

Wirtualne przeniesienia współrzędnych jako alternatywa dla zakładania punktów osnowy geodezyjnej

Klucze i wytrychy



Skostniałe regulacje prawne nie powinny być barierą w innowacyjnym stosowaniu nowych technologii, takich jak VRS. Na podkreślenie zasługuje aspekt ekonomiczny. Do otrzymania bardzo wysokiej dokładności nie jest wymagane ani szczególne instrumentarium, ani jakieś wydłużone w czasie pomiary.

Ryszard Pazus

Wirtualne stacje referencyjne VRS (Virtual Reference Station) w pomiarach z wykorzystaniem aktywnych sieci geodezyjnych (ASG) radykalnie zmieniły techniczną i ekonomiczną optymalizację zakładania osnow geodezyjnych. I to nie tylko sieci szczegółowych i pomiarowych, ale także tych podstawowych, o najwyższej dokładności.

Gdyby w rozporządzeniu w sprawie osnow geodezyjnych z 2012 r. nie usu-

nięto zapisu § 5 pkt 2 instrukcji G-2 [1]: „Dopuszcza się stosowanie w sieciach geodezyjnych punktów nieutrwalonych i punktów matematycznych, materializowanych na żądanie z wymaganą dokładnością”, prawdopodobnie w terminologii Polskich Norm Branżowych [ramka na stronie obok] znalazłyby się dzisiaj hasła:

- „**wirtualny punkt nawiązania** – punkt sieci geodezyjnej, dla którego wykonano nawiązanie geodezyjne do wirtualnej stacji referencyjnej VRS”,
- „**punkt przeniesienia współrzędnych, punkt przeniesienia** – punkt

geodezyjny, założony w pobliżu punktu poziomej osnowy geodezyjnej lub wirtualnej stacji referencyjnej (VRS), wyznaczony w zależności od tego punktu lub VRS i mający dokładność tego samego rzędu”.

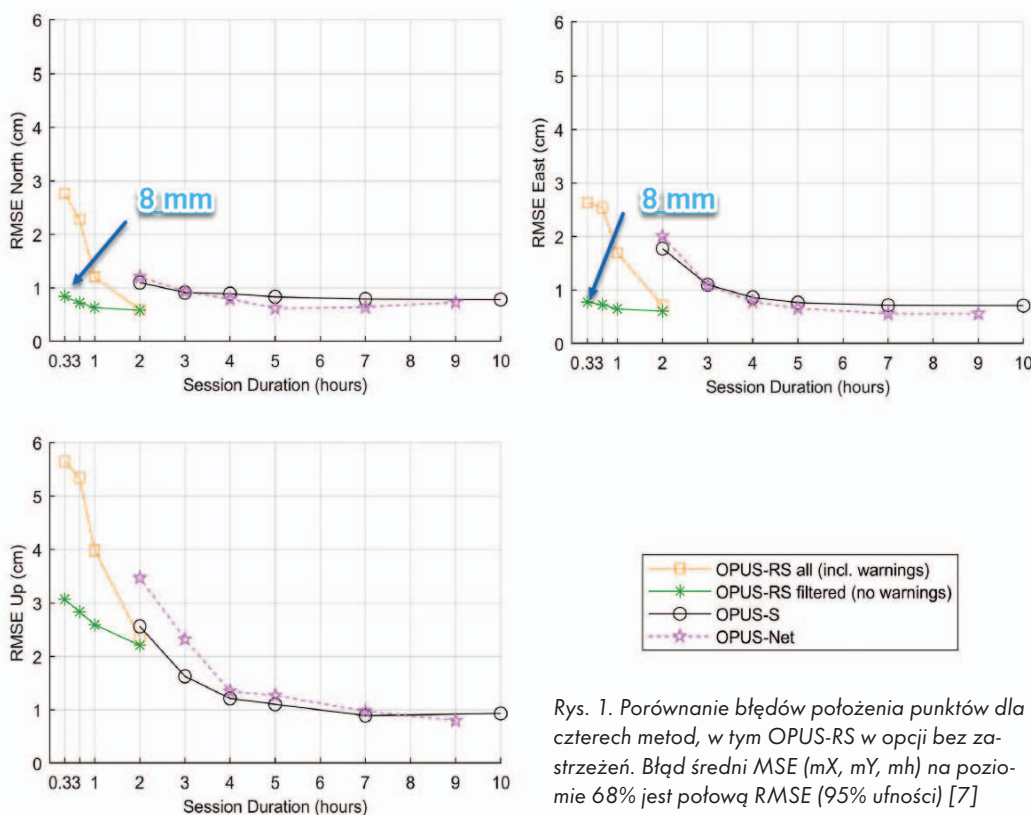
Stało się jednak inaczej i takich definicji, niestety, nie mamy.

• Krótkie wektory w krótkich sesjach

VRS-y wykorzystuje się, poza popularnymi pomiarami RTN, w metodzie szybkiej statycznej RS (Rapid Static). I to właśnie o zaletach metody RS jest ta publikacja, stanowiąca w pew-

nym stopniu kontynuację serii artykułów drukowanych w GEODECIE kilka ładnych lat temu [2, 3, 4 i 5]. Tym razem procedura pomiarowa jest ograniczona do wyznaczania krótkich wektorów, w bardzo krótkich sesjach pomiarowych, trwających kilkanaście minut, w lokalizacjach otwartego widnokręgu. Celem jest otrzymanie wysokiej dokładności wyznaczenia współrzędnych w standardzie dokładności podstawowej poziomej osnowy geodezyjnej. W metodzie tej szczególnie nacisk kładzie się na niezależne potwierdzenie tej dokładności, pozbawione jakichkolwiek wątpliwości.

Sama metoda RS to po prostu nawiązanie geodezyjne do VRS, czyli przeniesienie współrzędnych na punkt geodezyjny z bardzo blisko poło-



Rys. 1. Porównanie błędów położenia punktów dla czterech metod, w tym OPUS-RS w opcji bez ostrzeżeń. Błąd średni MSE (m_X , m_Y , m_h) na poziomie 68% jest połową RMSE (95% ufności) [7]

zonego VRS. Różnica w stosunku do powszechnie stosowanej metody szybkiej statycznej polega na wyznaczeniu tylko bardzo krótkich wektorów w bardzo długich sesjach wirtualnych (co najmniej wielogodzinnych) dla każdego wyznaczanego punktu, obejmujących okresem wszystkie punkty wyznaczone danego dnia. Na zaprojektowanych i odpowiednio wcześniej utrwalonych znakami geodezyjnymi punktach osnowy geodezyjnej tworzymy sieci w grupach, dla których logistycznie jesteśmy w stanie wykonać pomiary w ciągu jednej doby. Metoda nie ma warunku dotyczącego liczby użytych w pomiarach odbiorników, bo sesje pomiarowe służą jedynie do przeniesienia współrzędnych z VRS.

● Amerykańscy uczeni badali

Dokładność RS została sprawdzona przez mnie na ponad tysiącu pomiarów wykonywanych w ostatnich kilku latach. Temat ten jest też przedmiotem analiz amerykańskich w aktywnej sieci geodezyjnej OPUS, która była wprowadzona do stosowania w USA w 2001 roku. W tym samym czasie w naszym kraju zakładano aktywną sieć geodezyjną ASG.PL [2]. OPUS nadal pracuje jedynie na systemie GPS (czyli bez GLONASS, nie mówiąc o Galileo). W publikacji [7] autorzy badali dokładności metody szybkiej statycznej OPUS-RS z obliczeniami on-line na przestrzeni kilku lat. Analiza była wykonana na ponad 5 tysiącach otrzymanych do postprocessingu plików RINEX. Celem tych badań była jedynie ocena dokładności tych pomiarów. Okazało się, że nawet długotrwałe sesje pomiarowe wykonywane metodą statyczną (wielogodzinne) dają dokładności takie jak krótkie sesje szybkie statyczne (RS). Widać to na załączonych wykresach (rys. 1), na których RMSE to błąd średni o standardzie ufności 95%. Interesuje nas ocena dokładności błędu położenia punktu mp w układzie współrzędnych xy. Dla OPUS-RS T 0,33 h (20 min) RMSE w kierunkach północnym i wschodnim wynosi po 8 mm; w wyniku mamy błąd średni położenia punktu mp równy 12 mm według ich standardów (czyli 6 mm dla błędu średniego z poziomem ufności 68%). Można tę dokładność znacząco i pewnie poprawić procedurą obliczeniową, równocześnie upraszczając pomiary w terenie.

● Nasz polski projekt

Prostotę procedury najlepiej wyjaśnić na przykładzie. Dla większej przejrzystości sieć jest złożona jedynie

Przydatne przepisy i definicje dotyczące punktów osnowy

● Polskie Normy (wyciąg)

1) Geodezja. Terminologia PN-86-N-02207, zgłoszona przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii, ustanowiona przez Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości 10 maja 1986 r. jako norma obowiązująca od 1 lipca 1987 r. [Dziennik Norm i Miar nr 4/1988 poz. 26]:

- 2.57. osnowa geodezyjna – usystematyzowany zbiór punktów geodezyjnych, dla których określono matematycznie ich wzajemne położenie i dokładność usytuowania.

- 2.88. punkt nawiązania – punkt sieci geodezyjnej, na którym wykonano nawiązanie geodezyjne.

- 2.89. punkt przeniesienia współrzędnych, punkt przeniesienia – punkt geodezyjny, założony w pobliżu punktu poziomej osnowy geodezyjnej, wyznaczony w zależności od tego punktu i mający dokładność tego samego rzędu.

2) Geodezja. Osnowy geodezyjne. Terminologia PN-87-N-02251, zgłoszona przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii, ustanowiona przez Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości 15 grudnia 1987 r. jako norma obowiązująca od 1 lipca 1988 r. [Dziennik Norm i Miar nr 2/1988 poz. 3]:

- 2.1.21 optymalizacja sieci geodezyjnej – zespół prac projektowych i analitycznych mających na celu wyznaczenie najkorzystniejszego, ze względu na przyjęte kryteria techniczne i ekonomiczne, wariantu projektowanej sieci geodezyjnej.

● Wytrych w rozporządzeniu

Rozporządzenie ministra administracji i cyfryzacji z 14 lutego 2012 r. w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych [DzU z 30 marca 2012 r. poz. 352]:

§ 10.1. Dopuszcza się stosowanie nowych metod pomiaru, typów instrumentów pomiarowych i konstrukcji geometrycznych sieci punktów, wynikających z postępu technicznego i technologicznego, pod warunkiem uzyskania dokładności wyznaczeń wynikowych określonych rozporządzeniem.

● Standard obowiązujący w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Standard techniczny określający zasady i dokładności pomiarów geodezyjnych dla zakładania wielofunkcyjnych znaków regulacji osi toru Ig-7 (Warszawa 2018, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Regulacja wewnętrzna spełnia wymagania określone w ustawie z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym [DzU z 2007 r. nr 16 poz. 94 z późn. zm.] w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa ruchu kolejowego) (wyciąg):

3. Przy pomiarze kolejowej podstawowej poziomej osnowy geodezyjnej techniką GNSS należy uwzględnić następujące warunki techniczne:

- 1) pomiar powinien być wykonywany technologią statyczną co najmniej dwuczęstotliwościowymi odbiornikami GNSS;

- 2) pomiar powinien być przeprowadzony w nawiązaniu do punktów bazowej osnowy geodezyjnej z wykorzystaniem obserwacji na co najmniej trzech stacjach referencyjnych systemu ASG-EUPOS;

- 3) każdy wyznaczany punkt musi posiadać obserwacje wykonane w co najmniej dwóch niezależnych sesjach obserwacyjnych;

- 4) długość sesji obserwacyjnej musi być dostosowana do wymaganej dokładności i warunków terenowych na obserwowanych punktach, nie może być jednak krótsza niż 40 minut, minimalna liczba satelitów w czasie całej sesji obserwacyjnej nie może być mniejsza niż cztery;

- 5) pomiar sieci należy wykonać za pomocą zestawu co najmniej trzech odbiorników GNSS, przy czym na punktach tworzących pary obserwacje satelitarne powinny być prowadzone jednocześnie przynajmniej w czasie jednej sesji obserwacyjnej;

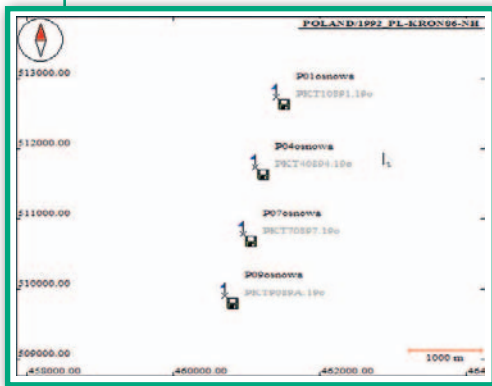
- 6) czynności pomiarowe na punkcie należy udokumentować w dzienniku obserwacyjnym, notując nazwę punktu, datę i czas obserwacji, pomierzoną wysokość anteny, typy i numery seryjne odbiornika i anteny oraz nazwisko obserwatora;

- 7) w opracowaniu numerycznym uwzględnia się obserwacje dla co najmniej dwóch częstotliwości, wykorzystując sygnały z satelitów znajdujących się powyżej 10° nad horyzontem.

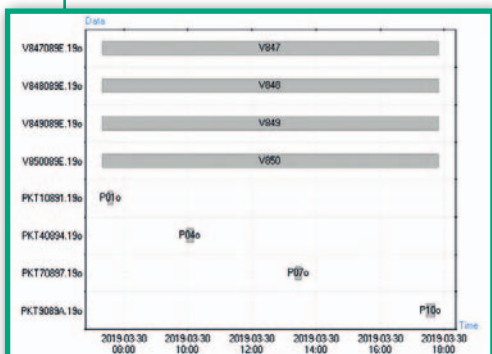
● Wytrych w standardzie PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

§ 8. Odstępstwa od standardu

1. Dopuszcza się stosowanie innych niż opisane w standardzie metod pomiaru, typów instrumentów pomiarowych i konstrukcji geometrycznych, w szczególności wynikających z postępu technicznego i technologicznego.



Rys. 2. Położenie czterech testowych punktów sieci

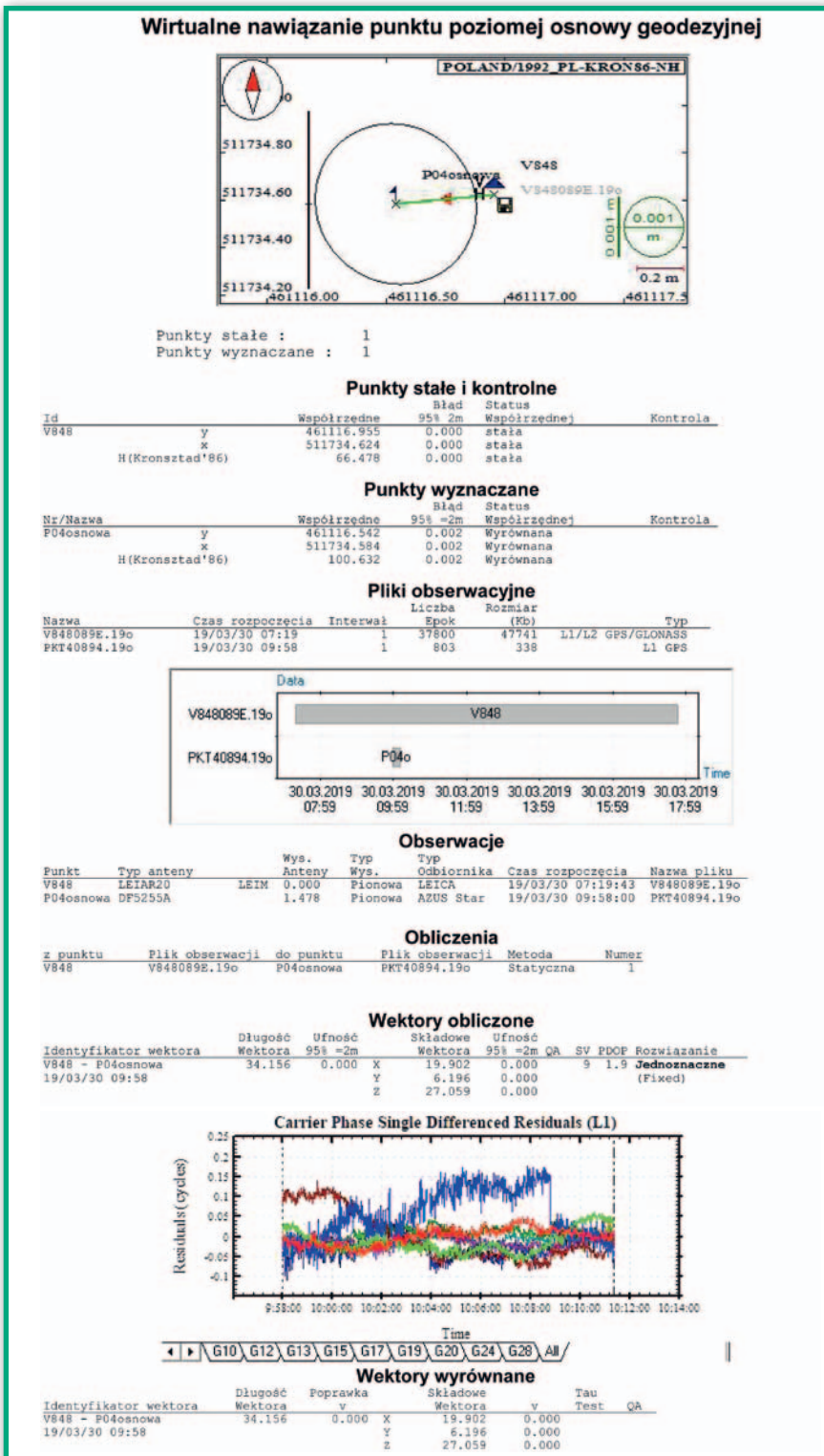


Rys. 3. Cztery VRS-y wygenerowane dla współrzędnych przybliżonych

z 4 punktów (rys. 2). Z plików RINEX naszych sesji pomiarowych zamawiamy wygenerowanie 4 VRS dla współrzędnych przybliżonych, geocentrycznych XYZ, z nagłówek tych plików – wszystkie VRS dla okresu od początku pierwszej sesji do końca sesji ostatniej dla interwału 1 s (rys. 3). Z tak przygotowanych danych wejściowych każdy z naszych punktów sieci (tutaj: P01, P04, P07 i P09) nawiązujemy geodezyjnie do odpowiadających im VRS (rys. 4). I to w zasadzie koniec zasadniczych obliczeń, w których przenieśliśmy punkty VRS do naszych, stabilizowanych wcześniej znaków punktów rzeczywistych. Należy zauważyć, że przeniesienie współrzędnych jest z dokładnością poziomą względem VRS równym 2 mm. Trzeba tu jeszcze uwzględnić dokładność centrowania odbiornika nad punktem, zwykle to wielkość 2 mm. Do pomiaru tak krótkich wektorów zbyt często jest stosowanie odbiorników wieloczęstotliwościowych, wielosystemowych. Warto w tym miejscu przytoczyć tekst rozporządzenia w części nas interesującej (rys. 5).

• A co z dokładnością?

Pozostaje wykazanie wysokiej dokładności wygenerowanych VRS. Do każdego z nich system ASG-EUPOS dostarcza



Rys. 4. Wirtualne nawiązanie punktu poziomej osnowy geodezyjnej

§ 2. Ilekroć w rozporządzeniu jest mowa o:

- 1) klasie osnowy – rozumie się przez to cechę osnowy określającą jej znaczenie w pracach geodezyjnych i kartograficznych, kolejność włączania punktów osnowy do procesu wyrównywania, a także dokładność określenia po wyrównaniu obserwacji;
- 2) osnowie wielofunkcyjnej – rozumie się przez to osnowę, której punkty spełniają jednocześnie kryteria określone dla co najmniej dwóch rodzajów osnowy;
- 3) punkcie osnowy – rozumie się przez to punkt, który ma położenie wyznaczone w państwowym systemie odniesień przestrzennych, na którym wyznaczono wielkość fizyczną, charakterystyczną dla określonego rodzaju osnowy, oraz błąd jej wyznaczenia, ma niepowtarzalny numer, został oznaczony w terenie znakiem geodezyjnym, ma sporządzony opis topograficzny oraz którego dane są umieszczone w państwowym zasobie geodezyjnym i kartograficznym prowadzonym przez uprawniony do tego organ;

Rys. 5. Fragment rozporządzenia o osnowach

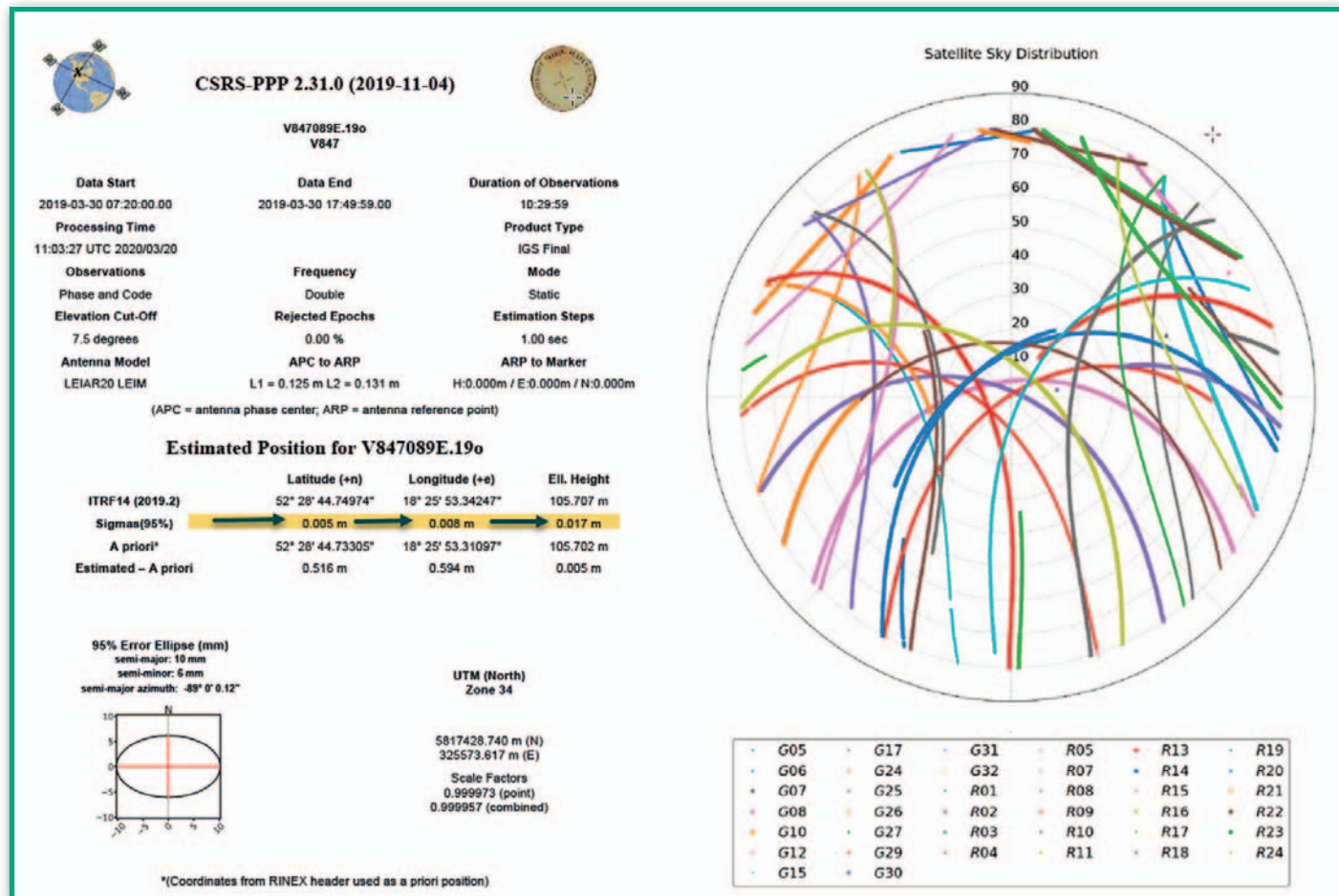
plik z danymi (rys. 6), z których niewiele można się dowiedzieć. Nie ma w nim informacji, z których punktów aktywnej sieci geodezyjnej został ten VRS wygenerowany. Brak też danych o dokładności VRS, dla nas najistotniejszej.

Dla oszacowania jakości wygenerowanego VRS można skorzystać z kanadyjskiego systemu CSRS-PPP, który jest bezpłatnie dostępny dla wszystkich użytkowników na całym świecie. System jest prowadzony przez Surveyor General Branch (Canadian Geodetic Survey, Geodetic Integrated Services), czyli instytucję będącą odpowiednikiem naszego GGK (GUGiK). Z raportu CSRS-PPP widać bardzo wysoką dokładność bezwzględną (metoda PPP) wygenerowanych VRS (rys. 7). Przykładowo błędy średnie (95% ufności) dla interesujących nas współrzędnych poziomych VRS847 wyniosły 5 mm i 8 mm.

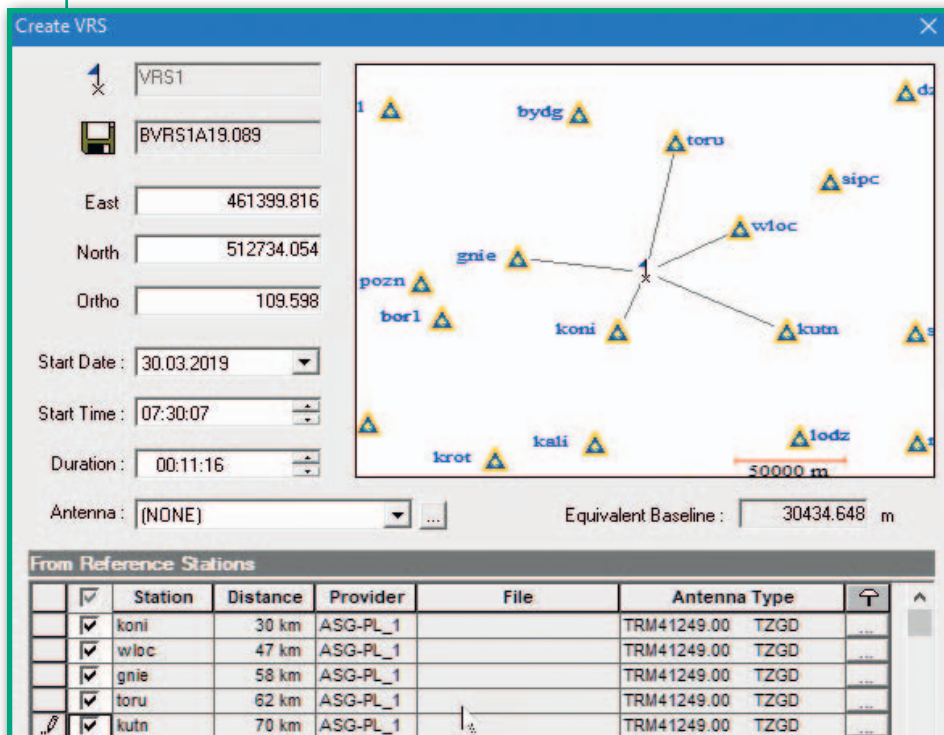
Najbardziej miarodajną oceną dokładności położenia VRS-ów jest ich wyrównanie w grupie punktów nawiązanych bezpośrednio do punktów podstawowej poziomej osnowy fundamentalnej. Nie powinno być wśród nich punktów, których system ASG-EUPOS użył do generowania naszych VRS-ów – w przykładzie są to 4 punkty leżące w odleg-

Summary file for	: V847089E.19o
Created (local time)	: 2020-03-20 09:24:21
Order ID	: 50417
Order number	: 21
Order item ID	: 118847
Input parameters	:
Start time (GPS)	: 2019-03-30 07:20:00
End time (GPS)	: 2019-03-30 17:50:00
Interval [sec]	: 1
VRS request	: Yes
Latitude [deg]	: 52,4790925139102
Longitude [deg]	: 18,4314752693398
Height [m]	: 105,702267666347
Result	:
Generation status	: Successful
Effective minutes	: 630
Available epochs	: 37800
File size [Bytes]	: 321900979
File type	: RINEX 3.03
Data analysis	:
Block 0 start	: 2019-03-30 07:20:00
Block 0 end	: 2019-03-30 17:50:00
Block 0 good Epochs	: 37800
Block 0 missing Epochs	: 0

Rys. 6. Informacje statystyczne z ASG-EUPOS dla VRS



Rys. 7. Raport CSRS-PPP z bardzo wysoką dokładnością bezwzględną (metoda PPP) wygenerowanych VRS



Rys. 8. Prawdopodobne punkty użyte do wygenerowania VRS (brak informacji – patrz rys. 6)

łości od 30 km do 62 km (rys. 8). Stacje ASG-EUPOS zostały podzielone na grupy dokładnościowe [8] (rys. 9). Stąd wybór trzech stacji do wyrównania: BOGI, WROC, BOR1, plus LAMA (rys. 10), gdyż brak było danych dla BYDG i LODZ.

W wyniku wyrównania (rys. 11) otrzymujemy potwierdzenie, że wyznaczone w ten sposób punkty spełniają kryteria dokładności przypisane podstawowej osnowie geodezyjnej. Mamy bowiem wpływ trzech błędów śred-

nich: błąd mp dla VRS 2 mm (rys. 12), błąd wektora VRS → pkt dla składowej w płaszczyźnie poziomej 3 mm i błąd centrowania nad punktem 2 mm. W sumie daje to błąd średni wyznaczenia położenia punktu mp o wielkości 4 mm. Warto jeszcze wykonać dodatkowe wyznaczenie położenia punktów poprzez powtórzenie pomiarów terenowych innego dnia.

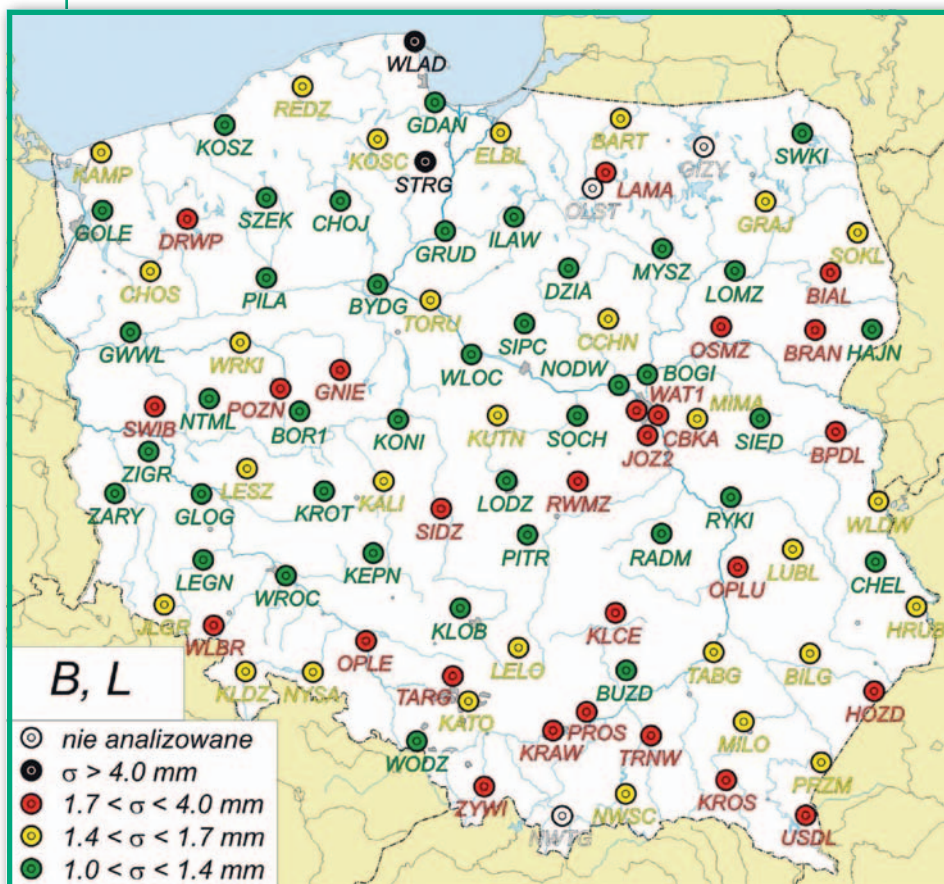
Kluczem do klasyfikacji punktów osnowy jest kryterium rozporządzenia o osnowach geodezyjnych, w którym dla punktów podstawowej osnowy poziomej jest zapisane wymaganie [9]: „średni błąd położenia punktu w odniesieniu do punktów fundamentalnej osnowy poziomej nie powinien przekraczać 0,01 m w przypadku położenia poziomego oraz 0,02 m w przypadku wysokości geodezyjnej” (rozdz. 2, ust. 5 pkt 1, załącznik nr 1).

Mamy tutaj sytuację o charakterze ortodoksyjnym – formalne regulacje techniczno-prawne pozwalają na interpretację wykluczającą walory techniczne i ekonomiczne.

dr Ryszard Pażus

dyrektor Departamentu Geodezji GUGiK
w latach 2001-2002

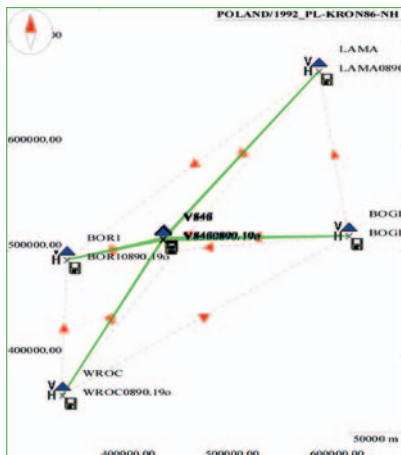
W publikacji wykorzystano pomiary wykonane przez firmę El Geodetos Paweł Jakubowski



Rys. 9. Podział stacji na klasy ze względu na precyzję wyznaczonych współrzędnych poziomych [8]

Bibliografia:

- [1] Instrukcja techniczna G-2, Szczegółowa pozioma i wysokościowa osnowa geodezyjna i przeliczenia współrzędnych między układami, wydanie piąte zmienione, GUGiK, Warszawa 2001 (w instrukcji jest informacja, że opracował ją Ryszard Pażus zgodnie z zaleceniami technicznymi wydanymi przez Departament Geodezji GUGiK reprezentowany przez Stanisława Gelo);
- [2] Pażus R., 2001: Start ASG, GEODETA 6/2001;
- [3] Pażus R., 2011a: Aktywnie i wirtualnie z POZGEO D, GEODETA 1/2011;
- [4] Pażus R., 2011b: Aktywnie i wirtualnie z EUREF, GEODETA 4/2011;
- [5] Pażus R., 2011c: Aktywnie i wirtualnie z geoidą, GEODETA 6/2011;
- [6] Pażus R., Mróz A., 2014: Wirtualnie z nową geoidą, GEODETA 5/2014;
- [7] Gillins D.T., Kerr D., Weaver B., 2019; Evaluation of the Online Positioning User Service for Processing Static GPS Surveys: OPUS-Projects, OPUS-S, OPUS-Net, and OPUS-RS; „Journal of Surveying Engineering” 145(3);
- [8] Araszkiewicz A., Bogusz J., Figurski M., Kroszczyński K., Szafranek K., 2009: Raport dotyczący precyzyjnego opracowania danych obserwacyjnych ze stacji permanentnych systemu ASG-EUPOS, Wojskowa Akademia Techniczna;
- [9] Rozporządzenie ministra administracji i cyfryzacji z 14 lutego 2012 r. Standard techniczny zakładania i utrzymywania podstawowych osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych oraz szczegółowych osnów geodezyjnych.



Rys. 10. Stacje ASG-EUPOS wybrane do wyrównania: BOGI, WROC, BOR1 plus LAMA

Punkty stałe i kontrolne					
Id	Współrzędne	Błąd 95% 2m	Status		Kontrola
			Współrzędnej		
BOGI	y	638185.745	0.000	stała	↓
	x	514071.926	0.000	stała	
	H (Kronsztad' 86)	109.150	0.000	stała	
BOR1	y	368604.832	0.000	stała	↓
	x	491851.906	0.000	stała	
	H (Kronsztad' 86)	88.875	0.000	stała	
LAMA	y	609708.047	0.000	stała	↓
	x	671049.501	0.000	stała	
	H (Kronsztad' 86)	157.661	0.000	stała	
WROC	y	364391.338	0.000	stała	↓
	x	362505.802	0.000	stała	
	H (Kronsztad' 86)	140.587	0.000	stała	
V847	y	461400.243	0.005	Wyrównana	↓
	x	512733.323	0.005	Wyrównana	
	H (Kronsztad' 86)	73.901	0.005	Wyrównana	
V848	y	461116.955	0.005	Wyrównana	↓
	x	511734.629	0.005	Wyrównana	
	H (Kronsztad' 86)	66.491	0.005	Wyrównana	
V849	y	460945.226	0.005	Wyrównana	↓
	x	510785.790	0.005	Wyrównana	
	H (Kronsztad' 86)	66.508	0.005	Wyrównana	
V850	y	460698.683	0.005	Wyrównana	↓
	x	509909.239	0.005	Wyrównana	
	H (Kronsztad' 86)	61.006	0.005	Wyrównana	

L1/L2 post-processing is unavailable in this version
Process will continue using L1 data only
Scale correction (ppm) -0.034 0.015

Pliki obserwacyjne						
Nazwa	Czas rozpoczęcia	Interwał	Liczba Epok	Rozmiar (Kb)	Typ	
BOGI0890.19o	19/03/30 07:19	10	3780	3445	L1/L2	GPS/GLONASS
BOR10890.19o	19/03/30 07:19	10	3780	4377	L1/L2	GPS/GLONASS
LAMA0890.19o	19/03/30 07:19	10	3780	3412	L1/L2	GPS/GLONASS
V8470890.19o	19/03/30 07:19	10	3780	4865	L1/L2	GPS/GLONASS
V8480890.19o	19/03/30 07:19	10	3780	4865	L1/L2	GPS/GLONASS
V8490890.19o	19/03/30 07:19	10	3780	4865	L1/L2	GPS/GLONASS

Rys. 11. Rezultaty wyrównania GNSS Solutions (tylko L1)

Result Of 2D Constraint Adjust in Target System

Station Name	N(m)	E(m)	Std.Dev_N(mm)	Std.Dev_E(mm)	Points	Std.Dev(mm)
BOGI	514071.9258	638185.7453	0.0	0.0	0.0	0.0
BOR1	491851.9058	368604.8318	0.0	0.0	0.0	0.0
LAMA	Not Connected					
V847	512733.3197	461400.2441	1.7	1.3	2.1	2.1
V848	511734.6257	461116.9567	1.7	1.3	2.1	2.1
V849	510785.7862	460945.2271	1.7	1.3	2.1	2.1
V850	509909.2344	460698.6845	1.7	1.3	2.1	2.1
WROC	362505.8018	364391.3379	0.0	0.0	0.0	0.0

Weakest Baseline and Point

Baseline Name	Std.Dev_DN(mm)	Std.Dev_DE(mm)	Std.Dev(mm)	Relative Error
V8490890_V849.zsd-V8500890_V850.zsd	0.66	0.71	0.97	1:942620
Station Name	Std.Dev_N(mm)	Std.Dev_E(mm)	Std.Dev(mm)	
V847	1.70	1.26	2.12	

Rys. 12. Rezultat wyrównania programem TGO (L1/L2) bez LAMA