



Technologia zintegrowanych pomiarów klasycznych i satelitarnych GPS

GRZEGORZ KRZAN

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Geodezji i Gospodarki Przestrzennej,
Instytut Geodezji, 10-719 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 1, grzegorz.krzan@uwm.edu.pl

Streszczenie. Integracja klasycznych i satelitarnych technik pomiaru znajduje coraz szersze zastosowanie w precyzyjnych pomiarach geodezyjnych. Połączenie zalet obu metod stanowi kolejny krok w wydajności i automatyzacji prac polowych geodety. Niniejsza praca przedstawia ideę i główne założenia pomiarów zintegrowanych, jako metody łączącej pomiary klasyczne i satelitarne GPS. Ponadto dokonano analizy dokładności wyznaczenia współrzędnych stanowiska tachimetrycznego metodą przestrzennego wcięcia wstecz, będącego istotnym elementem pomiaru zintegrowanego. Otrzymane wysokie dokładności pozwalają na pominięcie w pomiarach czasochłonnego procesu zakładania osnów pomiarowych i zastąpienie ich pomiarem zintegrowanym.

Słowa kluczowe: geodezja inżynierska, GPS, tachimetria, Smart Station, pomiary zintegrowane

1. Wprowadzenie

Technologia zintegrowanych pomiarów klasycznych i GPS, mimo że składają się na nią metody znane geodetom od dłuższego czasu, dopiero od niedawna stosowana jest coraz powszechniej. Stanowi ona połączenie techniki RTK (*Real Time Kinematic*) z pomiarami klasycznymi, a konkretniej metodą biegunową i konstrukcją przestrzennego wcięcia wstecz. Wcięcie wykorzystywane jest do wyznaczenia stanowiska tachimetrycznego, w oparciu o punkty nawiązania wyznaczone metodą RTK.

2. Idea zintegrowanych pomiarów klasycznych i satelitarnych GPS

W klasycznej geodezji mierniczy używali teodolitów, stalowych taśm lub dalmierzy elektronicznych do przenoszenia współrzędnych z jednego punktu do drugiego, wykorzystując metodę poligonizacji. Instrumenty *totalstation* w znaczący sposób uprościły procedurę poligonizacji, łącząc elektroniczny dalmierz i teodolit w jednym narzędziu, zapisującym cyfrowo wykonywane obserwacje. Kolejnym krokiem w rozwoju technik pomiaru było wprowadzenie metody pomiarów satelitarnych. Obserwacje satelitarne, w szczególności metoda RTK, stanowią dziś szybkie i efektywne narzędzia geodezyjne. Mimo szerokiego spektrum zastosowań RTK, w wielu sytuacjach używanie tej metody okazuje się problematyczne ze względu na warunki terenowe.

Pomysł połączenia pomiarów tachimetrycznych z pomiarami satelitarnymi zrodził się w latach 90. [1]. Integracja tych dwóch metod miała pozwolić na uniknięcie trudności związanych z widocznością satelitów w trudnych warunkach oraz czasochłonnym procesem poligonizacji. Pierwszym krokiem w kierunku integracji było stworzenie tachimetru posiadającego możliwość montażu anteny GPS współliniowo z osią pionową instrumentu. Pozwalało to na obsługę całego urządzenia z poziomu klawiatury tachimetru. Odbiornik połączony ze stacją referencyjną wyznaczał współrzędne stanowiska tachimetrycznego przy pomocy metody RTK. By rozpocząć pomiary, należało zorientować instrument na znany punkt. Takie rozwiązanie, mimo uniezależnienia od poligonizacji, nie pozwalało w pełni wykorzystać możliwości związanych z pomiarem satelitarnym, który służył jedynie do wyznaczania pozycji tachimetru [1].

Efektywna integracja *totalstation* z odbiornikiem GPS oznacza współdzielenie i wykorzystywanie przez oba instrumenty dokonanych obserwacji. Taką możliwość daje połączenie wyników pomiarów wykonanych obiema technikami w jednym rejestratorze, w postaci jednego pliku roboczego. Współcześnie rozwiązanie takie realizowane jest przez zespół instrumentów składający się z *totalstation*, ruchomego odbiornika GPS, wspólnego rejestratora oraz tyczki z zamontowanym pryzmatem i anteną GPS. W terminologii używanej przez producentów zestaw taki określa się najczęściej nazwą *Smart Station*.

Instrument *totalstation* w takim zestawie stanowi automatyczny tachimetr, wyposażony w serwomotory i funkcje śledzenia lustra w czasie rzeczywistym oraz algorytmy wyznaczania jego pozycji z pomiarów satelitarnych. Po rozstawieniu instrumentu i wprowadzeniu parametrów atmosferycznych, dalsza obsługa odbywa się za pomocą ruchomego rejestratora, sterującego również odbiornikiem GPS umieszczonym na tyczce z lustrem. Wewnętrzny program rejestratora pozwala w szybki sposób wyznaczyć położenie i orientację tachimetru na podstawie punktów pomierzonych techniką GPS, z wykorzystaniem algorytmów przestrzennego wcięcia wstecz. Odbiornik satelitarny zamontowany na tyczce ponad pryzmatem

wyznacza w czasie rzeczywistym, przy pomocy metody RTK, współrzędne punktu nawiązania wcięcia. Równocześnie tachimetr automatycznie wykonuje pomiar do lustra. Na podstawie pomiaru co najmniej trzech wyznaczonych w ten sposób punktów nawiązania następuje wspólne wyrównanie obserwacji kątowno-liniowych oraz satelitarnych i wyznaczenie stanowiska *totalstation*. Rolą geodety jest jedynie obsługa rejestratora oraz tyczki z odbiornikiem GPS i pryzmatem. Śledzenie w czasie rzeczywistym lustra przez tachimetr, w połączeniu z pracującym na tyczce odbiornikiem, umożliwia zastosowanie optymalnej pod względem efektywności metody pomiaru, pozwalając dowolnie przełączać się pomiędzy pomiarem tachimetrycznym a obserwacjami satelitarnymi. Znacząco zwiększa to wydajność wszędzie tam, gdzie tereny otwarte, łatwe do pomiaru techniką GPS, sąsiadują z miejscami otoczonymi przesłonami, które utrudniają bądź całkowicie uniemożliwiają obserwacje satelitów. Niewątpliwą zaletą jest także uniezależnienie pomiaru od istniejących osnów klasycznych, dzięki czemu znacząco skraca się czas pomiaru, poprzez pominięcie etapu odszukiwania istniejących punktów geodezyjnych i poligonizacji.

3. Metodyka pomiaru zintegrowanego

Pomiar GPS zastosowany w metodzie zintegrowanej oparty jest na technice Real Time Kinematic GPS (RTK GPS), będącej rozwinięciem metody Differential GPS (DGPS). Technika DGPS, oparta na kodowym pomiarze pseudoodległości, pozwala na określenie pozycji z dokładnością ok. 1-5 m [2]. Taka dokładność jest jednak zbyt mała, aby wykorzystać DGPS w pracach geodezyjnych. Użycie tej metody różnicowej ogranicza się przede wszystkim do celów nawigacyjnych. Problem niedostatecznej precyzji w pomiarach czasu rzeczywistego rozwiązało wprowadzenie metody RTK. Rozwiązania wykorzystane w tej metodzie są analogiczne do DGPS, jednak pomiar opiera się na obserwacjach fazowych, co pozwala na określenie pozycji z dokładnością subdecymetrową. W celu otrzymania wymaganej dokładności przy pomocy RTK, minimum pięć satelitów musi być obserwowanych jednocześnie. Warunek ten nie jest trudny do spełnienia na terenach względnie odsłoniętych. Konfigurację satelitów w znacznym stopniu poprawić można, wykorzystując odbiornik przystosowany do odbioru sygnałów z systemu GLONASS. W metodzie RTK GPS wykorzystuje się odbiorniki dwuczęstotliwościowe — jeden umieszczony jest na punkcie o znanych współrzędnych (stacja referencyjna/bazowa), drugi jest odbiornikiem ruchomym (*rover*). Stacja referencyjna wykonuje przez cały czas pomiary fazowe satelitów. Na podstawie tych pomiarów i znanych współrzędnych wyznaczane są poprawki korygujące obserwacje fazowe stacji bazowej. Następnie dane dotyczące obserwacji fali nośnej oraz wcześniej wspomnianej poprawki transmitowane są do ruchomego odbiornika za pomocą łączności radiowej [3]. Wykorzystanie poprawek ze stacji referencyjnej jest możliwe dzięki temu, że błędy pomiaru obu odbiorników

są skorelowane. Stopień korelacji zależy od odległości między odbiornikami [4]. Minimalna przepustowość danych w takim połączeniu to 9600 bps (bitów na sekundę), a w niektórych przypadkach nawet 19200 bps [2]. Przesył danych realizowany jest za pomocą UHF lub sieci komórkowej GPRS. W technice RTK GPS poprawki przesyłane są do odbiornika ruchomego w jednolitym dla wszystkich producentów formacie RTCM, najczęściej za pomocą transmisji GPRS.

W celu usprawnienia pomiarów wykonywanych technikami satelitarnymi na całym świecie powstają systemy wspomagające GBAS (*GroundBasedAugmentation System*) i SBAS (*SatelliteBasedAugmentation System*). Do systemów GBAS zalicza się także polski system ASG-EUPOS. Składa się on z 99 równomiernie rozmieszczonych stacji krajowych (w tym 18 z modułem GPS/GLONASS) oraz 22 stacji zagranicznych [6]. Wśród serwisów oferowanych przez ASG-EUPOS najważniejszym z punktu widzenia pomiarów techniką zintegrowaną jest serwis czasu rzeczywistego NAWGEO. Obliczane przez system na podstawie obserwacji z kilku stacji referencyjnych poprawki pozwalają na efektywne modelowanie błędów systematycznych, takich jak błędy zegarów satelitów i odbiorników czy opóźnienia wynikające z propagacji sygnałów w atmosferze. Dzięki temu przy wykorzystaniu w pomiarach RTK serwisu NAWGEO możliwe jest uzyskanie powtarzalności wyznaczeń rzędu $\pm 0,03$ m w poziomie i $\pm 0,05$ m w pionie [6]. Strumień poprawek generowany jest przez system na podstawie odebranej od użytkownika depeszy NMEA GGA, zawierającej czas pomiaru, przybliżoną pozycję, liczbę obserwowanych satelitów itp. Następnie wygenerowane poprawki wysyłane są do odbiornika w jednym z trzech wybranych formatów — VRS, MAC lub FKP.

Pomiar metodą RTK z wykorzystaniem systemu ASG-EUPOS stanowi efektywną metodę pomiarów sytuacyjno-wysokościowych oraz tyczenia na terenach otwartych, bez zasłon uniemożliwiających obserwację satelitów. W praktyce oznacza to brak możliwości wykonywania precyzyjnych pomiarów w lasach i na ich skraju, w pobliżu wysokich zabudowań itp. Pomiar w warunkach terenowych niesprzyjających obserwacjom satelitów wykonywany jest najczęściej przy pomocy instrumentów *totalstation*. Klasyczny pomiar tachymetryczny wymaga od geodety pobrania współrzędnych punktów osnowy z ośrodka dokumentacji geodezyjno-kartograficznej i odnalezienie ich w terenie objętym pomiarem. W przypadku braku osnowy, bądź jej zniszczenia, geodeta zmuszony jest do założenia osnowy pomiarowej, co w wielu przypadkach okazuje się być zadaniem bardziej czasochłonnym niż sam pomiar sytuacyjno-wysokościowy. Nowe rozporządzenie MSWiA z 9 listopada 2011 roku w sprawie wykonywania prac geodezyjnych i kartograficznych, geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowania wyników tych pomiarów do PZGiK (Dz.U. Nr 263, poz. 1572) dopuszcza pomiar satelitarny, zarówno statyczny, jak i RTK, jako metodę zakładania osnów pomiarowych, jeżeli zostaną osiągnięte wymagane dokładności. Dokładność ta określona jest przez średni błąd położenia punktu względem najbliższych punktów osnowy poziomej i nie powinna przekraczać

0,10 m. W przypadku pomiaru w terenach o ograniczonej możliwości obserwacji satelitów zakładanie osnowy przy pomocy GPS mija się z celem, ale przytoczone wytyczne dają ogólny pogląd na wykorzystanie technik satelitarnych w zakładaniu osnow pomiarowych i w dalszej części pozwolą odnieść się do dokładności wyznaczania stanowisk tachimetrycznych instrumentu *totalstation*.

W metodzie zintegrowanych pomiarów klasycznych i satelitarnych GPS do wyznaczenia stanowiska tachimetrycznego wykorzystywane są algorytmy przestrzennego wcięcia wstecz zaprogramowane w ruchomym rejestratorze, obsługującym zarówno instrument *totalstation*, jak i zintegrowany z anteną odbiornik GNSS. Punkty nawiązania wcięcia stanowią punkty wyznaczone metodą RTK, znajdujące się w pobliżu stanowiska tachimetru. Szczegółowy opis konstrukcji, przykłady wyznaczeń wcięć oraz ich analizy dokładnościowe opisane zostały w rozdziale 4.

Po wyznaczeniu współrzędnych stanowiska instrumentu *totalstation* dalszy pomiar opiera się na metodzie biegunowej. Nowe rozporządzenie MSWiA z 9 listopada 2011 roku pozwala na sytuowanie instrumentu nad punktami pomiarowej osnowy sytuacyjnej oraz na punktach usytuowanych na boku osnowy. Dodatkowo w przypadku pomiarów szczegółów II i III grupy dokładnościowej dopuszczalne jest sytuowanie tachimetru nad stabilizowanymi punktami szczegółów I grupy dokładności (pod warunkiem wcześniejszego sprawdzenia położenia tych punktów). Nawiązanie kierunkowe pomiaru wykonuje się do dwóch punktów osnowy lub w przypadku ich braku do innych zastabilizowanych punktów I grupy dokładnościowej, oddalonych minimum o 40 m od stanowiska instrumentu. Ponadto geodezyjny pomiar sytuacyjny powinien zapewniać dokładność określenia położenia punktu względem punktów osnowy nie mniejszą niż:

- 0,10 m w przypadku szczegółów terenowych I grupy,
- 0,30 m w przypadku szczegółów terenowych II grupy,
- 0,50 m w przypadku szczegółów terenowych III grupy.

Zespół narzędzi wykorzystywanych w technologii pomiarów zintegrowanych zapewnia dokładności pomiaru kąta rzędu 1" lub 2" i odległości rzędu 2-4 mm + 2 ppm, co pozwala na zachowanie wymagań rozporządzenia nawet dla bardzo długich celowych.

4. Analiza konstrukcji i dokładności wyznaczania współrzędnych stanowisk tachimetrycznych

Wcięcie można zdefiniować jako „zadanie geodezyjne polegające na wyznaczeniu współrzędnych jednego punktu za pomocą obserwacji kątowych, liniowych lub kątowych i liniowych, w nawiązaniu do istniejących w terenie punktów o znanych współrzędnych” [5]. Znane punkty, na których oparte jest wcięcie, określane są jako punkty nawiązania. W pomiarach zintegrowanych, jako podstawowy sposób

wyznaczenia stanowiska tachimetrycznego, wykorzystywana jest konstrukcja przestrzennego wcięcia wstecz. Klasyczne przestrzenne wcięcie wstecz polega na pomiarze kątów poziomych i pionowych, z nieznanego punktu na minimum trzy punkty nawiązania.

Elektroniczne instrumenty *totalstation* posiadają na ogół zaimplementowane programy do wyznaczania współrzędnych stanowiska tachimetru przy pomocy wcięcia wstecz. Często problem stanowi jednak zbyt małe zagęszczenie osnowy służącej jako punkty nawiązania. Algorytmy wcięcia wprowadzone do tachimetrów pozwalają najczęściej na wyznaczenie stanowiska z 3-4 punktów nawiązania, co przy niekorzystnej konstrukcji może być niewystarczające do precyzyjnego wyznaczenia pozycji instrumentu. W pomiarach zintegrowanych liczba punktów służących wyznaczeniu stanowiska może być dowolna (nie mniejsza niż 3), a ich usytuowanie wybierane jest przez geodetę w dogodnym dla niego miejscu. Punkty nawiązania wyznaczane są metodą RTK, a określenia pozycji dokonuje się na podstawie obserwacji kątowych i liniowych. Następnie, przy pomocy metody najmniejszych kwadratów, wyliczane są wyrównane współrzędne stanowiska instrumentu. Z racji bardzo precyzyjnego pomiaru kątów oraz odległości, dokładność wyznaczenia stanowiska zależy będzie przede wszystkim od rozmieszczenia i dokładności wyznaczenia punktów nawiązania, pomierzonych metodą RTK. W tym celu skorzystano z serwisu Nawgeo_VRS_3_1 udostępnionego przez sieć ASG-EUPOS. Serwis ten generuje strumień poprawek w oparciu o dane z kilku stacji referencyjnych, wykorzystując przybliżoną pozycję użytkownika. Obserwacje na każdym stanowisku nawiązania trwały 5 s. Uzyskane w ten sposób dokładności wyznaczenia współrzędnych nawiązania w każdym z wariantów nie przekraczały 0,01 m w poziomie i 0,02 m w pionie.

W celu sprawdzenia, jak rozmieszczenie punktów nawiązania wcięcia wpływa na wyznaczenie współrzędnych stanowiska tachimetrycznego, autor dokonał kilku wyznaczeń pozycji instrumentu *totalstation*, a następnie porównał je ze współrzędnymi stanowiska otrzymanymi z półgodzinnej sesji statycznej. Obserwacje wykonywane były zestawem do pomiaru zintegrowanego Trimble, który składał się z: instrumentu *totalstation* Trimble S6, odbiornika GNSS Trimble 5800 II, rejestratora Trimble TSC 3 oraz dedykowanych akcesoriów w postaci tyczki i pryzmatu.

Tachimetr Trimble serii S6 to instrument o wysokiej dokładności, umożliwiający odczyt kąta z dokładnością 1" (2" w trybie „śledzenie”). Pomiar odległości przy pomocy wbudowanego dalmierza DR300+ odbywa się z dokładnością 2 mm + 2 ppm (4 mm + 2 ppm w trybie „śledzenie”). Funkcja „śledzenie” skraca czas pomiaru punktu z 1,2 s do 0,4 s poprzez stałe obserwowanie lustra. Zasięg pomiaru waha się od 300 m przy pomiarze bezlustrowym na ciemne powierzchnie do 5500 m z wykorzystaniem pryzmatu dalekiego zasięgu. Ze względu na zastosowanie w konstrukcji serwowatorów odpowiedzialnych za obracanie instrumentu wokół własnej osi i zmienianie położenia lunety wszelkie pomiary wykonywane tym instrumentem jest w stanie wykonać jedna osoba. Zastosowana technologia umożliwia też zapamiętanie i śledzenie do

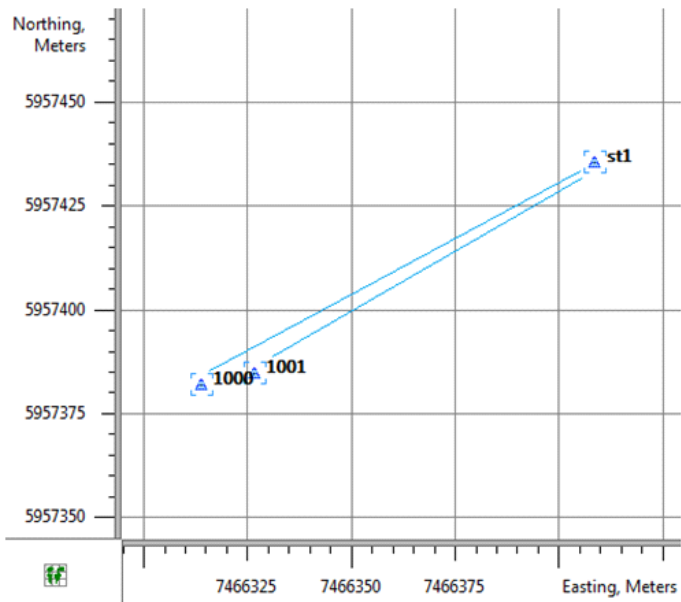
8 pryzmatów tradycyjnych, pasywnych lub zwierciadeł aktywnych, wykorzystując moduł identyfikacji celu pracujący na podczerwień. Tachimetr Trimble S6 wykorzystuje również dwuosiowy kompensator cieczowy do ciągłego korygowania osi celowej i osi obrotu instrumentu. Wykrywa on niespodziewane odchylenia instrumentu od pionu oraz koryguje błędy inklinacji i kolimacji. Obserwacje zapisywane są w rejestratorze TCS 3 połączonym z tachimetrem za pomocą wewnętrznego radiomodemu 2,4 GHz, w związku z czym sam tachimetr po rozstawieniu, spoziomowaniu i wprowadzeniu poprawek atmosferycznych jest praktycznie bezobsługowy. Rejestrator TSC 3 wyposażony jest w kolorowy, dotykowy wyświetlacz i pracuje pod kontrolą systemu Microsoft Windows Mobile. Szereg programów, w jakie producent wyposaża rejestrator, pozwala na obsługę zarówno instrumentów *totalstation*, jak i odbiorników GNSS, a także późniejsze prace kameralne związane z wykonanymi obserwacjami.

Odbiornik Trimble 5800 II to 26-kanalowy, dwuczęstotliwościowy, zintegrowany odbiornik GNSS, wyposażony w radiomodem UHF, współpracujący z rejestratorem TSC 3. Jego dokładność w trybie RTK to około 10 mm + 1 ppm RMS w poziomie i 20 mm + 1 ppm RMS w pionie. Wiarygodność inicjalizacji wynosi powyżej 99,9%. Posiada on także dwa kanały służące do wykorzystania w pomiarze systemu wspomagania obserwacji satelitarnych WAAS/EGNOS. Waga odbiornika zamontowanego na węglowej tyczce, wraz z lustrem i rejestratorem, to ok. 3,5 kg, co umożliwia sprawne poruszanie się z takim zestawem w terenie.

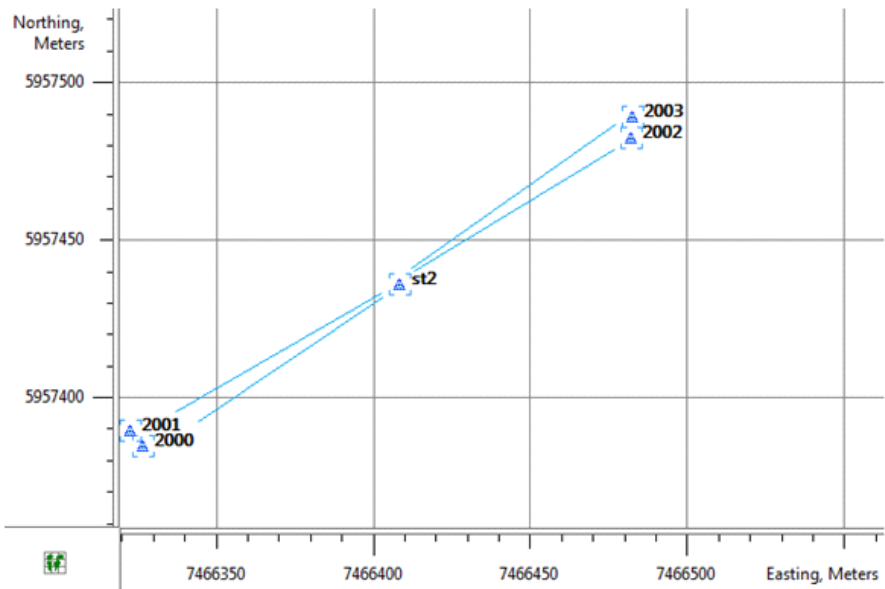
W pierwszym wariantcie wyznaczono pozycję tachimetru (st 1) z dwóch punktów (1000, 1001) umiejscowionych w odległości ok. 100 m od instrumentu, oddalonych od siebie nawzajem o 3-4 m (rys. 1). Taka konstrukcja wcięcia nie gwarantuje dokładnego wyznaczenia stanowiska tachimetru z powodu małej liczby obserwacji, ale jest wystarczająca do jego określenia i zorientowania instrumentu.

W drugim wariantcie wykorzystano cztery punkty nawiązania rozmieszczone parami po przeciwnych stronach tachimetru. Konstrukcję taką wykorzystuje się często podczas prac drogowych. Nasypy, wykopy, drzewa w skrajni jezdni powodują często, że jedyne możliwe do wyznaczenia wcięcia punkty muszą być umiejscowione w pobliżu obu stron drogi (rys. 2). Pozycja *totalstation*, z tak wykonanego wcięcia, została określona z błędem standardowym: 4 mm (X), 6 mm (Y) i 7 mm (H). Odchyłki na poszczególnych punktach nawiązania wynosiły poniżej 5 mm w poziomie i 17 mm w pionie. W wariantcie nr 3, w którym pomierzone zostały dodatkowo dwa punkty zlokalizowane w przybliżeniu w połowie odległości między parami punktów a tachimetrem (rys. 3), znacząco powiększył się błąd standardowy wyznaczenia poziomego ($m_x = 12$ mm, $m_y = 17$ mm, $m_H = 2$ mm). Mogło to być spowodowane niedokładnym wyznaczeniem punktu 3003, który w procesie wyrównania otrzymał największe poprawki — powyżej 2 cm w odniesieniu do odległości i powyżej 1° w stosunku do kierunku.

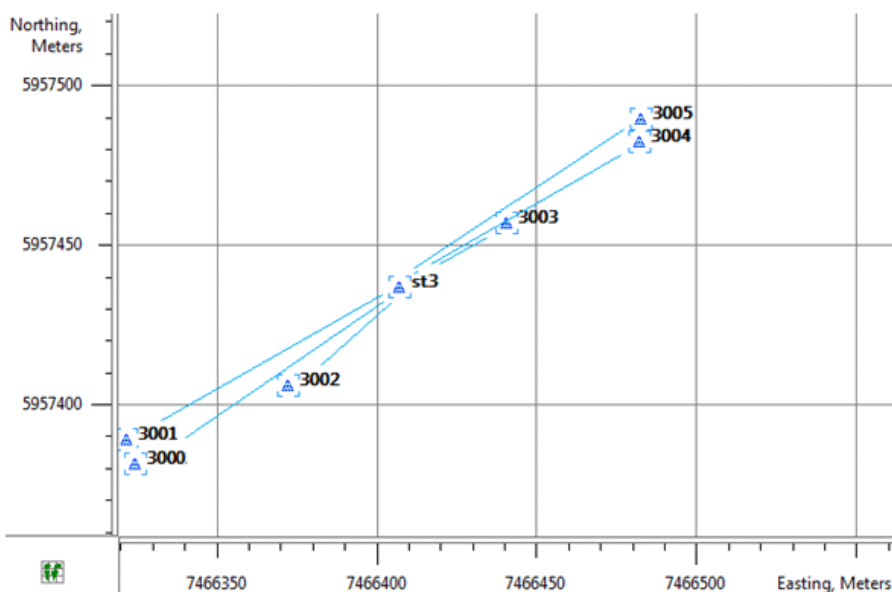
Algorytmy wyznaczania pozycji z wcięcia, zaprogramowane w rejestratorze Trimble, pozwalają również na wyłączenie dowolnego punktu nawiązania



Rys. 1. Kątowe wcięcie wstecz — wariant nr 1



Rys. 2. Kątowe wcięcie wstecz — wariant nr 2



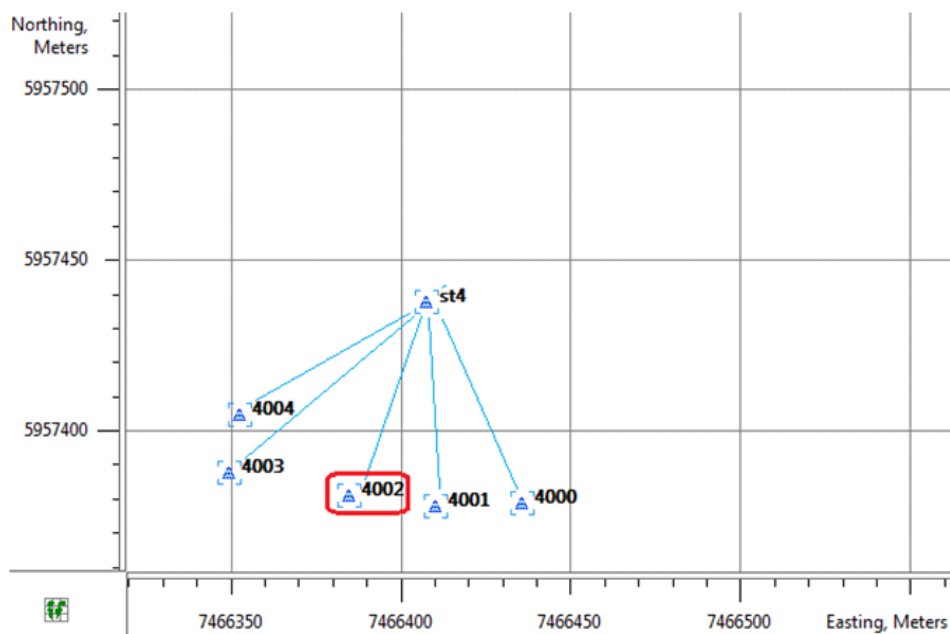
Rys. 3. Kątowe wcięcie wstecz — wariant nr 3

na podstawie odchyłek prezentowanych na bieżąco na ekranie. Wykorzystane zostało to w obliczaniu współrzędnych w wariancie czwartym, w którym użyto pięciu punktów nawiązania rozmieszczonych równomiernie w odległości ok. 60 m od stanowiska tachimetru (rys. 4). Po wyznaczeniu współrzędnych techniką RTK punktu 4002, tyczka została celowo przesunięta, zanim tachimetr dokonał pomiaru kierunku i odległości do przyzmatu. Tabela 1 przedstawia odchyłki na poszczególnych punktach nawiązania, przed wyłączeniem i po wyłączeniu z wyrównania punktu 4003.

TABELA 1

Wyrównanie z punktem 4002				Wyrównanie bez punktu 4002			
Punkt	ΔHA	ΔVA	ΔSD	Punkt	ΔHA	ΔVA	ΔSD
4000	-3,03 ^c	0,73 ^c	-0,303 m	4000	0,25 ^c	1,06 ^c	-0,007 m
4001	9,79 ^c	1,03 ^c	-0,161 m	4001	-0,14 ^c	1,17 ^c	0,012 m
4002	-10,55^c	-0,84 ^c	-0,066 m	4002	-	-	-
4003	-0,07 ^c	-0,07 ^c	0,178 m	4003	-1,00^c	-0,37 ^c	0,012 m
4004	3,86 ^c	-1,67 ^c	0,236 m	4004	0,89 ^c	-2,04 ^c	0,013 m

Nietrudno zauważyć, że błędnie pomierzony został punkt 4002, na którym poprawka kierunku wyniosła ponad 10^c. Po wyłączeniu tego punktu z wyrównania, maksymalna odchyłka nie przekraczała 1^c. W celach badawczych wyrównano wcięcie



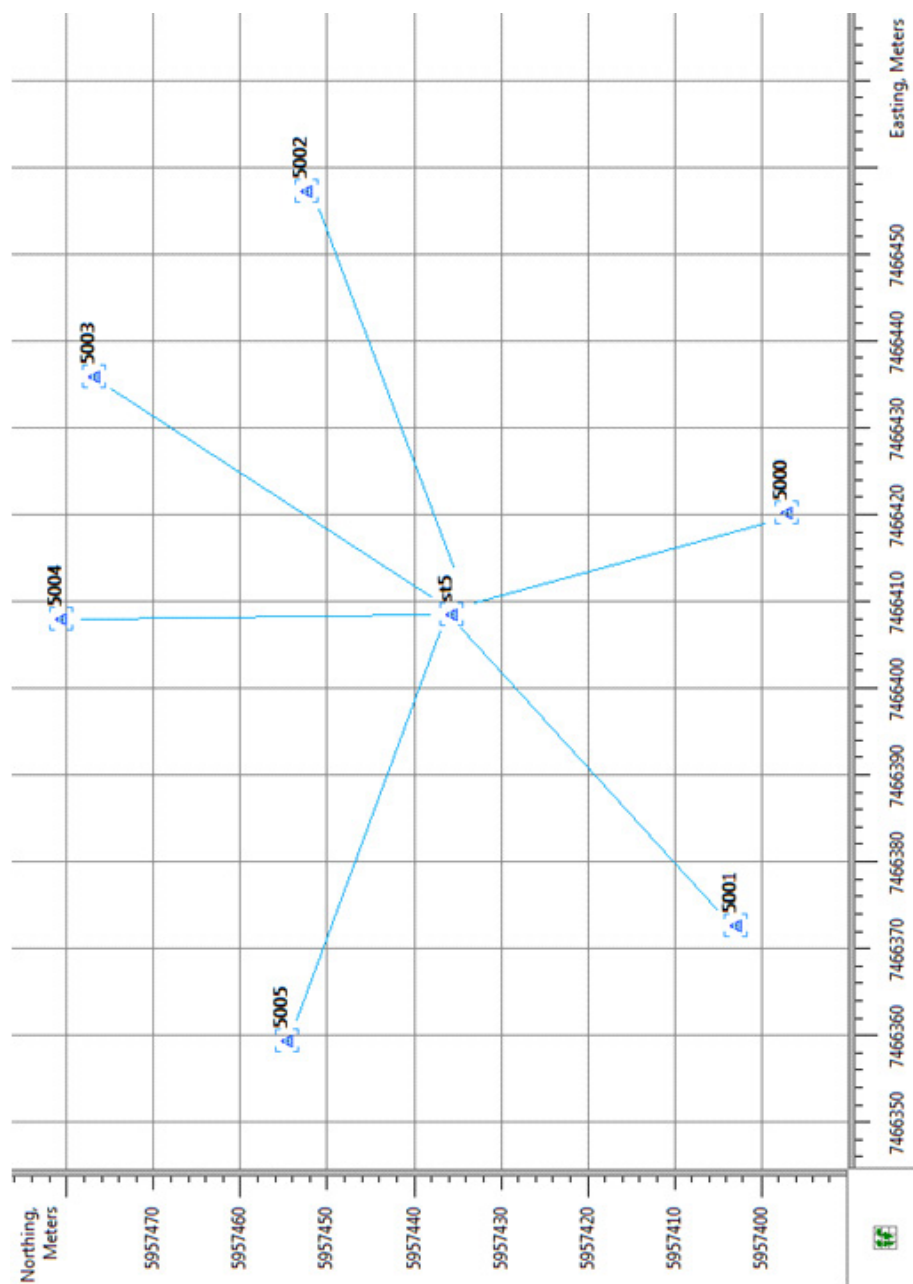
Rys. 4. Kątowe wcięcie wstecz — konstrukcja nr 4

bez wyłączenia punktu 4002, otrzymując wyniki obarczone błędem standardowym równym: $m_X = 0,082$ m, $m_Y = 0,150$ m, $m_H = 0,006$ m.

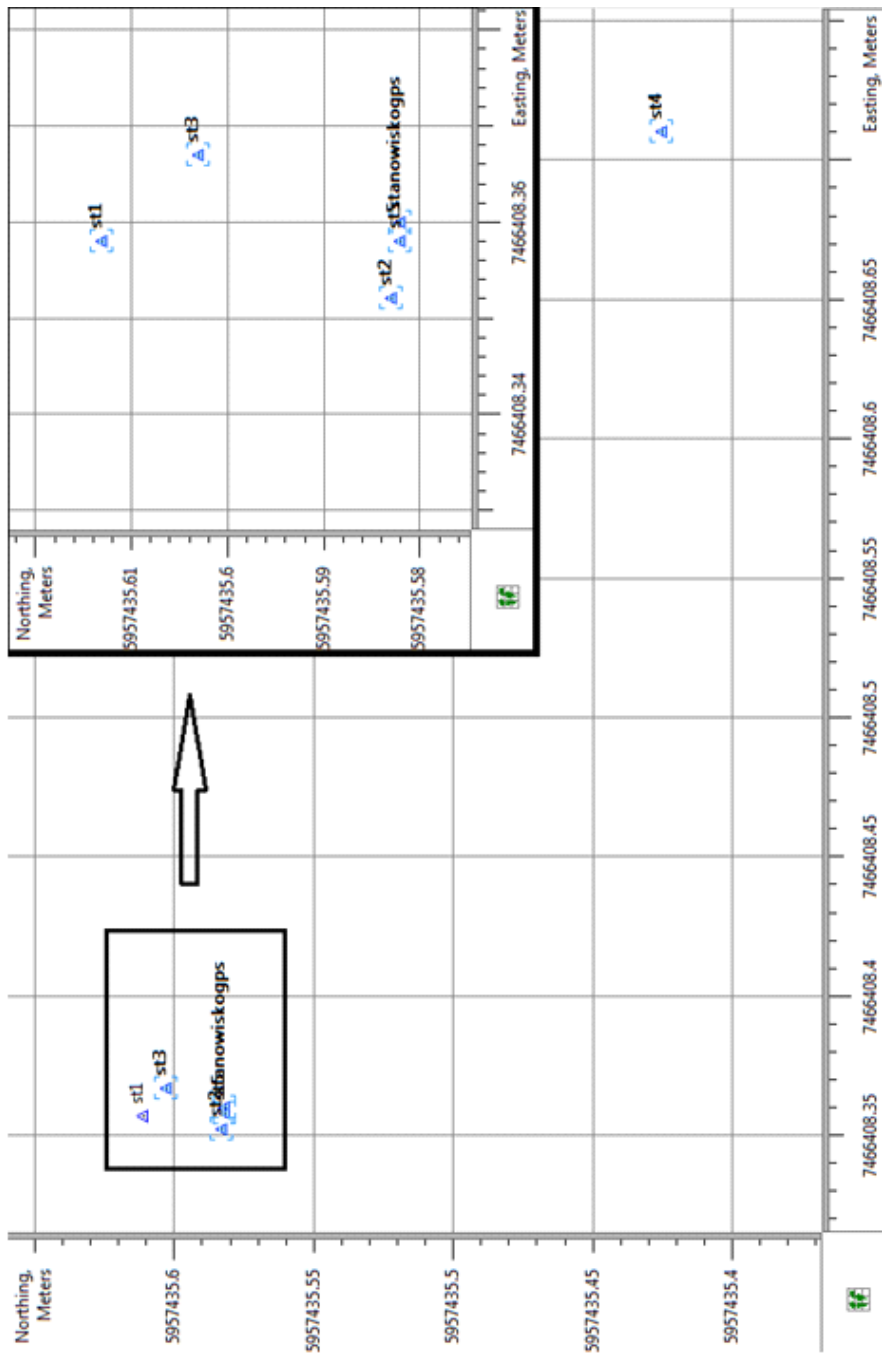
W ostatnim wariantcie wcięcia wykorzystano teoretycznie najkorzystniejsze rozłożenie sześciu punktów nawiązania. Punkty te umiejscowione zostały równomiernie z każdej strony stanowiska (6). Długości celowych były w przybliżeniu równe (ok. 50 m).

Taka konstrukcja wcięcia, mimo stosunkowo krótkich celowych, pozwoliła na wyznaczenie stanowiska tachimetru z błędem standardowym rzędu 1 mm w poziomie i 3 mm w pionie.

W tabeli 2 przedstawione zostały obliczone przy pomocy wcięcia współrzędne stanowiska w układzie 2000/21. Tabela 3 oraz rysunek 6 przedstawiają różnice pomiędzy poszczególnymi wyznaczeniami, przyjmując jako punkt referencyjny „stanowiskogps” wyznaczone przy pomocy półgodzinnego pomiaru statycznego. Nazwy st1, st2, st3, st4, st5 odnoszą się do stanowiska tachimetrycznego, wyznaczonego przy pomocy kolejnych konstrukcji wcięć. Położenie tego stanowiska było jednakowe dla każdego wariantu.



Rys. 5. Kątowe wcięcie wstecz — konstrukcja nr 5



Rys. 6. Pozycje tachimetru wyznaczone przy pomocy różnych konstrukcji wcięcia

TABELA 2

Współrzędne stanowiska tachimetru wyznaczone z różnych konstrukcji wcięcia

	X	Y	H	m_x	m_y	m_H
stanowiskogps	5957435,582	7466408,360	116,552	0,007		0,009
st1	5957435,613	7466408,358	116,542	0,013	0,008	0,003
st2	5957435,583	7466408,352	116,529	0,004	0,006	0,007
st3	5957435,603	7466408,367	116,553	0,012	0,017	0,002
st4	5957435,425	7466408,710	116,550	0,082	0,150	0,006
st5	5957435,582	7466408,358	116,529	0,001	0,000	0,003

TABELA 3

Różnice współrzędnych wyznaczonych stanowisk tachimetru

Punkty	Stanowiskogps		
	X	Y	H
st1	-0,031	0,002	0,010
st2	-0,001	0,008	0,023
st3	-0,021	-0,007	-0,001
st4	0,157	-0,350	0,002
st5	0,000	0,002	0,023

Zgodnie z przewidywaniami, najdokładniejszą pozycję w poziomie osiągnięto, wyznaczając stanowisko w wariancie nr 5. Brak reguły odnośnie do różnic wysokości pomiędzy poszczególnymi wyznaczeniami oznacza, że największy wpływ na wyznaczenie tej współrzędnej ma dokładność pomiaru RTK na punktach nawiązania, niezależnie od obranej konstrukcji wcięcia. W pracach geodezyjnych, których wyznaczenie wysokości wymaga dokładności wyższej niż 3 cm, konieczne staje się dodatkowe przeniesienie wysokości z reperu. Funkcja taka znajduje się w opcjach programu „wcięcie”, zaimplementowanego w rejestratory. Celowe przesunięcie tyczki w wariancie 4 spowodowało odchyłkę od pozycji referencyjnej przekraczającą 15 cm na osi X i 35 cm na osi Y. Podobnie program wyznaczenia wcięcia zachowa się w przypadku błędnej inicjalizacji bądź nieumyślnego przesunięcia tyczki przy pomiarze punktu nawiązania. Dokładność wyznaczenia współrzędnych w wariantach nr 2 i 3, choć niższa niż obliczona przy pomocy konstrukcji optymalnych, w zupełności wystarczy do wykonania pomiaru sytuacyjno-wysokościowego, o celowych krótszych niż odległość tachimetru do punktów nawiązania.

5. Podsumowanie

Celem niniejszej pracy było zaprezentowanie idei zintegrowanych pomiarów klasycznych i GPS, opisanie podstawowych warunków koniecznych do spełnienia przy wykorzystaniu tej metody, a także przybliżenie możliwych zastosowań technologii pomiarów zintegrowanych.

Przytoczone w rozdziale 1 i 2 opisy klasycznych metod pomiaru i technik satelitarnych, oraz późniejsze skonfrontowanie ich ze zintegrowanymi metodami pomiaru, pozwalają określić techniki zintegrowane jako kolejny krok w rozwoju geodezji. Metody zintegrowane łączą najlepsze cechy pomiaru GNSS, jako metody szybkiej, niezależnej od osnów klasycznych, z zaletami pomiaru tachimetrycznego, do których zaliczyć można najwyższą precyzję i możliwość pomiaru w terenach zabudowanych, zadrzewionych itp. Ponadto odwołania do nowego rozporządzenia MSWiA z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie wykonywania prac geodezyjnych i kartograficznych, geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowania i przekazywania wyników tych pomiarów do PZGiK, wskazują technologię pomiarów zintegrowanych jako metodę w pełni spełniającą wymogi nowych standardów, gwarantując uzyskanie dokładności wyższych od narzuconych w przepisach.

LITERATURA

- [1] C. HILL, *Integration of GPS and total station Technologies*, PositionIT May/June 2008, 29-32.
- [2] C. MEKIK, M. ARSLANOGLU, *Investigation on Accuracies of Real Time Kinematic GPS for GIS Applications*, Remote Sensing, 1, 1, 2009, 22-35.
- [3] K. CZARNECKI, *Geodezja współczesna w zarysie*, Wydawnictwo Gall, Katowice, 2011.
- [4] A. REITDORF, CH. DAUB, P. LOEF, *Precise Positioning in Real-Time using Navigation Satellites and Telecommunication*, Proceedings of The 3rd Workshop on Positioning and Communication (WPNC'06).
- [5] T. LAZZARINI, *Geodezja: Geodezyjna osnowa szczegółowa*, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych im. E. Romera, Warszawa, 1990.
- [6] G. KRZAN, *Technologia zintegrowanych pomiarów klasycznych i satelitarnych GPS*, praca magisterska, 2011.

Strony internetowe:

<http://www.asgeupos.pl>, 2012.06.24.

Akty prawne:

Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 9 listopada 2011 roku w sprawie wykonywania prac geodezyjnych i kartograficznych, geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowania i przekazywania wyników tych pomiarów do PZGiK (Dz.U. Nr 263, poz. 1572).

G. KRZAN

Technology of classical and satellite integrated measurement

Abstract. Integration of classical and satellite measurement techniques is becoming widely used for high-precision geodetic measurements. Combination of advantages of both methods of measurement represents another step in performance and automation of field surveys. This article presents the idea and main characteristics of integrated measurement. It also compares integrated measurements with separated methods of classical and satellite measurements. In addition, the process and results of determining operating position by 3D resection were demonstrated. The obtained results allow us to undermine validity of setting up measurement control networks in areas with insufficient density of survey points.

Keywords: Engineering Surveying, GPS, tacheometry, Smart Station, integrated measurements

