

POMIARY SATELITARNE W WYZNACZANIU WSPÓLRZĘDNYCH PUNKTÓW KOLEJOWEJ OSNOWY GEODEZYJNEJ

Andrzej Uznański

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

Streszczenie. Pod koniec 2012 r. spółka PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. opracowała standard techniczny Ig-7 dotyczący zasad i dokładności pomiarów geodezyjnych dla zakładania wielofunkcyjnych znaków regulacji osi toru. W standardzie formalnie usankcjonowano aktualny kształt geodezyjnej osnowy kolejowej oraz sposób realizacji pomiarów. Podstawą technologii pomiaru osnów geodezyjnych na terenach kolejowych są pomiary satelitarne. W pracy poddano analizie zapisy standardu technicznego Ig-7 dotyczące pomiarów satelitarnych na bazie własnego materiału obserwacyjnego z realizacji pomiarów, których dotyczy standard techniczny. Rozważania dotyczą w głównej mierze czasu trwania satelitarnych sesji statycznych w aspekcie precyzji i dokładności wyników pomiarów z uwzględnieniem innych zapisów standardu technicznego Ig-7, dotyczących m.in. wyrównywania niezależnych wektorów satelitarnych.

Słowa kluczowe: kolejowa osnowa geodezyjna, znaki regulacji osi toru, Ig-7, statyczne sesje satelitarne, niezależność wektorów satelitarnych

1. Wprowadzenie

Standard techniczny Ig-7 jest najnowszym, a więc i najaktualniejszym opracowaniem spółki PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z końca 2012 r. Określa on organizację, dokładność i zasady zakładania kolejowej osnowy geodezyjnej oraz zasady pomiarów sytuacyjno-wysokościowych na obszarach kolejowych [2]. W standardzie technicznym wprowadzono też pojęcia klasyfikujące punkty kolejowej osnowy geodezyjnej wraz ze wskazaniem technik pomiarowych służących do wyznaczenia ich współrzędnych.

Statyczne pomiary satelitarne są aktualnie podstawą technologii pomiarowych szczególnie dla obiektów liniowych. Stosowane są do wyznaczenia współrzędnych punktów osnów geodezyjnych z najwyższą precyzją i dokładnością. Aktualny kształt kolejowej osnowy geodezyjnej został zdeterminowany w głównej mierze właśnie przez wykorzystanie statycznych pomiarów satelitarnych do wyznaczenia współrzędnych jej punktów. Standard Ig-7 dzieli poziomą osnowę geodezyjną na podstawową i szczegółową. Pomiary satelitarne są wymagane wyłącznie przy wyznaczeniu współrzędnych punktów stanowiących kolejową podstawową poziomą

osnowę geodezyjną. Punkty osnowy szczegółowej mają mieć współrzędne wyznaczone z pomiarów naziemnych.

Zakres opracowania dotyczy pomiarów satelitarnych, a więc związany będzie z wyznaczaniem współrzędnych punktów poziomej osnowy podstawowej.

Standard techniczny Ig-7 wymaga, aby wyznaczenie współrzędnych punktów kolejowej podstawowej poziomej osnowy geodezyjnej nastąpiło w wyniku opracowania statycznych obserwacji satelitarnych. Dwie niezależne, nie krótsze niż 40 minut satelitarne statyczne sesje pomiarowe powinny być zrealizowane wg standardu technicznego odbiornikami co najmniej dwuczęstotliwościowymi w nawiązaniu do minimum 3 stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS, z możliwością wyznaczenia wektora między punktami poziomej osnowy podstawowej tworzącymi parę. Wymaganą dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów kolejowej podstawowej poziomej osnowy geodezyjnej określono wartością błędu średniego mniejszą niż 0.01 m względem podstawowej bazowej osnowy poziomej [3]. Wynik powinien być uzyskany z wyrównania niezależnych liniowo wektorów GPS.

W pracy poddano analizie wyniki własnych pomiarów satelitarnych służących wyznaczaniu współrzędnych znaków regulacji osi toru. Realizowane były one zawsze w jednej sesji statycznej trwającej minimum 4 godziny. Kierowano się zasadą najwyższej wewnętrznej dokładności współrzędnych punktów sieci. W związku z tym podejście pomiarowo-obliczeniowe nie było zgodne z duchem standardu technicznego Ig-7, który traktuje osnowę podstawową zupełnie dosłownie, nie uwzględniając w pierwszym rzędzie branżowego celu, któremu ma ona służyć. Nie mniej czas trwania sesji statycznych w realizowanych pomiarach wskazuje na dążenie do uzyskania także i wysokiej jakości wyników pomiarów w odniesieniu do bazowej osnowy poziomej.

2. Kolejowa osnowa geodezyjna

W standardzie technicznym wprowadzono pojęcia klasyfikujące punkty kolejowej osnowy geodezyjnej (rys. 1), jako punkty:

- a) kolejowej podstawowej poziomej osnowy geodezyjnej
Stabilizowane trwale, parami co ok 2.0 km - 2.5 km, przy odległości w parze rzędu 150 m – 300 m, z zachowaniem wizury; współrzędne punktów wyznaczone z satelitarnych sesji statycznych;
- b) kolejowej szczegółowej poziomej osnowy geodezyjnej
Zalecana trwała stabilizacja, lokalizacja między punktami osnowy podstawowej, w odległościach 100 m – 300 m, z zachowaniem wizur; pomiar tachymetryczny ciągów poligonowych nawiązanych obustronnie kątowno i liniowo;
- c) kolejowej osnowy specjalnej
Tworzonej przez znaki regulacji osi toru określone przez wytyczne Ig-6 [1]. Formalnie punkty KOS zaliczone są przez Ig-7 do osnowy szczegółowej;

DOP (Dillution of Precision). Należy też uwzględnić liczbę częstotliwości, którą odbiornik satelitarny może zarejestrować.

Standard techniczny Ig-7 określa czas trwania sesji statycznej na minimum 40 minut, przy czym każdy punkt musi być mierzony w co najmniej dwóch niezależnych sesjach satelitarnych. W przypadku standardu technicznego Ig-7 konieczne jest rozważanie tego zapisu w kontekście innych, związanych z nim ściśle w praktyce.

Pomiary satelitarne w dwóch minimum czterdziestominutowych sesjach:

- w praktyce sesje muszą mieć czas trwania dostosowany do wymaganej dokładności i warunków terenowych;
Wymóg słuszny, jednakże jego spełnienie może być obiektywnie trudne, a odpowiedzialność zawsze będzie spoczywała na wykonawcy. Najtrudniejszym do uwzględnienia i bardzo istotnym czynnikiem wpływającym na jakość wyników pomiarów satelitarnych są wspomniane już zakłócenia sygnałów satelitarnych powodowane przez warstwy atmosfery i przesłonięcia horyzontu.
- mają umożliwić obliczenie błędu średniego punktów w odniesieniu do bazowej osnowy poziomej;
Bazową osnowę poziomą stanowią w praktyce stacje referencyjne systemu ASG-EUPOS, które są zlokalizowane w odległościach wzajemnych rzędu 70 km.
- powinny być nawiązane do minimum 3 stacji referencyjnych systemu ASG-EUPOS;
Powyższe dwa wymogi będą skutkowały długościami wektorów rzędu kilkudziesięciu kilometrów, które mogą sięgnąć nawet 70 km, a sporadycznie więcej.
- muszą zapewnić obliczenie wartości średniego błędu położenia poziomego punktu mniejszej niż ± 0.01 m względem bazowej osnowy poziomej;
Ustalenie realnej jakości wyników pomiarów satelitarnych, zwłaszcza dla wektorów o długościach dziesiątków kilometrów, jest zadaniem trudnym.
- liczba satelitów w trakcie trwania całej sesji nie może być mniejsza niż 4;
Zapis wymaga zaplanowania pomiaru satelitarnego i bieżącej kontroli jego przebiegu, zwłaszcza dla trudniejszych warunków topograficznych realizacji pomiarów. Można spostrzec, że wykonawcy zazwyczaj nie planują pomiarów satelitarnych.
- nie mogą być przeprowadzane odbiornikami jednoczęstotliwościowymi;
- muszą być realizowane z wykorzystaniem minimum 3 odbiorników satelitarnych;
- powinny być prowadzone tak, aby punkty osnowy podstawowej tworzące parę były mierzone jednocześnie w minimum jednej sesji;
Powyższe dwa wymogi powinny wymusić rezygnację z najszybszego i najsłabszego pod względem konstrukcji geometrycznej rozwiązania pomiarowego. Nie mniej zakres dokumentacji technicznej wymagany przez Ig-7 w żaden sposób tego nie zabezpiecza.

- powinny mieć ustawiony parametr minimalnej wysokości topocentrycznej satelitów na wartość 10° , co jest wartością standardowo przyjętą.

Ponadto wyrównanie ściśle obserwacji satelitarnych ma być przeprowadzone jako wyrównanie wektorów niezależnych w układzie przestrzennym lub na powierzchni elipsoidy odniesienia.

4. Czas trwania sesji statycznej

Parametrem pomiaru satelitarnego o kluczowym znaczeniu praktycznym dla wykonawcy jest wymagany czas trwania sesji satelitarnej, gdyż rzutuje on bezpośrednio na koszt realizacji pomiaru. Może on też istotnie wpłynąć na możliwość osiągnięcia dokładność współrzędnych punktów mierzonych oraz niezawodność wyników pomiarów. Na bazie materiału obserwacyjnego wykonano analizę porównawczą. Zestawiono wyniki obliczeń wykonane w dwóch wariantach:

- A) jedna sesja satelitarna trwająca min. 4 godziny;
- B) dwie czterdziestominutowe sesje (zgodnie z minimum Ig-7) wyodrębnione z sesji czterogodzinnej, o wzajemnym odstępie czasowym wynoszącym około $2^h 20^m$.

Przyjęcie do analiz minimalnego (wg Ig-7) czasu trwania satelitarnych sesji statycznych wynikało z:

- próby oceny wyników w przypadku przyjęcia przez wykonawcę wariantu ekonomicznego, na bazie doświadczeń z pomiaru kontrolnego osnowy odcinka modernizowanej linii kolejowej przedstawionego w [4];
- porównania teoretycznych minimalnych długości obliczanych wektorów satelitarnych z długościami wektorów z opracowań własnych poddanych analizie.

Odległości między stacjami referencyjnymi systemu ASG-EUPOS wynoszą ok. 70 km, więc długości wektorów do punktów wyznaczanych w optymalnym przypadku, dla wymaganego przez Ig-7 nawiązania do min. 3 stacji referencyjnych, będą na poziomie 35 km – 40 km. W niektórych analizowanych pomiarach **długości wektorów do bazowej osnowy poziomej były rzędu 27, 36, 40, 42 km.** W innych pomiarach możliwa była analiza wyników w mniej korzystnych przypadkach.

Materiał obserwacyjny umożliwił analizę porównawczą, głównie wyniku jednej sesji min. 4^h z wynikiem dwóch sesji 40^m (wariant a, w tabeli 1). Dla pojedynczych pomiarów możliwa była analiza powtarzalności wyników pomiarów (tabela 1):

- wariant b1): dwa pomiary osnowy zrealizowane w odstępie 9 dni, każdy z nich w ramach dwóch sesji $40'$;
- wariant b2): dwa pomiary osnowy zrealizowane w odstępie 9 dni, każdy z nich w ramach dwóch sesji 4^h ;
- wariant c1): dwa pomiary osnowy zrealizowane w kolejnych dniach, każdy z nich w ramach dwóch sesji $40'$;

- wariant c2): dwa pomiary osnowy zrealizowane w kolejnych dniach, każdy z nich w ramach dwóch sesji 4^h.

Porównano także wyniki dwóch pomiarów w sesjach czterogodzinnych zrealizowane w odstępie 15 miesięcy. Wnioski z nich nie mają zbyt dużej wagi, gdyż w obu pomiarach wystąpił tylko jeden punkt wspólny. Nie mniej różnica położenia poziomego punktu z tych dwóch pomiarów i niezależnych opracowań nie przekroczyła wartości 0.002 m. W przypadku opracowania dotyczącego wpływu czasu trwania sesji statycznej na jakość wyników pomiarów satelitarnych, analizowano wyniki uzyskane z obliczeń przeprowadzonych dla wszystkich wektorów satelitarnych. W takim wariancie nierealność wartości odchyień standardowych uwidacznia się najbardziej. W kolejnym punkcie przedmiotem analizy będzie porównanie wyników obliczeń wykonanych dla wszystkich pomierzonych wektorów z wynikami obliczeń wykonanych dla wektorów niezależnych.

Tabela 1. Obliczone w różnych wariantach: ΔP - różnice położenia poziomego punktów, σ - odchylenia standardowe, m - mediany odpowiednich wielkości, wartości w {m}

wariant	DP średnie / m	DP max.	σ średnie 4h / m	σ średnie 2x40' / m	σ max. 4h	σ max. 2x40'
a)	0.007/ 0.004	0.023 (0.016)	0.001/ 0.001	0.001/ 0.001	0.003	0.005
b1)	0.006/ 0.006	0.006	nie dotyczy	0.002/ 0.002	nie dotyczy	0.003
b2)	0.001/ 0.001	0.002	0.001/ 0.001	nie dotyczy	0.001	nie dotyczy
c1)	0.005/ 0.006	0.007	nie dotyczy	0.003/ 0.003	nie dotyczy	0.005
c2)	0.004/ 0.005	0.006	0.001/ 0.001	nie dotyczy	0.002	nie dotyczy

W każdym z analizowanych wariantów wystąpiły różnice w obliczonych poziomych położeniach punktów. Wartość średniej arytmetycznej zbliżona do wartości mediany wskazuje na wiarygodniejszy opis badanej populacji przez ten parametr. Wartości przedstawione w tabeli 1 dają tylko ogólny, choć zwięzły pogląd na rozbieżności wyników. Istotnym jest jednak fakt, że można wskazać całe pomiary o większych różnicach wyników, a nie pojedyncze punkty w pomiarach, choć i takie przypadki występują.

Dla wariantu a) tab. 1 podana w nawiasie wartość maksymalnej różnicy poziomego położenia punktu dotyczy analizy z pominięciem jednego, najbardziej i wyraźnie odstającego pomiaru opracowanego dla dwóch czterdziestominutowych sesji statycznych.

W każdym z wariantów można zauważyć wyraźnie mniejsze wartości odchyień standardowych w stosunku do wyznaczonych różnic położenia poziomych punktów. Jest to sytuacja analogiczna do przykładu pomiaru kontrolnego opisanego w [4]. Wykonawca może ocenić jakość wyników swojego pomiaru poprzez wartości odchyień standardowych, a ich wartości są najczęściej mało wiarygodne. W przypadku wyrównywania wszystkich pomierzonych wektorów satelitarnych obliczonych z pomiarów zrealizowanych kilkoma odbiornikami satelitarnymi (5 i więcej szt.), odchylenia standardowe współrzędnych poziomych rzadko przekraczają 0.002 m.

Pomiary dla wariantów b) realizowane były w raczej dobrych warunkach topograficznych. Natomiast pomiary dla wariantów c) przeprowadzone były w bliskim sąsiedztwie lasu. W wariantach b) widoczna jest różnica w wartościach położień

poziomych punktów w zależności od czasu trwania sesji statycznej. Dłużej trwające pomiary dały bardzo wysoką powtarzalność położenia poziomych punktów. W przypadku trudniejszej topografii terenu w aspekcie pomiarów satelitarnych (warianty c), dłuższy czas trwania sesji statycznych nie wpłynął na lepszą powtarzalność wyznaczanych pozycji.

Istotnym wnioskiem z analiz jest systematyczny charakter różnic poziomych położenia punktów. Ich rozstęp obliczony dla poszczególnych pomiarów wyniósł średnio 0.004 m, przy medianie o wartości 0.002 m.

Można stwierdzić w części pomiarów brak istotnych różnic poziomych położenia punktów w kontekście wymaganej przez standard techniczny Ig-7 wartości błędu średniego na poziomie ± 0.01 m. W części pomiarów różnice te jednak były istotniejsze. Problemem może być stwierdzenie, w którym z wariantów obliczone zostały współrzędne o wyższej precyzji i dokładności. W tym zakresie znaczenie ma również zapis Ig-7 dotyczący wymogu wyrównania tylko niezależnych liniowo wektorów satelitarnych. Problematyka będzie przedmiotem analizy w kolejnym punkcie.

W przypadku wariantu obliczeń dwóch sesji satelitarnych trwających 40 minut nie udało się uzyskać rozwiązania parametrów nieoznaczoności całkowitej liczby cykli fal nośnych dla wszystkich wektorów, mimo że długości wektorów były praktycznie najkrótsze z możliwych. Przy czym był to rezultat jednej z dwóch sesji. W drugiej uzyskano rozwiązanie, więc powodem były warunki pomiaru, a nie geometria sieci.

Wg wymogów Ig-7 czas trwania sesji statycznej musi być dostosowany do wymaganej dokładności i warunków terenowych. Jest to zapis enigmatyczny, obciążający w każdym przypadku wykonawcę. Nie można określić w sposób jednoznaczny i pewny, jakości wyników pomiarów satelitarnych przed, czy w trakcie ich realizacji. Oprócz warunków terenowych znaczenie dla wyników pomiarów, nierzadko istotniejsze, mają warunki atmosferyczne związane z refrakcją troposferyczną i jonosferyczną.

5. Liniowa niezależność wektorów satelitarnych

W standardzie technicznym Ig-7 sformułowano wymóg wyrównania niezależnych wektorów satelitarnych. Jest on uzasadniony teorią zagadnienia i zapewne podyktowany dążeniem do uzyskania bardziej realistycznej charakterystyki jakości wyników pomiaru. Parametrem standardu technicznego Ig-7 określającym tę jakość, jest błąd średni położenia poziomego punktów o wartości mniejszej od ± 0.01 m. Zagadnienie estymacji realnej jakości wyników pomiarów satelitarnych nie jest trywialne. Ten problem wykazano we wspomnianym już przykładzie wyników kontroli osnowy na modernizowanym odcinku linii kolejowej, przedstawionych w kontekście pojęć precyzji, dokładności i niezawodności w [4].

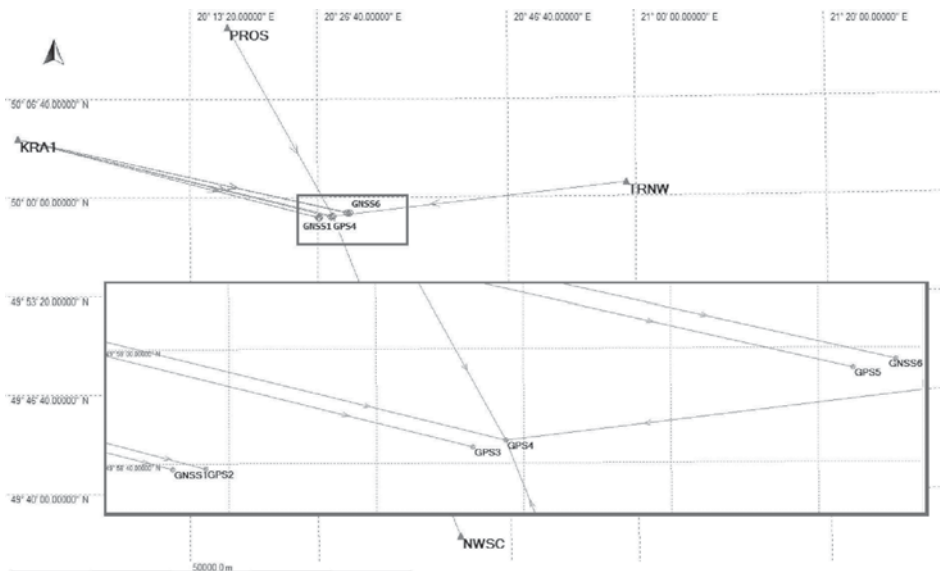
Na poniższych rysunkach można porównać sieć złożoną z wektorów niezależnych liniowo i z wszystkich pomierzonych w jednym z pomiarów.

Poddano analizie wyniki opracowania obserwacji satelitarnych w wariancie wyrównania wektorów niezależnych i wariancie wyrównania wszystkich pomierzonych wektorów. Obliczenia wykonano dla jednej sesji czterogodzinnej (4^h) oraz dwóch sesji czterdziestominutowych (2 x 40'). Celem analiz było wyciągnięcie wniosków na temat wpływu przyjętego wariantu wyrównania sieci wektorów satelitarnych na różnice położenia poziomego punktów (określone przez współrzędne w układzie PL-2000, obliczone w poszczególnych wariantach) oraz różnice wartości odchyłeń standardowych współrzędnych. Wartości odchyłeń standardowych obliczono na poziomie błędów średniego, czyli na poziomie ufności $1\sigma = 68\%$. Pokrywanie się wartości średniej z medianą wskazuje na większą wiarygodność średniej arytmetycznej danego parametru.

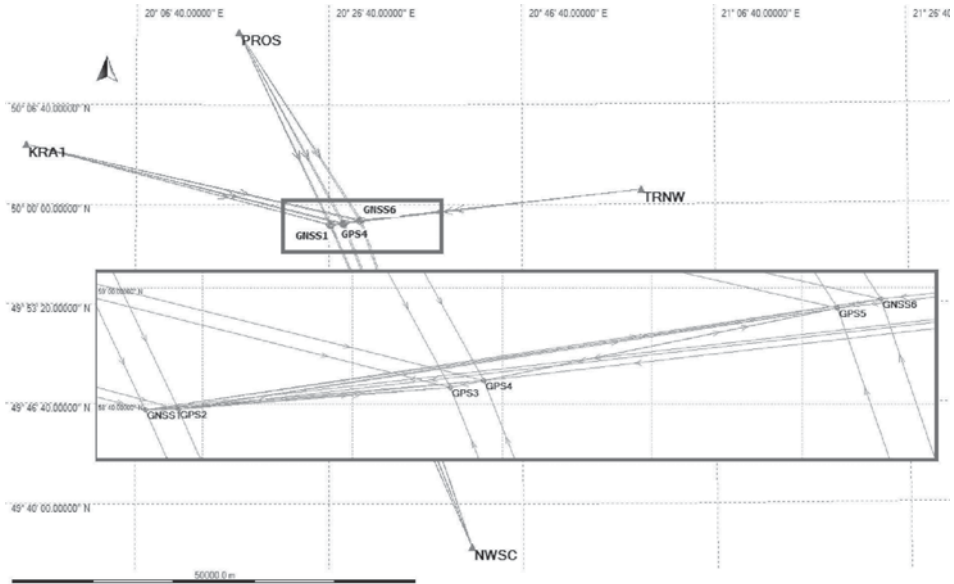
Z porównań otrzymano maksymalną różnicę położenia poziomego punktu o wartości 0.017 m. Należy zaznaczyć, że był to wynik dla jednego tylko punktu. Pozostałe pomiary dostarczyły bardziej miarodajną wartość 0.011 m, gdyż wyniki o zbliżonych wartościach występowały częściej.

Tabela 2. Porównanie wyników obliczeń w wariantach: w - wszystkie wektory, n - wektory niezależne; ΔP - różnice położenia poziomego punktów, σ - odchylenia standardowe, m - mediany odpowiednich wielkości, wartości w {m}

wariant	DP średnie / m	DP max.	$ \Delta \sigma $ średnie	mediana D_s	$ D_s $ max
4 ^h (w - n)	0.005 / 0.004	0.017 (0.011)	0.005	0.004	0.019
2x40' (w - n)	0.009 / 0.006	0.034 (0.028)	0.003	0.003	0.022



Rys. 2. Sieć niezależnych wektorów satelitarnych



Rys. 3. Sieć wszystkich pomierzonych wektorów satelitarnych

Wartości średniej różnicy położenia punktu wyznaczonego z jednej sesji czterogodzinnej dla wektorów niezależnych i wszystkich wektorów pomierzonych była na poziomie 5 mm, przy medianie o wartości 4 mm. Dla wariantu 2 x 40' zmiana położenia poziomego punktu była prawie dwukrotnie większa.

Wyrównanie wektorów niezależnych spowodowało wprowadzić wzrost wartości odchyżeń standardowych (można by przyjąć, że na bardziej wiarygodne) w stosunku do wyników obliczeń prowadzonych dla wszystkich pomierzonych wektorów, ale:

- trudno je uznać za bardziej wiarygodne, przynajmniej w wariancie 2 x 40';
- w wariancie 2 x 40' różnica w wyznaczonym położeniu poziomym punktów jest większa niż miara rozproszenia wyników, która daje wykonawcy informację o jakości jego pomiaru;
- posługując się miarą precyzji w postaci wartości odchylenia standardowego należałoby stwierdzić, że dłuższe trwające satelitarne sesje statyczne dały wyniki gorszej jakości, niż pomiary w wariancie dwóch sesji czterdziestominutowych;
- wyrównanie wektorów niezależnych spowodowało istotnie różne wartości współrzędnych punktów.

W tabeli 3 ujęto wyniki opracowania obserwacji dwóch pomiarów tego samego odcinka linii kolejowej, które zostały zrealizowane w odstępie 9 dni.

Tabela 3. Porównanie obliczeń dwóch pomiarów tych samych punktów osnowy, warianty: w - wszystkie pomierzone wektory, n - wektory niezależne, wartości w { m }

Pomiar 01									
wariant	$2 \times 40'$ ($w - n$)	4^h ($w - n$)	n ($4^h - 2 \times 40'$)	4^h wszystkie		4^h niezależne		$2 \times 40'$ niezależne	
punkt	ΔP	ΔP	ΔP	σY	σX	σY	σX	σY	σX
GNSS1	0.010	0.007	0.007	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002
GPS2	0.011	0.007	0.007	0.001	0.001	0.003	0.004	0.003	0.004
GPS3	0.004	0.002	0.002	0.001	0.001	0.003	0.004	0.003	0.004
GNSS4	0.005	0.004	0.004	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.003
Pomiar 02 (zrealizowany 9 dni po pomiarze 01)									
punkt	ΔP	ΔP	ΔP	σY	σX	σY	σX	σY	σX
GNSS1	0.004	0.001	0.009	0.001	0.001	0.002	0.003	0.008	0.012
GPS2	0.012	0.017	0.001	0.001	0.001	0.006	0.009	0.016	0.025
GPS3	0.034	0.005	0.041	0.001	0.001	0.006	0.009	0.015	0.022
GNSS4	0.028	0.006	0.028	0.001	0.001	0.005	0.007	0.014	0.021

Wartości odchyłeń standardowych w powyższej tabeli dla wariantu wyrównania wszystkich pomierzonych wektorów w jednej sesji czterogodzinnej nie przekraczają 0.001 m. Dla wariantu wyrównania wszystkich pomierzonych wektorów w sesjach $2 \times 40'$ (nie ujęte w tabeli) część wartości odchyłeń standardowych wzrosła minimalnie, do poziomu 0.002 m. Wyniki te należy uznać za mało wiarygodne. W przypadku wyrównania wektorów niezależnych wartości odchyłeń standardowych wzrosły, choć zazwyczaj nieadekwatnie do różnicy wyznaczonego ze współrzędnych każdego z wariantów położenia poziomego punktu, to z pewnym przybliżeniem można uznać, że proporcjonalnie.

Wyniki tabeli 3 skłoniły do kolejnych analiz. Wymagany przez standard techniczny Ig-7 pomiar w dwóch czterdziestominutowych sesjach ($2 \times 40'$) z wyrównaniem wektorów niezależnych w kolejnych dniach dał przeciwstawne rezultaty w sensie innego wymogu Ig-7.

Wartości odchyłeń standardowych punktów w pomiarze drugim ($2 \times 40'$) tabeli 3 wskazują, że wszystkie punkty nie spełniają kryterium określonego przez ten standard na poziomie ± 0.01 m względem bazowej osnowy poziomej, w przeciwieństwie do pomiaru pierwszego. Porównano więc różnice położenia poziomego punktów z obu pomiarów. Wynik nie jest jednoznaczny. W przypadku dwóch punktów różnice położenia poziomego punktów wyniosły 0.003 m, 0.007 m, nie przekraczając ± 0.01 m, a w dwóch kolejnych wyniosły aż 0.041 m oraz 0.032 m. Można wnioskować, że będą występowały liczne przypadki, w których wartość błędu średniego położenia poziomego punktu obliczona z pomiarów w dwóch czterogodzinnych sesjach i wyrównaniu wektorów niezależnych będzie niewiarygodna.

Jedynym możliwym odniesieniem dla pomiarów satelitarnych w posiadanym materiale obserwacyjnym były pomiary odległości między punktami osnowy podstawowej precyzyjnym tachymetrem elektronicznym TCA2003. Na ich podstawie można stwierdzić bardzo wysoką jakość wyników pomiarów realizowanych w ramach jednej czterogodzinnej sesji z wyrównaniem wszystkich wektorów sa-

telitarnych. Różnice odległości pomierzonych tachymetrem TCA2003 oraz obliczonych ze współrzędnych z pomiarów satelitarnych między punktami kolejowej podstawowej poziomej osnowy geodezyjnej rzadko sięgały 0.002 m – 0.003 m, a najczęściej nie przekraczały wartości 0.001 m. W przypadku danych z tabeli 3 można stwierdzić błędy położenia punktu GNSS1 i GPS2 różniące się na poziomie 0.01 m, podczas gdy wynik pomiaru precyzyjnym tachymetrem TCA2003 wykazał różnicę odległości obliczoną ze współrzędnych punktów o wartości 0.0008 m.

6. Podsumowanie

Pomiary satelitarne są nieodłącznym, a w przypadku osnów geodezyjnych podstawowym, elementem technologii pomiarowych, także na terenach kolejowych. Standard techniczny Ig-7 dał temu wyraz wymagając wyznaczania współrzędnych punktów kolejowej podstawowej poziomej osnowy geodezyjnej w oparciu o obserwacje z satelitarnych sesji statycznych.

W pracy przeanalizowano zapisy standardu technicznego Ig-7 pod kątem pomiarów satelitarnych. Podstawą analiz i wniosków były własne obserwacje satelitarne i tachymetryczne zrealizowane w celu wyznaczania współrzędnych znaków regulacji osi toru przed pojawieniem się Ig-7. Obserwacje satelitarne i ich opracowanie wykonano w kilku wariantach, także w wymaganym przez standard techniczny Ig-7, w celu porównania możliwych do uzyskania wyników. We własnych opracowaniach kierowano się zasadą najwyższej wewnętrznej dokładności współrzędnych punktów sieci, wychodząc z założenia, że ma ona w swojej istocie charakter sieci realizacyjnej. Opracowana w szczególności technologia pomiarowa miała za zadanie przede wszystkim jak najdokładniejsze wyznaczanie współrzędnych wielofunkcyjnych znaków regulacji osi toru. Nie jest to technologia zakładania osnów geodezyjnych na obszarach kolejowych. Jest to jedno z istotniejszych stwierdzeń, gdyż standard techniczny Ig-7 podszedł do zagadnienia w sposób „ogólnogeodezyjny”, traktując osnowę dosłownie, a nie „branżowo”, zgodnie z chociażby jego tytułem.

Wniosków z analizy porównawczej wyników pomiaru w wariancie dwóch czterdziestominutowych sesji i ich opracowania z wyrównaniem niezależnych wektorów satelitarnych, nie można uznać za pozytywne. Wprawdzie odchylenia standardowe były bardziej zróżnicowane niż w wariancie z wyrównaniem wszystkich pomierzonych wektorów, ale ich wiarygodność jest problematyczna. Istotnym jest fakt, że nie uzyskano rozwiązania dla wszystkich wektorów, a wyniki były bardziej podatne na zmiany położenia poziomego punktów w zależności od pomiaru. Sesja czterogodzinna dawała wyniki o dużej precyzji (powtarzalności) i rozwiązanie było uzyskiwane zawsze.

Tytułowym celem opracowania standardu technicznego Ig-7 jest zakładanie wielofunkcyjnych znaków regulacji osi toru, służących jako punkty nawiązania do wcięć wstecz. Z tego powodu można też rozpatrywać kwestie jakości pomia-

rów satelitarnych w kontekście dokładności nawiązania swobodnego stanowiska instrumentu do tych znaków. W przypadku technologii opartej na jednej czterogodzinnej sesji bardzo często wykonawcy uzyskiwali dokładność współrzędnych swobodnego stanowiska instrumentu na poziomie 0.001 – 0.002 m.

W [4] przedstawiono przykład dotyczący kontroli odcinka modernizowanej linii kolejowej. Wykonany pomiar wg własnych standardów dał wynik pięciokrotnie wyższej dokładności dla każdego kontrolowanego punktu niż pomiar kontrolowany.

Kryterium jakości wyników pomiarów satelitarnych Ig-7 dotyczy położenia poziomego punktu. W obiektach liniowych, zwłaszcza w związku z występowaniem skrajni, istotniejsze są błędy poprzeczne.

Nasuwa się pytanie o zasadność konieczności odniesienia jakości wyników pomiarów kolejowej podstawowej poziomej osnowy geodezyjnej do punktów podstawowej bazowej osnowy poziomej i to w wariancie wektorów niezależnych, w sytuacji, gdy celem są współrzędne znaków regulacji osi toru, a nie punkty osnowy podstawowej.

W zapisach standardu można dostrzec pewną niekonsekwencję. Wymagania w zakresie realizacji pomiaru sformułowano dość szczegółowo, natomiast opracowanie ujęto w jednym zdaniu dotyczącym wyrównania wektorów niezależnych. Dokumentacja techniczna z założenia kolejowej osnowy geodezyjnej jest ograniczona do absolutnego minimum, uniemożliwiając ustalenie, czy pomiar został przeprowadzony i opracowany zgodnie z wymaganiami Ig-7.

Praca nie wyczerpuje analizy zapisów Ig-7 w zakresie pomiarów satelitarnych.

Standard techniczny Ig-7 należy ocenić jako krok w dobrym kierunku spółki PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.. Natomiast konieczne wydaje się przemyślenie celu, któremu ma on służyć i dopracowanie jego zapisów pod tym kątem.

Bibliografia

- [1] PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.: Wytyczne dla osadzania znaków regulacji osi toru na konstrukcjach wsporczych (słupach) sieci trakcyjnej Ig-6. Załącznik do zarządzenia Nr 24/2011 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 18 lipca 2011 r.
- [2] 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.
- [3] Rozporządzenie Ministra Administracji i Cyfryzacji z dn. 14.02.2012 r. w sprawie osnów geodezyjnych, grawimetrycznych i magnetycznych (Dz. U. 2012 poz. 352).
- [4] Uznański A., Kolejowa osnowa geodezyjna – przepisy oraz praktyka pomiarowa. Drogi Kolejowe. Zeszyty Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne Nr 2 (101) 2013.