

ANALIZA WPŁYWU NAWIĄZANIA POMIARÓW SATELITARNYCH DO RÓŻNYCH SYSTEMÓW REFERENCYJNYCH NA WSPÓŁRZĘDNE PUNKTÓW OSNOWY KOLEJOWEJ¹

Andrzej Uznański

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

Streszczenie. *W pracy poddano analizie wpływ nawiązania tych samych punktów osnowy kolejowej do różnych naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych funkcjonujących w Polsce na zróżnicowanie wyników opracowania statycznych obserwacji satelitarnych. Opracowanie wyników pomiarów satelitarnych starano się wykonać zgodnie z wymogami standardu technicznego Ig-7 oraz na poziomie inżynierskim, najczęściej spotykanym w wykonawstwie geodezyjnym. Obliczenia wykonano w oprogramowaniu komercyjnym, przy minimalnej ingerencji w proces obliczeniowy. Analizie poddano wyniki obliczeń z wykorzystaniem obserwacji statycznych systemów referencyjnych funkcjonujących w Polsce: ASG-EUPOS, NadowskiNET, TPINet^{PRO} i VRSNet.pl. Firma Leica Geosystems Polska nie udostępniła obserwacji swojego systemu na potrzeby analiz.*

Słowa kluczowe: *ASG-EUPOS, NadowskiNET, SmartNet, TPINet^{PRO}, VRSNet.pl, Ig-7, satelitarne pomiary statyczne, naziemne systemy satelitarnych danych referencyjnych, kolejowa osnowa geodezyjna*

1. Wprowadzenie

Pomiary satelitarne stały się po 2008 roku powszechną podstawą wykonawstwa geodezyjnego, także na terenach kolejowych. W tymże roku udostępniono bowiem państwowy naziemny system satelitarnych danych referencyjnych ASG-EUPOS. Stacje referencyjne tego systemu przepisy klasyfikują jako osnowę najwyższych klas, czyli 1 i 2 klasy. Z czasem powstały również systemy komercyjne o zasięgu krajowym: SmartNet, TPINet^{PRO}, VRSNet.pl oraz system regionalny NadowskiNet, obejmujący swoim zasięgiem Polskę południową. Stacje referencyjne systemów komercyjnych zaliczane są do punktów osnowy 3 klasy. Standard techniczny Ig-7 z 2012 r. wymaga wyznaczania współrzędnych punktów podstawowej kolejowej osnowy specjalnej technikami GNSS w nawiązaniu do systemu ASG-EUPOS. Systemy komercyjne zostały w nim pominięte.

W pracy przedstawiono wyniki opracowania i analiz statycznych pomiarów satelitarnych nawiązanych do systemów funkcjonujących w Polsce, z wyjątkiem

¹ Praca wykonana w ramach badań statutowych, umowa nr 11.11.150.005

systemu firmy Leica o nazwie SmartNet, gdyż firma nie udostępniła obserwacji statycznych ze stacji referencyjnych swojego systemu. Pomiarów wykonano na 5 punktach testowych, z których każdy był nawiązany minimum dwukrotnie w ramach sesji dwunastogodzinnych do wspomnianych naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych. Celem pracy było sprawdzenie, czy współrzędne wyrównane punktów osnowy będą istotnie różniły się przy nawiązaniu do systemów komercyjnych w stosunku do wyników z nawiązania do systemu państwowego.

2. Osnowy geodezyjne w Polsce

W kontekście pracy problematyka osnów zostanie przedstawiona w zakresie klasyfikowania stacji referencyjnych naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych, jako punktów osnów geodezyjnych.

W praktyce wykonawstwa geodezyjnego pojęcie osnowy geodezyjnej sprowadza się do punktów geodezyjnych. Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dnia 14.02.2012 r. w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych [2] definiuje punkt osnowy, jako «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. Osnowy dzieli się według kryterium dokładności i sposobu ich zakładania na:

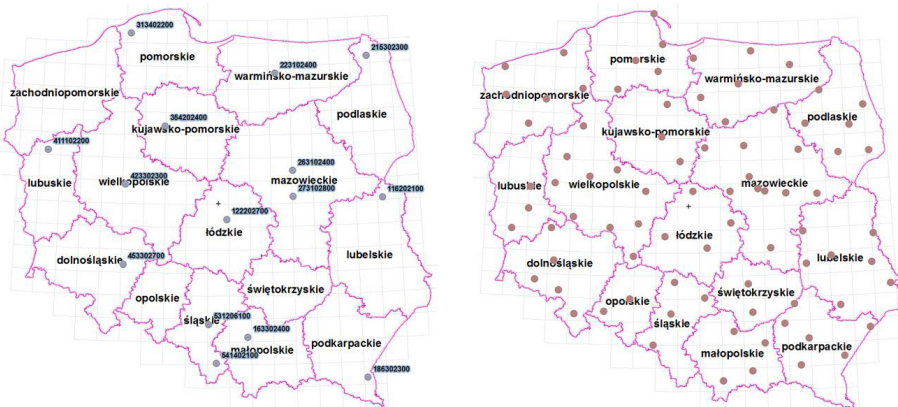
- osnowę podstawową fundamentalną, klasa 1;
- osnowę podstawową bazową, klasa 2;
- osnowę szczegółową, klasa 3.

Podstawowym kryterium zaliczenia punktu osnowy do klasy jest dokładność wyznaczenia wielkości właściwych dla danego rodzaju osnowy. Najczęściej są to współrzędne punktu osnowy. Rozporządzenie [2] charakteryzuje klasę osnowy, jako cechę, która określa „jej znaczenie w pracach geodezyjnych i kartograficznych, kolejność włączania punktów osnowy do procesu wyrównania, a także dokładność określenia po wyrównaniu obserwacji”. Dokładność punktu osnowy jest określona przez wartość błędu średniego wyznaczonej wielkości. Ze względu na specyfikę technik pomiarowych i systemów oraz układów odniesień osnowy dzieli się także na poziome i wysokościowe.

Podstawową fundamentalną osnowę poziomą tworzą w Polsce stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS, które należą do sieci stacji permanentnych EPN (European Permanent Network). Średni błąd położenia poziomego punktu tej osnowy nie powinien przekraczać 0.01 m, a wysokości 0.02 m. Pozostałe stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS są zaliczone do podstawowej osnowy bazowej 2 klasy.

Na rys. 1. przedstawiono lokalizację stacji referencyjnych systemu ASG-EU-POS odpowiednio dla punktów 1 klasy i punktów 2 klasy. Stacje referencyjne systemów komercyjnych, po spełnieniu odpowiednich wymagań i przyjęciu do Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego, są zaliczane do punktów osnowy 3 klasy, gdyż ich współrzędne zostały wyznaczone w nawiązaniu do stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS. Jest to podejście tradycyjne, czy też klasyczne w geodezji, związane z pojęciem rzędu osnowy.

Współrzędne wszystkich punktów podstawowej i szczegółowej osnowy poziomej dostępne są w Zasobie Geodezyjnym w geodezyjnym układzie odniesienia PL-ETRF89 oraz w państwowych układach współrzędnych prostokątnych płaskich „PL-1992”, „PL-2000” oraz w układzie lokalnym „1965”. Część z punktów osnowy podstawowej dostępne jest również w geodezyjnym układzie odniesienia PL-ETRF2000.



Rys. 1. Stacje referencyjne ASG-EUPOS - punkty osnowy 1 klasy i 2 klasy [7]

3. Naziemna osnowa satelitarna

Pojęciem naziemnej osnowy satelitarnej można określić stacje referencyjne naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych, z których obserwacje są udostępniane odpłatnie użytkownikom na ich żądanie. Stację referencyjną można traktować jako punkt osnowy geodezyjnej tylko wówczas, gdy zostanie przekazana i przyjęta do Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego. Udostępnianie odbywa się zawsze za pośrednictwem stron internetowych właścicieli systemów, a sposoby udostępniania danych są zróżnicowane. Zostaną one scharakteryzowane dla systemów: ASG-EUPOS, NadowskiNet, TPINet^{PRO}, VRSNet.pl. Firma Leica Geosystems Polska nie udostępniła serwisu danych statycznych na potrzeby niniejszego opracowania.

Udostępnianie danych z systemu ASG-EUPOS [6] oraz VRSNet.pl [10] jest praktycznie identyczne, gdyż obydwaj właściciele korzystają z tego samego opro-

gramowania firmy Trimble. System VRSNet.pl należy do przedstawiciela firmy Trimble w Polsce, który zaopatrzył system ASG-EUPOS w oprogramowanie i pierwsze satelitarne odbiorniki referencyjne. Podstawową cechą odróżniającą systemy ASG-EUPOS i VRSNet.pl od pozostałych jest generowanie danych indywidualnie na żądanie użytkownika. W systemach NadowskiNet [8] oraz TPI-Netpro [9] dane są generowane automatycznie, archiwizowane, a użytkownik samodzielnie wybiera interesujące go dane z gotowych plików wedle swoich potrzeb. W praktyce istotny jest okres dostępności dla użytkowników archiwalnych obserwacji satelitarnych. W przypadku systemów ASG-EUPOS oraz VRSNet.pl obserwacje można zamawiać do 12 miesięcy wstecz od daty zamawiania. Można zamówić obserwacje ze stacji fizycznej oraz wirtualnej po podaniu jej współrzędnych w układzie WGS-84. Należy wskazać samodzielnie datę, czas początkowy zamawianych obserwacji oraz interwał czasu zamawianych obserwacji. Interwał obserwacji można wybrać ze zbioru: {1,2,5,10,15,20,30,60} s. Dla zamówienia z systemu ASG-EUPOS godzinnych obserwacji satelitarnych rejestrowanych co 5 s zostanie utworzy plik o wielkości rzędu 20-30 Mb dla jednej stacji referencyjnej. Oprogramowanie posługuje się czasem GMT, więc konieczne jest uwzględnienie strefy czasowej oraz aktualnego czasu lokalnego. Zamówione obserwacje mogą zostać przesłane automatycznie po wygenerowaniu na wskazany adres e-mail lub może zostać wysłana informacja o wygenerowaniu danych i użytkownik pobiera jest z serwera samodzielnie. Ma to szczególne znaczenie w przypadku dużych plików.

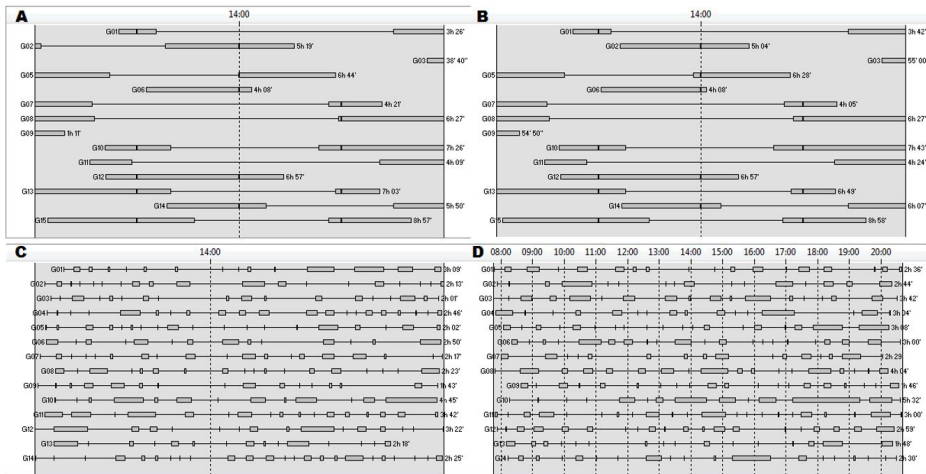
Standardowo dane satelitarne są udostępniane w formacie Rinex. Jest to ogólnosiwiatowy standard zapisu obserwacji satelitarnych w formacie niezależnym od odbiornika. Do pozyskania właściwych satelitarnych danych referencyjnych przydatna jest znajomości formatu Rinex, przynajmniej w zakresie konwencji stosowanych w nazwach plików. Format udostępnianych danych jest określany przez użytkownika na końcu. Można wybrać: RINEX 2.10, 2.11, 3.00 (de facto 3.02) DAT, TGD, T01, T02. Opcja zamawiania w VRSNet.pl nazywa się Sklep Rinex, a w ASG-EUPOS POZGEO D.

W przypadku sieci NadowskiNET obserwacje są automatycznie generowane przez oprogramowanie dla każdej stacji referencyjnej systemu w interwale jedno-sekundowym i przechowywane na serwerze tylko przez 2 tygodnie (15 dni), po czym są usuwane. Dane znajdują się w katalogu All_Sites_4h serwera ftp. W tym katalogu znajdują się podkatalogi dla każdej stacji referencyjnej systemu. Kolejne podkatalogi oznaczają rok, miesiąc i dzień. W podkatalogu dziennym znajdują się pliki gotowe do pobrania, zawierające obserwacje satelitarne z kolejnych 4 godzin danego dnia w formacie Rinex 2.11. Każdy z plików ma więc wielość rzędu 40 Mb.

W przypadku firmy TPI w okresie wakacyjnym nastąpiła zmiana w archiwizacji danych, co spowodowało brak w opracowaniu danych dla pomiarów sierpniowych. O ile poprzednio były dostępne dane począwszy od 2015 r., to aktualnie dostępne są dane z ostatnich 31 dni w katalogach oznaczonych datą, np. [01_09_17]. W katalogu dziennym dostępne są katalogi z obserwacjami w interwałach 1 s, 5 s, 30 s oraz katalogi z nazwą stacji. W katalogach sekundowych dostępne są pliki

skompresowane (zip) z dobowymi obserwacjami w formacie rinex 2.11, zapisanymi w interwale zgodnym z nazwą katalogu (1, 5 lub 30 s). Nazwy tych plików zawierają nazwę stacji oraz numer dnia, roku. Natomiast w katalogach oznaczonych nazwą stacji referencyjnej znajdują się 24 pliki godzinne z jednosekundowymi obserwacjami w formacie rinex 2.11. W katalogu [nav] udostępniane są efemerydy dla systemu GPS i GLONASS.

W trakcie analiz stwierdzono, że w systemie TPINet^{PRO} funkcjonują dwie stacje referencyjne systemu NadowskiNet - NWSA oraz NWT1. Ich współrzędne są identyczne. Dokonano ciekawego spostrzeżenia, które wskazuje na niezidentyfikowane co do przyczyn problemy z danymi w systemie TPINet^{PRO}.



Rys. 2. Porównanie obserwacji stacji NWSA pobranych z systemów NadowskiNET i TPINet^{PRO}

Dane satelitarne ze stacji NWSA z dnia 6 i 10 czerwca 2017 roku pobrane z archiwum systemu TPINet^{PRO} są dosłownie „poszatkowane” (rys. 2, C, D). W systemie NadowskiNet nie ma istotnych braków danych (rys. 2, A, B), choć jest to ta sama stacja, z której dane, jak już wspomniano, są udostępniane również w systemie TPINet^{PRO}. Z danych pobranych z systemu TPINet^{PRO} nie da się praktycznie skorzystać. W systemie ASG-EUPOS analogiczny problem z danymi referencyjnym i wystąpił dla stacji NWT1 w dniu 10.06.2017.

4. Post-processing i wyrównanie obserwacji satelitarnych

Obserwacje satelitarne wykorzystane w niniejszym opracowaniu zarejestrowano na 5 punktach testowych w dniach 06.06, 10.06, 03.07, 04.07 oraz 07.07.2017 r. przez cztery geodezyjne odbiorniki satelitarne.

Celem opracowania było sformułowanie wniosków z analizy wyników nawiązania punktów osnowy kolejowej do różnych naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych. Akcent starano się położyć na standardy spotykane w wy-

konawstwie geodezyjnym, aby wyniki były praktycznie miarodajne. Z tego powodu opracowanie statycznych obserwacji satelitarnych realizowane było w jednym programie komercyjnym, przy takich samych parametrach post-processingu. Starano się również spełnić wymogi narzucane przez standard techniczny Ig-7 [1], który wymaga pomiaru techniką GNSS dla punktów kolejowej podstawowej poziomej osnowy. Problematyka pomiarów satelitarnych na terenach kolejowych oraz zapisów standardu technicznego Ig-7 była przedmiotem wcześniejszych prac [3,4,5]. Standard techniczny Ig-7 formułuje warunki techniczne wykonania takiego pomiaru:

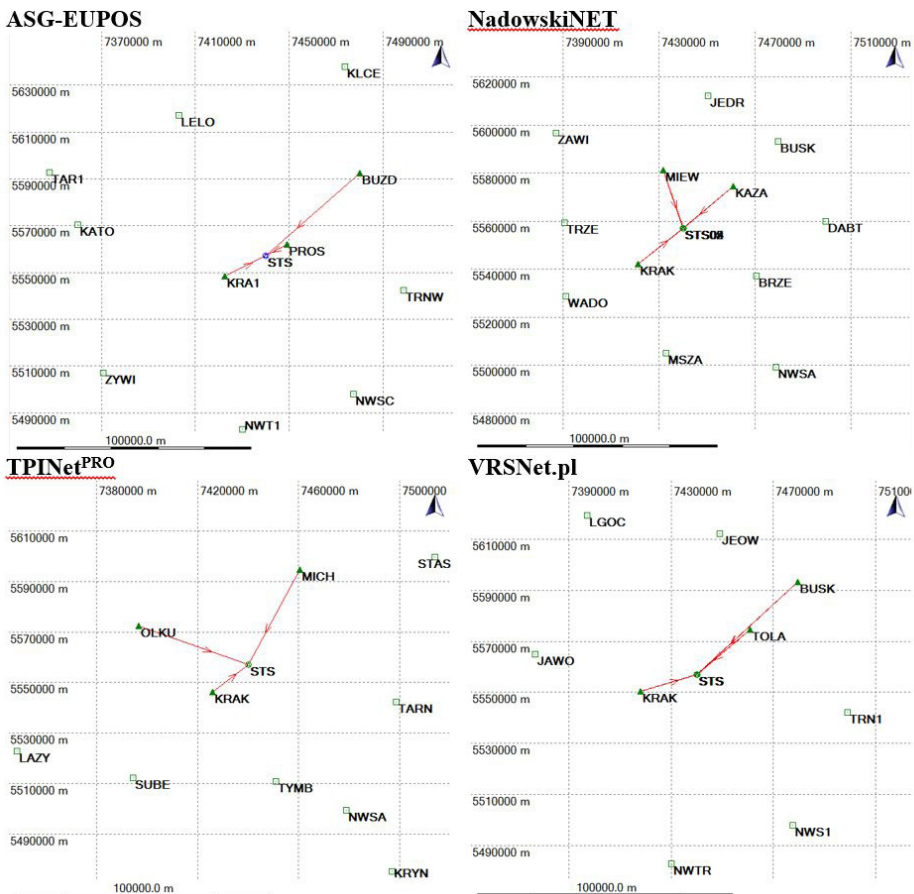
- A. Pomiar powinien być wykonany technologią statyczną co najmniej dwuczęstotliwościowymi odbiornikami GNSS.
- B. Pomiar powinien być przeprowadzony w nawiązaniu do punktów bazowej osnowy geodezyjnej z wykorzystaniem obserwacji na co najmniej trzech stacjach referencyjnych systemu ASG-EUPOS.
- C. Każdy wyznaczany punkt musi posiadać obserwacje wykonane w co najmniej dwóch niezależnych sesjach obserwacyjnych. Nie sprecyzowano żadnych wymagań, co do niezależności sesji statycznych. W praktyce chcąc spełnić wymóg pomiaru w dwóch niezależnych sesjach statycznych, ze względów ekonomicznych, wykonawca najczęściej przedłuży pomiar statyczny tak, aby w trakcie opracowania dało się go podzielić na dwie sesje statyczne i policzyć niezależnie.
- D. Długość sesji obserwacyjnej musi być dostosowana do wymaganej dokładności i warunków terenowych na obserwowanych punktach, nie może być jednak krótsza niż 40 minut. Założono realizację godzinnych sesji statycznych.
- E. W opracowaniu numerycznym uwzględnia się obserwacje dla co najmniej dwóch częstotliwości wykorzystując sygnały z satelitów znajdujących się powyżej 10° nad horyzontem.
- F. Ścisłe wyrównanie, w zależności od rodzaju obserwacji między sąsiednimi punktami zakładanej osnowy, przeprowadza się jako wyrównanie niezależnych wektorów GNSS w układzie przestrzennym lub na powierzchni elipsoidy odniesienia. Sformułowanie może budzić wątpliwości, jak rodzaj obserwacji między sąsiednimi punktami osnowy miałby wpłynąć na wyrównanie wektorów GNSS.

Opracowanie wykonano w programie LGO v.8.4 przy następujących parametrach:

- minimalna wysokość horyzontalna satelitów 10° ,
- efemerydy pokładowe,
- systemy satelitarne NAVSTAR GPS, GLONASS, systemy Compass i Galileo nie są aktualnie jeszcze standardem w opracowaniach,
- epoka obserwacji 5 s,
- model troposfery - domyślny, H.Hopfield,
- model jonosfery wybierany przez program w sposób automatyczny i optymalny,
- post-processing wszystkich wektorów.

Wyrównanie wektorów satelitarnych wykonano na elipsoidzie WGS-84 przy założeniu bezbłędności punktów nawiązania. Współrzędne wyrównane, przetransformowane do układu państwowego PL-2000, były podstawą analiz porównawczych.

Rysunek 3 przedstawia lokalizację stacji referencyjnych wszystkich naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych wykorzystanych w opracowaniu, czyli 3 najbliższych mierzonym punktom, wraz z wektorami nawiązania oraz wszystkimi stacjami w promieniu ok. 100 km od miejsca pomiarów. Wybór stacji referencyjnych wg kryterium odległości. Dla systemu ASG-EUPOS pomiary nawiązywano do stacji PROS, KRA1, BUZD. Dla dnia 03.07.2017 nie uzyskano obserwacji dla stacji PROS, więc skorzystano z obserwacji kolejnej, najbliższej mierzonym punktom stacji TRNW.



Rys. 3. Lokalizacja stacji referencyjnych systemów wraz z wektorami nawiązania

5. Analiza wyników

W przeprowadzonych analizach wyniki obliczeń otrzymane z nawiązania do systemów komercyjnych porównywano do wyników obliczeń uzyskanych z opracowania obserwacji nawiązanych do systemu państwowego ASG-EUPOS, gdyż to jego stacje referencyjne są traktowane, jako punkty osnowy geodezyjnej najwyższej klasy w Polsce.

Należy zaznaczyć, że potencjalnie pozytywny wpływ na wyniki obliczeń miała korzystna lokalizacja punktów testowych z punktu widzenia pomiarów satelitarnych, tzn. odsłonięty horyzont wokół punktów. W warunkach przesłoneń horyzontu i zakłóceń sygnałów satelitarnych wyniki mogą charakteryzować się niższą jakością. W dniu 10.06 warunki atmosferyczne pomiarów były zróżnicowane, występowały zachmurzenia i intensywne opady deszczu.

W tabeli 1 zestawiono informacje o czasach pomiarów statycznych na poszczególnych punktach. W ostatnim wierszu podano liczbę wyznaczeń w odniesieniu do poszczególnych systemów. Przyjęto oznaczenia: A - ASG-EUPOS, N - NadowskiNET, T - TPINetPRO, V - VRSNet.pl. Brak obserwacji statycznych z naziemnych systemów satelitarnych danych referencyjnych dotyczył dnia 03.07.2017 dla systemu NadowskiNET oraz trzech dni sierpniowych dla systemu TPINet^{PRO}.

Tabela 1. Grafik pomiarów punktów testowych, czas w godzinach i minutach

Data/punkt	STS01	STS02	STS03	04	05
2017.06.06	12:46	12:34	12:25	12:14	---
2017.06.10	12:26	12:19	7:42	12:15	---
2017.07.03	8:09	---	7:12	---	6:44
2017.07.04	12:01	1:46	11:58	---	12:06
2017.07.07	---	12:08	0:40	12:02	12:00
liczba sesji	A,V-4; N-3; T-2	A,V,N-3; T-2	A,V-4; N-3; T-2	A,V,N-3; T-2	A,V-3; N-2; T-0

Kilkudniowe powtarzanie czasochłonnych statycznych pomiarów satelitarnych miało na celu analizę i oszacowanie zróżnicowania współrzędnych punktów wyznaczanych w nawiązaniu do danego systemu. W poniższych tabelach zestawiono różnice maksymalne dla współrzędnych płaskich w układzie PL-2000 oraz dla wysokości elipsoidalnych. Wyniki utrudniają proste i jednoznaczne porównanie między systemami, gdyż dla systemu państwowego ASG-EUPOS, który miał być systemem referencyjnym dla systemów komercyjnych, odnotowano największe zróżnicowanie między obliczonymi współrzędnymi płaskimi punktów w kolejnych dniach. Były one najczęściej dwukrotnie, a czasem jeszcze większe, niż różnice współrzędnych punktów nawiązanych do pozostałych systemów, których stacje referencyjne są klasyfikowane wg przepisów jako punkty 3 klasy. Charakterystyczne są też istotnie większe różnice dla współrzędnych «x» niż «y». Dla osnow na terenach kolejowych, o liniowym charakterze, ma to spostrzeżenie szczególnie istotne znaczenie, gdyż błędy poprzeczne są bardziej problematyczne niż błędy podłużne. Dla uzyskanych wyników znaczenie miał też fakt, że punkt STS05 został zastabilizowany w sierpniu i nie był mierzony

w lipcu. Z tego powodu zróżnicowanie współrzędnych tego punktu jest istotnie mniejsze niż pozostałych. Szczególnie wyraźnie można to zaobserwować dla obliczonych wysokości punktów, dla których zróżnicowanie jest w przypadku punktu STS05 nawet 8 - 10 razy mniejsze niż pozostałych. Różnice w wysokościach punktów przekroczyły decymetr. Dla interpretacji wyników porównujących systemy należy przypomnieć, że dla systemu TPINet^{PRO} możliwe było wykonanie obliczeń tylko dla pomiarów lipcowych. Z tego powodu nie wyznaczono w nawiązaniu do obserwacji tego systemu współrzędnych punktu STS05, zastabilizowanego w sierpniu, a różnice wysokości punktów były na poziomie milimetrowym. W przypadku współrzędnych płaskich nie można sformułować wniosku o istotnej poprawie wyników uzyskanych w nawiązaniu do systemu TPI z tego powodu.

Tabela 2. Maksymalne różnice współrzędnych punktów y, x w $\{m\}$ obliczone dla punktów w poszczególnych systemach

System	STS01		STS02		STS03		STS04		STS05	
	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x
A	0.008	0.014	0.008	0.012	0.010	0.015	0.006	0.012	0.004	0.003
N	0.003	0.007	0.002	0.006	0.002	0.009	0.003	0.008	0.000	0.004
T	0.005	0.001	0.007	0.000	0.007	0.000	0.005	0.003	---	---
V	0.004	0.007	0.003	0.011	0.005	0.008	0.003	0.010	0.003	0.003

Tabela 3. Maksymalne różnice wysokości h $\{m\}$ obliczone dla punktów w poszczególnych systemach

System	STS01	STS02	STS03	STS04	STS05
wspól.	h	h	h	h	h
A	0.101	0.140	0.134	0.037	0.013
N	0.105	0.128	0.104	0.024	0.022
T	0.005	0.004	0.004	0.000	---
V	0.083	0.160	0.144	0.058	0.019

Wyniki zamieszczone w powyższych tabelach spowodowały rezygnację z analiz posługujących się wartościami uśrednionymi współrzędnych punktów ze wszystkich dni pomiarowych, gdyż przy różnicach współrzędnych płaskich w ramach nawiązań do systemu odniesieniu ASG-EUPOS na poziomie 15 mm sformułowanie jakichkolwiek miarodajnych wniosków byłoby niemożliwe. Ponadto jest więcej niż wątpliwe, aby wykonawca zdecydował się na powtórzenie pomiarów w odstępie kilkudniowym lub większym, jeśli oprogramowanie do postprocessingu obserwacji satelitarnych będzie w stanie obliczyć wektory między punktami, co najczęściej będzie miało miejsce. Konieczne było poddanie analizie wyników uzyskanych dla każdego dnia pomiarowego oddzielnie.

W tabeli 4 wyróżniono tłem kolumny odnoszące się do tej samej współrzędnej, oraz linią podwójną wyniki odnoszące się do kolejnych dni pomiarów, aby ułatwić zaobserwowanie trendu w obliczonych wartościach. Wyraźnie widoczne są czynniki o charakterze systematycznym w obliczonych wartościach różnic współrzędnych. Dotyczą one rodzaju współrzędnej i danego dnia pomiarowego.

Tabela 4. Różnice współrzędnych punktów testowych nawiązanych do systemu ASG-EUPOS i systemów komercyjnych w {m}

data	Punkt	A-NadowskiNet			A-TPINet ^{PRO}			A-VRSNet.pl		
	współ.	y	x	h	y	x	h	y	x	h
6.06	STS01	0.000	-0.009	-0.066	-0.002	-0.018	0.007	-0.001	-0.007	0.040
	STS02	-0.001	-0.009	-0.065	-0.002	-0.018	0.007	-0.001	-0.007	0.040
	STS03	-0.001	-0.009	-0.065	-0.002	-0.018	0.007	-0.001	-0.007	0.040
	STS04	0.000	-0.009	-0.065	-0.002	-0.018	0.007	-0.001	-0.007	0.040
10.06	STS01	0.007	-0.003	-0.084	-0.003	-0.013	-0.016	0.004	-0.007	0.036
	STS02	0.007	-0.003	-0.084	-0.003	-0.013	-0.016	0.004	-0.007	0.036
	STS03	0.007	-0.003	-0.083	-0.003	-0.013	-0.016	0.004	-0.007	0.036
	STS04	0.007	-0.003	-0.083	-0.003	-0.013	-0.016	0.004	-0.007	0.036
3.07	STS01	---	---	---	---	---	---	0.000	0.001	0.025
	STS03	---	---	---	---	---	---	0.000	0.000	0.025
	STS05	---	---	---	---	---	---	0.000	0.000	0.024
4.07	STS01	-0.001	-0.002	-0.062	---	---	---	0.002	0.000	0.021
	STS03	-0.001	-0.002	-0.063	---	---	---	0.002	0.000	0.021
	STS05	-0.001	-0.003	-0.063	---	---	---	0.002	0.000	0.022
7.07	STS02	-0.002	-0.001	-0.072	---	---	---	0.000	-0.005	0.015
	STS04	-0.002	-0.001	-0.071	---	---	---	0.000	-0.005	0.014
	STS05	-0.002	-0.002	-0.072	---	---	---	0.000	-0.005	0.016

Standard techniczny Ig-7 określa, że średni błąd położenia poziomego punktu nie powinien przekraczać ± 0.01 m względem podstawowej bazowej osnowy poziomej. Różnice współrzędnych płaskich przeliczono na różnice w sytuacyjnym położeniu punktów i zestawiono w tabeli 5. Utożsamiając różnicę obliczoną ze współrzędnych z błędem średnim można stwierdzić, że dla systemów Nadowski-Net oraz VRSNet.pl warunek standardu technicznego Ig-7 został spełniony. Dla systemu TPINet^{PRO} warunek ten nie został spełniony, głównie ze względu na istotne różnice o charakterze systematycznym w obliczonych współrzędnych „x” punktów. Na podstawie analizowanych danych można określić, że korzystając z nawiązania punktów osnowy kolejowej do systemu TPINet^{PRO} cała inwestycja byłaby przesunięta na północ od 13 do 18 mm w stosunku do wyników uzyskanych przy nawiązaniu punktów osnowy kolejowej do systemu państwowego ASG-EUPOS. Z tabeli 5 wynika również, że z obserwacji satelitarnych zarejestrowanych w sierpniu uzyskano większą zgodność wyników między systemami. Niestety nie było możliwości analizy danych sierpniowych dla systemu TPINet-PRO.

Przepisy stawiają w hierarchii klasowej system ASG-EUPOS najwyżej. Standard Ig-7 określa wprost nawiązanie do systemu ASG-EUPOS, nie wspominając o innych systemach. W analizach stwierdzono jednak, że system ASG-EUPOS dostarczył najbardziej zróżnicowanych wyników i one same w sobie nie speł-

niają wymogów standardu technicznego Ig-7, podobnie jak wyniki z systemu TPINet^{PRO}. Oznacza to, że wyniki z różnych dni pomiarowych uzyskane w nawiązaniu tylko do systemu ASG-EUPOS mogły różnić się sytuacyjnie o więcej niż 1 cm. Przyjmując wyniki obliczeń z pierwszego dnia, w którym dany punkt był mierzony pierwszy raz, jako wynik odniesienia do różnicowania współrzędnych dla kolejnych dni, okazało się, że w 17 różnicach pozycji płaskiej, 6 było większych od 1 cm, co stanowi 35% wyników. Kontroli poddano różnice pozycji sytuacyjnych punktów w przypadku wyboru innego systemu referencyjnego, jako systemu odniesienia. Jedynym systemem poza ASG-EUPOS, dla którego dysponowano kompletem obserwacji statycznych był system VRSNet.pl. Z tego powodu wybór padł na ten system, a tabelę 5 uzupełniono o dwie kolumny. Najbardziej zgodne ze sobą wyniki, niezależnie od daty pomiaru dają systemy NadowskiNET i VRSNet.pl. System TPINet^{PRO} daje wyniki odstające w obydwu przypadkach, choć przy systemie odniesienia VRSNet.pl różnice są mniejsze o kilka milimetrów. Skontrolowano jeszcze sytuację w przypadku wyboru systemu NadowskiNET, jako systemu odniesienia. Poniższą tabelę uzupełniono o ostatnią kolumnę otrzymując komplet wyników przy różnych systemach potraktowanych jako odniesienia.

Analiza wyników obliczeń pomiarów testowych pozwala na sformułowanie wniosku, że najistotniejszym czynnikiem różnicującym obliczone współrzędne jest dzień pomiaru, w znaczeniu warunków atmosferycznych realizacji pomiarów. W danym dniu wyniki nawiązane do różnych systemów referencyjnych są zazwyczaj mocno skorelowane. Między dniami mogą wystąpić istotniejsze różnice wyników nawet w ramach jednego systemu referencyjnego.

Tabela 5. Różnice położenia sytuacyjnego punktów obliczone ze współrzędnych punktów wyznaczonych z nawiązania do poszczególnych systemów

Data	Punkt	A-N	A-T	A-V	V-N	V-T	N-T
6.06	STS01	0.009	0.018	0.007	0.002	0.012	0.010
	STS02	0.009	0.018	0.007	0.002	0.012	0.009
	STS03	0.009	0.018	0.007	0.002	0.012	0.009
	STS04	0.009	0.018	0.007	0.002	0.012	0.009
10.06	STS01	0.008	0.013	0.009	0.005	0.009	0.014
	STS02	0.008	0.013	0.009	0.005	0.009	0.014
	STS03	0.008	0.013	0.009	0.005	0.009	0.014
	STS04	0.008	0.013	0.009	0.005	0.009	0.014
3.07	STS01	---	---	0.001	---	---	---
	STS03	---	---	0.000	---	---	---
	STS05	---	---	0.001	---	---	---
4.07	STS01	0.002	---	0.002	0.003	---	---
	STS03	0.002	---	0.002	0.003	---	---
	STS05	0.003	---	0.002	0.003	---	---
7.07	STS02	0.002	---	0.005	0.004	---	---
	STS04	0.002	---	0.005	0.004	---	---
	STS05	0.002	---	0.006	0.004	---	---

6. Podsumowanie

Osnowa geodezyjna stanowi podstawę prac realizacyjnych i inwentaryzacyjnych. Jej jakość ma szczególne znaczenie na specyficznych terenach kolejowych, ze względu na ich wydłużony, liniowy charakter oraz pokrycie obszaru całego kraju. Standard techniczny Ig-7 wymaga pomiaru punktów osnowy na terenach kolejowych techniką GNSS. Sformułowano w nim wprost wymóg nawiązania punktów osnowy do stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS, które stanowią osnowę podstawową kraju. Pozostałe systemy komercyjne, których stacje referencyjne są klasyfikowane jako punkty osnowy szczegółowej 3 klasy nie są w standardzie wspomniane.

Zróznicowanie klasy stacji referencyjnych państwowego systemu ASG-EUPOS w stosunku do systemów komercyjnych nie znalazło potwierdzenia w analizowanym materiale pomiarowym. Wyniki obliczeń statycznych pomiarów satelitarnych z 5 dni nawiązane do stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS charakteryzowały się dwukrotnie lub jeszcze mniejszą precyzją w stosunku do wyników otrzymanych przy nawiązaniu do systemów NadowskiNet i VRSNet.pl. W przypadku systemu TPINet^{PRO} precyzja również była większa niż dla systemu ASG-EUPOS. Porównując wyniki między systemami widać przede wszystkim systematyczne czynniki w różnicach współrzędnych. Systemy ASG-EUPOS i VRSNet.pl oparte na tym samym oprogramowaniu i w dużej mierze odbiornikach satelitarnych tej samej firmy dały wyniki różniące się poniżej 1 cm. Większą zgodność wyników między systemami zauważono dla systemów NadowskiNet i VRSNet.pl, a są one oparte o konkurencyjne rozwiązania programowo - sprzętowe. Wyniki nawiązane do systemu TPINet^{PRO} odstawały najbardziej od pozostałych systemów. Niestety z tego systemu dostępne w opracowaniu były tylko obserwacje z lipca, które ogólnie charakteryzowały się mniejszą precyzją w każdym systemie niż obserwacje z sierpnia. Z tego powodu jednoznacznie krytyczna ocena systemu TPINet^{PRO} może być nieuzasadniona. Analiza jakości wyznaczanych wysokości z sesji godzinnych wskazuje na możliwość występowania różnic o wartościach ponad decymetrowych.

Na podstawie zarejestrowanych i udostępnionych obserwacji satelitarnych wykonano analizę, która wykracza poza zakres niniejszego opracowania i zostanie przedstawiony jedynie wniosek generalny. Opracowano i porównano wyniki sesji dwunastogodzinnych wyrównanych łącznie dla wszystkich dni pomiarowych, nawiązanych do wszystkich dostępnych w danym systemie stacji referencyjnych w promieniu nawet do 100 km. W przypadku systemu ASG-EUPOS było to 11 stacji referencyjnych. W przypadku systemu NadowskiNET, ze względu na duże zagęszczenie stacji, odległość od punktów mierzonych ograniczono do promienia poniżej 70 km, w którym znalazło się 12 stacji referencyjnych. W promieniu do 100 km byłoby tych stacji aż 21. Z systemów TPINet^{PRO} oraz VRSNet.pl wykorzystano obserwacje z, odpowiednio, 13 i 9 stacji referencyjnych. W obliczeniach wykorzystano efemerydy precyzyjne, parametry kalibracyjne anten satelitarnych oraz modele atmosfery obliczane dla danych satelitarnych. Różnice współrzędnych sytuacyjnych punktów między systemem ASG-EUPOS a systemami Nadowski-

NET, TPINet^{PRO} i VRSNet.pl były na poziomie 1-3 mm. Mniej istotne w praktyce różnice wysokości charakteryzowały się czynnikiem systematycznym na poziomie 13 mm dla systemu VRSNet.pl (jedna wartość wyniosła 22 mm), 17 mm dla systemu TPINet^{PRO}. Największe były dla systemu NadowskiNET i osiągały wartości na poziomie 60 mm. W tym wariancie obliczeniowym wyniki współrzędnych sytuacyjnych wszystkich badanych systemów, tj. ASG-EUPOS, NadowskiNET, TPINet^{PRO} oraz VRSNet.pl można uznać za równorzędne.

Istotnym spostrzeżeniem jest, że nawiązując się do któregośkolwiek systemu wykonawca zazwyczaj otrzyma wyniki umożliwiające wykorzystanie w obsłudze inwestycji, gdyż różnice mają charakter systematyczny. Problem może pojawić się w sytuacji styku odcinków obsługiwanych geodezyjnie przez różnych wykonawców nawiązujących się do różnych systemów. Wymóg nawiązywania pomiarów satelitarnych do systemu ASG-EUPOS sformułowany w standardzie technicznym Ig-7 eliminowałby potencjalnie niekorzystny przypadek wykorzystania przez wykonawców sąsiednich odcinków linii kolejowej różnych systemów referencyjnych. Nie mniej rozbieżności w wynikach tylko z systemu ASG-EUPOS były często większe niż rozbieżności między systemami. Należy więc dążyć również do pomiaru osnowy całego odcinka w jak najkrótszym czasie, co umożliwi otrzymanie wyników spójnych dokładnościowo, a to jest w pomiarach realizacyjnych najistotniejsze. Wnioskiem z analizy może być również stwierdzenie, że sesje godzinne są zbyt krótkie, aby otrzymać wiarygodne współrzędne punktów. Standard techniczny dopuszcza czterdziestominutowe sesje statyczne.

W artykule pominięto analizę wyników uzyskanych przy założeniu rozwiązań tylko niezależnych wektorów, a wyniki oparte były na wariancie z rozwiązaniem wszystkich pomierzonych wektorów. Wykonawcy najczęściej poddają opracowaniu wszystkie wektory, które pomierzyli. W wariancie z opracowaniem tylko niezależnych wektorów wyniki były jeszcze bardziej problematyczne przy tak relatywnie krótkich sesjach pomiarowych i długościach wektorów. W rzeczywistości, czyli przy przesłonięciach horyzontu, problem mógłby się potęgować.

Problematyczne dla wykonawców w praktyce mogą się okazać braki obserwacji z systemu naziemnego dla niektórych stacji referencyjnych. Planując statyczne pomiary satelitarne nie da się tego przewidzieć. W niekorzystnym przypadku lokalizacji inwestycji względem stacji referencyjnych wykorzystywanego do nawiązania systemu, brak obserwacji z jakiejś stacji może skutkować koniecznością nawiązania się do stacji referencyjnej odległej od mierzonych punktów o 80-100 km. Tak długie wektory wymagają dłuższych sesji statycznych. Zazwyczaj wykonawca nie będzie tak przezorny, aby uwzględnić taką niespodziewaną sytuację, co może spowodować problemy z uzyskaniem wystarczającej jakości wyników post-processingu statycznych obserwacji satelitarnych. W tym kontekście najkorzystniejsze byłoby korzystanie z systemu, który ma najgęstszą sieć stacji referencyjnych i brak danych z jednej często nie wpłynie na pogorszenie rozwiązania.

Nie można wskazać systemu ASG-EUPOS, jako lepszego od systemów komercyjnych. Klasyfikowanie stacji referencyjnych tego systemu jako punktów 2 klasy, a stacji referencyjnych systemów komercyjnych jako punktów 3 klasy nie wydaje

się być uzasadnione z praktycznego punktu widzenia. Sam fakt, że systemy komercyjne były nawiązywane do systemu państwowego nie przekonuje do takiego zróżnicowania klas stacji referencyjnych systemu państwowego i systemów komercyjnych, choć jest przyjęte tradycyjnie w geodezji. Takie podejście klasyfikacyjne wypracowano w czasach, w których nie istniały pomiary satelitarne. Dodatkowo analizowane wyniki wskazały, że lepszą precyzję można uzyskać korzystając z systemów komercyjnych niż z systemu państwowego.

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] Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dn. 14.02.2012 r. w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych (Dz. U. 2012 poz. 352).
- [3] Uznański A., Niezawodność pomiarów geodezyjnych w zintegrowanej osnowie kolejowej. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie, z. 154, Kraków 2010.
- [4] Uznański A., Kolejowa osnowa geodezyjna – przepisy oraz praktyka pomiarowa. Drogi Kolejowe. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie. Nr 2 (101), Kraków 2013.
- [5] Uznański A., Pozycjonowanie RTN w odniesieniu do różnych sieci stacji referencyjnych w Polsce. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie, cz. 1, Kraków 2016.
- [6] <http://www.asgeupos.pl/>
- [7] <http://www.codgik.gov.pl/>
- [8] <http://nadowski.pl/>
- [9] <http://www.tpinet.pl/>
- [10] <http://vrsnet.pl/>