współrzędnych punktów: system VRSnet.pl

Tabela 5. Tabela licznosci różnic współrzędnych x, y w przedziałach

Przedział	Liczba x	Skumul. x	%	Skumul. %	Liczba y	Skumul. y	%	Skumul. %
-0.030<x<-0.020	9	9	0.6	0.6	14.0	14.0	1.0	1.0
-0.020<x<-0.010	286	295	20.0	20.7	322.0	336.0	22.5	23.5
-0.010<x<0.000	567	862	39.7	60.4	809.0	1145.0	56.7	80.2
0.000<x<0.010	473	1335	33.1	93.5	246.0	1391.0	17.2	97.4
0.010<x<0.020	74	1409	5.2	98.7	37.0	1428.0	2.6	100.0
0.020<x<0.030	19	1428	1.3	100.0	0.0	1428.0	0.0	---

6. Podsumowanie

Opracowanie należy traktować jako szybką odpowiedź na zapotrzebowanie ze strony wykonawców na informację, w jakim przedziale dokładności mogą uzyskać współrzędne punktów, korzystając z poszczególnych naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych. Porównano również koszty korzystania z danych referencyjnych systemów. Ze względu na problemy techniczne, nie udało się zrealizować całego planu eksperymentu pomiarowego i wnioski musiały zostać aktualnie ograniczone. Nie mniej kluczowym stwierdzeniem jest, iż na podstawie analizy 1428 wyników pomiarów wykonanych z wykorzystaniem danych referencyjnych w czasie rzeczywistym, wszystkich funkcjonujących w Polsce systemów, możliwe jest z dużym prawdopodobieństwem wyznaczenie współrzędnych płaskich punktu mierzonego w krótkim czasie (do kilku sekund) z dokładnością lepszą niż 3 cm.

W punkcie 5. analizowano wyniki pomiarów testowych, akcentując zauważone różnice w wynikach. Podsumowując analizy można stwierdzić, że w eksperymencie nie zauważono bardzo istotnych i wyraźnych różnic w jakości wyznaczanych pozycji punktów w zależności od systemu referencyjnego, z którego danych wykonawca korzysta. Na tym etapie prac nie można wskazać wyraźnie lepszego, czy wyraźnie najgorszego systemu stacji referencyjnych. Mankamentem w szerszym formułowaniu wniosków jest aktualnie zróżnicowanie próbek pomiarowych w systemach, wynikające z problemów technicznych z łączeniem się z niektórymi z nich.

Zestawienie rodzajów i kosztów subskrypcji satelitarnych danych referencyjnych umożliwi dokonanie szybkiego wyboru najkorzystniejszej dla wykonawcy oferty.

Bibliografia

- [1] Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 9 lipca 2014 r. w sprawie udostępniania materiałów państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego, wydawania licencji (Dz. U. z 2014 r. poz. 917).
- [2] Ustawa z dnia 5 czerwca 2014 r. o zmianie ustawy – Prawo geodezyjne i kartograficzne oraz ustawy o postępowaniu egzekucyjnym w administracji (Dz. U. z 2014 r. poz. 897)
- [3] Ustawa z dnia 17 maja 1989 roku prawo geodezyjne i kartograficzne wraz z późniejszymi zmianami (Dz. U. 2015 poz. 520 z późn. zm.).
- [4] Uznański 2008 RTN measurements accuracy test in reference to MSPP. Geomatics and Environmental Engineering. vol. 3 no. 2, s. 81–90, Kraków 2009.
- [5] 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.
- [6] 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
- [7] <http://www.asgeupos.pl/>, dostęp 2016.09.30
- [8] <http://epsagnss.usal.es/documentos/ntripdocumentation.pdf>, dostęp 2016.09.30
- [9] <http://gps.geomalopolska.pl/>, dostęp 2016.09.15
- [10] <http://nadowski.pl/nadowski-net/>, dostęp 2016.09.15
- [11] <http://www.smartnetleica.pl/>, dostęp 2016.09.15
- [12] <http://www.tpinet.pl/>, dostęp 2016.09.15
- [13] <http://vrsnet.pl/>, dostęp 2016.09.15