

Cezary Specht, Władysław Koc, Aleksander Nowak, Jacek Szmagliński

Ciągłe pomiary satelitarne układu linii tramwajowych w Gdańsku

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny wzrost zainteresowania inwestycjami w komunikację tramwajową. W całej Polsce dokonywane są zakupy nowoczesnych niskopodłogowych tramwajów oraz modernizuje się istniejące i buduje nowe odcinki tras. Już w latach 80. XX w. postulowano budowę tramwaju szybkiego, bezkolizyjnego lub z priorytetem ruchowym, jako doskonałej alternatywy dla transportu indywidualnego. Aby osiągnąć postawiony cel w postaci podniesienia prędkości średniej (handlowej) z około 18 do 25–28 km/h (która to prędkość zbliża się do średniej prędkości komunikacyjnej transportu indywidualnego w centrach miast [16]), należy rozważyć również kwestię podniesienia jakości, zarówno projektowania, jak też wykonawstwa tras tramwajowych.

Stosowane obecnie klasyczne techniki geodezyjne w kształtowaniu i utrzymaniu drogi szynowej, dzięki niewątpliwemu postępowi technologicznemu, umożliwiają bardzo dokładne określanie odległości i kątów. Współczesne tachimetry elektroniczne umożliwiają określanie odległości z dokładnościami $\pm(1 \text{ mm} + 1 \text{ mm/km})$ do $\pm(5 \text{ mm} + 5 \text{ mm/km})$, a zasięg pomiaru odległości przy zastosowaniu lustra wynosi od 0,7 do 7 km [9]. Jednak najpoważniejszym problemem w zastosowaniu metod klasycznych jest konieczność operowania w lokalnych układach odniesienia. Z uwagi na znaczne długości odcinków, układy tras kolejowych i tramwajowych muszą być dzielone na mniejsze elementy, co powoduje powstawanie i przenoszenie się błędów, a także utrudnia całościową ocenę trasy.

Wraz z rozwojem alternatywnych metod pomiarowych, z wykorzystaniem sygnału satelitarnego (GPS, *Glonass* etc.) [17], pojawiła się możliwość oceny układu geometrycznego trasy w całości, w globalnym układzie odniesienia. Okazuje się również, że – lokalnie mniej dokładne od klasycznych – metody *Real Time Kinematic* (RTK) dają w globalnym ujęciu kilkukrotnie lepsze wyniki [3]. Pomiary RTK są jednak czasochłonne i nie pozwalają na uzyskanie odpowiedniej dokładności, gdyż wykonywane są w odstępach co kilkadziesiąt metrów, a rejony między punktami pomiarowymi określa się na drodze interpolacji. Możliwość uzyskania odpowiedniej efektywności pomiaru daje opracowana przez zespół naukowy Politechniki Gdańskiej i Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni metoda ciągłych pomiarów satelitarnych GNSS.

Rozwój techniki pomiarowej GNSS

Dominującym obecnie trendem światowym jest uruchamianie, przez organa do spraw geodezji poszczególnych państw, aktywnych sieci narodowych, z przeznaczeniem oferowania użytkownikom odpłatnych lub nieodpłatnych usług (serwisów), w tym również czasu rzeczywistego [2, 4, 5]. Dołączając do tej grupy, polski Główny Urząd Geodezji i Kartografii podjął się realizacji Aktywnej Sieci Geodezyjnej ASG-EUPOS, będącej narodową sie-

cią permanentnych stacji GNSS, oferującą serwisy dla geodezji i nawigacji [1]. Inwestycję przeprowadzoną na obszarze całego kraju zrealizowano do kwietnia 2008 r., a zakończyły ją pomyślnie testy serwisów i infrastruktury teleinformatycznej [18].

Aplikacja pomiarów fazowych (geodezyjnych) GNSS do inwentaryzacji dróg szynowych natrafia na szereg ograniczeń, spośród których jako zasadnicze należy uznać częściowe ograniczenie odbioru sygnałów GNSS wynikające z tzw. przeszkód terenowych, wpływających na wartość współczynnika geometrycznego DOP. O ile na otwartej przestrzeni obecna konstelacja GPS/Glonass zapewnia bardzo dobrą geometrię segmentu kosmicznego, to w warunkach zurbanizowanych, górzystych bądź leśnych zaobserwowano okresowe trudności w uzyskaniu precyzyjnego rozwiązania fazowego, czy nawet kodowego [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Wynika stąd uzasadniony wniosek, że pomiary satelitarne muszą być uzupełniane innymi metodami pomiarowymi, niezależnymi od widoczności satelitów. Wstępne analizy i badania wskazują na możliwość uzupełnienia GNSS pomiarami inercyjnymi (INS) i laserowymi oraz powiązanie tak uzyskanych współrzędnych lokalnych z pomiarami GNSS. Na otwartej przestrzeni pozwoli to na uzyskanie nadmiarowej informacji pozwalającej uniknąć błędów grubych wyznaczeń GNSS, a w warunkach niekorzystnej geometrii segmentu kosmicznego, bądź braku wystarczającej liczby satelitów, na kontynuowanie pomiarów z wymaganą dokładnością i zapewnienie w ten sposób wysokiej dostępności, niezawodności, ciągłości i wiarygodności wyznaczeń.

Zespół zajmujący się satelitarnymi badaniami inwentaryzacyjnymi dróg szynowych oraz dostosowanym do tej techniki pomiarowej projektowaniem ich układów geometrycznych został utworzony w Politechnice Gdańskiej i Akademii Marynarki Wojennej w 2009 r. W jego skład weszli pracownicy naukowcy Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska PG – Katedry Inżynierii Kolejowej (obecnie Katedry Transportu Szynowego) i Zakładu (obecnie Katedry) Geodezji oraz Instytutu Nawigacji i Hydrografii Morskiej AMW. Pierwsze badania zrealizowano w 2009 r. na odcinku linii kolejowej Kościerzyna – Kartuzy (linie 201 i 214), kolejne kampanie pomiarowe przeprowadzono w 2010 r. na odcinku Gdańsk Główny – Gdańsk Zaspas Towarowa (linia 249) oraz na trasie Gdańsk Osowa – Somonino (linia 201).

W latach 2009–2010 do wyznaczenia współrzędnych przebiegu trasy kolejowej wykorzystywano różne konfiguracje fazowych odbiorników GNSS, obejmujące ich liczbę i rozmieszczenie na platformie pomiarowej. Pierwsze pomiary (w 2009 r.) wykorzystywały układ 4 urządzeń GPS umieszczonych w równoległoboku na przecięciach osi zestawów kołowych i toków szynowych [8]. Badania te wykazały, że elementem decydującym o dokładności wyznaczeń współrzędnych były przesłony terenowe (dostępność pozycji z błędami poniżej 5 cm wynosiła ok. 50%). W kolejnych pomiarach, w 2010 r., poszukując optymalnej lokalizacji instrumentów, rozmieszczono 3 odbiorniki systemu GPS w diametralnej wózka pomiarowego (nad osiami zestawów koło-

wych). Próby wykazały zbliżone dostępności i dokładności segmentu kosmicznego GPS dla wszystkich jednostek pomiarowych, lecz nadal poziom uzyskiwanych dostępności wyznaczeń dla wartości błędu pomiaru mniejszego niż 5 cm osiągał niezadowalające wartości (ok. 60–70%).

Po szczegółowej analizie warunków realizacji pomiarów przeprowadzonych w latach 2009–2010 na ok. 100 km tras kolejowych, zdecydowano się gruntownie zweryfikować metodykę badań; w wyniku tego:

- zrezygnowano z realizacji pomiarów w czasie rzeczywistym przy wykorzystaniu sieci ASG-EUPOS ze względu na istniejące przerwy w pracy sieci związane z przesyłaniem korekt pseudoodległościowych GPS; w godzinach południowych znaczna liczba użytkowników skutkowało ich odłączaniem od serwisu pakietowej transmisji danych (GPRS);
- niestabilność pracy sieci ASG-EUPOS skłoniła autorów do decyzji o rezygnacji z pomiarów w czasie rzeczywistym; postanowiono realizować je w *postprocessingu*, dzięki czemu opracowanie wyników dawało większą swobodę wykorzystania sygnałów różnych stacji referencyjnych;
- celem podniesienia dokładności wyznaczenia współrzędnych związanych bezpośrednio z dostępną liczbą satelitów GPS, zdecydowano się na realizację pomiarów z wykorzystaniem dwusystemowych odbiorników GNSS, wykorzystując w ten sposób sygnały dwóch systemów satelitarnych: GPS i Glonass;
- aby móc zastosować odbiorniki dwusystemowe, zdecydowano się na wykorzystanie lokalnej stacji GPS/Glonass, bowiem sieć ASG-EUPOS nie posiada możliwości przesyłania korekt do odbiorników dwusystemowych; lokalna stacja referencyjna powinna być zlokalizowana w rejonie prowadzenia pomiarów (w odległości do 10 km).

Przyjmując przedstawione założenia, w lutym 2012 r. zrealizowano kampanię pomiarową inwentaryzacji linii tramwajowych w Gdańsku [19].

Realizacja pomiarów na sieci tramwajowej w Gdańsku

Inwentaryzację linii tramwajowych w Gdańsku przeprowadzono przy użyciu dwóch odbiorników Leica – GS 15 oraz GS 12 z kontrolerami CS-15. Układ taki pozwala na uzyskanie dokładności w trybie kinematycznym RTK (pomiar fazowy) w poziomie: 10 mm + 1 ppm (rms) oraz w pionie: 20 mm + 1 ppm (rms). W celu zwiększenia tej dokładności zdecydowano się na realizację badań z wykorzystaniem stacji referencyjnej Politechniki Gdańskiej, do transmisji poprawek różnicowych GPS/Glonass. Ponadto dokonywano zapisu danych dla *postprocessingu*.

Zespół pomiarowy składał się z wagonu silnikowego i dwóch wagonów doczepnych, na których zamontowano anteny wraz z kontrolerami. Jako wagon silnikowy wykorzystano tramwaj N8C MF-01 1151 Zakładu Komunikacji Miejskiej w Gdańsku. Jest to pojazd produkcji niemieckiej firmy Düwag, wyprodukowany w 1983 r. Tramwaj eksploatowany był w Dortmundzie (przełożnik DSW-21) i sprowadzony do Gdańska w 2011 r. po modernizacji w firmie Modertrans Poznań. Wagon jest dwustronny, dwukierunkowy, wyprodukowany jako wysokopodłogowy, po modernizacji otrzymał część niskopodłogową ułatwiającą poruszanie się osobom o ograniczonych możliwościach ruchowych. Długość tramwaju wynosi 26 640 mm, wysokość bez odbieraka prądu 3306 mm, szerokość 2330 mm, układ osi B'2'2'B'. Wagon napę-

dzony jest dwoma silnikami szeregowymi prądu stałego o mocy 150 kW każdy i wyposażony w samoczynny rozruch tyrystorowy GTO. Prędkość maksymalna określona przez producenta to 70 km/h, jednak pojazd wyposażony jest w elektroniczne ograniczenie prędkości do 60 km/h.

Z użytkowanych liniowo i technicznie wagonów możliwe było wykorzystanie następujących typów tramwajów: Konstal N (ruch wyłącznie techniczny, lata produkcji 1948–1956), Konstal 105Na (lata produkcji 1979–1992), Pesa 120NaG (produkowany od 2010 r.) oraz Düwag N8C (lata produkcji 1978–1986). Wybór ostatniego rodzaju wagonu został podyktowany następującymi względami:

- pomiar musiał odbywać się ze stałą prędkością około 15 km/h, co za tym idzie wykorzystanie wagonu 105Na z rozruchem oporowym byłoby niewskazane z uwagi na możliwość wystąpienia awarii związanej z przegrzaniem rozrusznika GBT-373, podczas ciągłej jazdy na pozycjach oporowych;
- wagony serii N nie są wyposażone w prędkościomierz, co utrudniałoby utrzymanie stałej prędkości;
- tramwaje najnowszej serii 120NaG nie mogą poruszać się po zdegradowanym torze na trasie Centrum – Stogi.

Jako wagony doczepne wykorzystano dwa wózki przedwojennego tramwaju serii 300 (rys. 1). Był to tramwaj silnikowy, dwustronny, dwukierunkowy, o obniżonej podłodze w części środkowej. Wyprodukowany został w 1930 r. w Waggonfabric Danzig (dzisiejsza Stocznia Północna w Gdańsku), z wyposażeniem elektrycznym AEG.



Rys. 1. Tramwaj serii 300, 303 + doczeпа na nieistniejącej dzisiaj krawężnicy przy parku w Oliwie (fotografia ze zbiorów p. Sigurda Hilkenbacha, udostępniona dzięki uprzejmości Sebastiana Zomkowskiego)

Wagony zostały zełomowane, a wózki pozbawione napędu wykorzystywano do prac torowych (przewóz elementów nawierzchni). Przez ostatnie lata stały nieużywane, powoli niszcząc. Największą zaletą wózków była ich duża masa, która wraz z praktycznym brakiem odsprężynowania zapewniła dokładne osiowe prowadzenie środka pojazdu (brak przechyłów na nierównościach), jak również niskie ułożenie górnej powierzchni blachy, co zmniejszało wpływ przesunięcia osi anteny względem osi toru podczas pokonywania łuków z przechyłką. Na potrzeby jednorazowej akcji nie zdecydowano się na remont uszkodzonej instalacji elektrycznej (również wóz silnikowy nie był przystosowany do przekazywania napięcia do oświetlenia pozycyjnego), dlatego zdecydowano się na zainstalowanie obrotowej lampy sygnalizacyjno-ostrzegawczej, zasilanej z akumulatora samochodowego (typowe lampy dostępne na rynku dostosowane są do napięcia 12 V, podczas gdy napięcie pokładowe tramwaju to 24 V).

Przeprowadzone pomiary satelitarne torów tramwajowych na terenie Gdańska, w terenie zabudowanym, pozytywnie zweryfikowały przyjęte założenia. Badania wykazały, że dokładność określenia współrzędnych pozycji w pomiarach 2D osiąga wielkość poniżej 1 cm dla pomiarów GNSS opartych o dwusystemowe rozwiązanie GPS/Glonass. Rozwiązanie 3D nieznacznie tylko zwiększa wartość oczekiwaną (o ok. 1 cm).

Stwierdzono znaczne różnice między dostępnością rozwiązań sieciowych obu odbiorników, sięgające 11,5%. Odbiornik umieszczony bliżej kabiny statystycznie częściej tracił możliwość realizacji rozwiązania sieciowego, ze względu na przestanianie horyzontu przez tramwaj. Ponieważ oba odbiorniki pod względem technicznym należy uznać za identyczne, należy stąd wyciągnąć wniosek, że dla sygnałów GPS/Glonass nawet stosunkowo nieduża przestona, pomimo bardzo wysokiej średniej liczby satelitów rejestrowanych podczas obserwacji, może być przyczyną istotnego zmniejszenia dostępności.

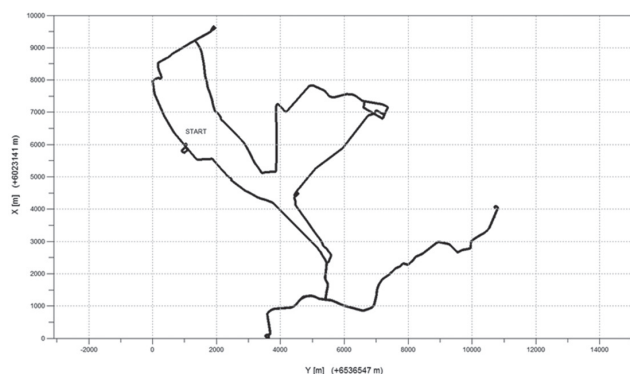
Wykazana znacząca różnica w dostępności rozwiązań GPS/Glonass skutkuje koniecznością wskazania obszarów miasta, w których nie było możliwe zrealizowane rozwiązania RTK. Analiza przyczyn utraty sygnałów GNSS, umożliwiających uzyskanie rozwiązania fazowego GNSS (GPS/Glonass), prowadzi do konkluzji, iż w zabudowie miejskiej można wyróżnić cztery typy zabudowy, skutkujące problemami z rozwiązaniem RTK nawet dla GPS/Glonass:

- zróżnicowany typ niskiej zabudowy przemysłowej połączony z rozwiniętą przyległą roślinnością (zadrzewieniem);
- gęsta roślinność (zadrzewienie) przylegające bezpośrednio do wąskich ulic aglomeracji miejskiej, pozbawionych zabudowy budowlanej;
- wysoka zabudowa miejska, pozbawiona roślinności, przylegająca do szerokich ulic;
- niska zabudowa miejska przylegająca do bardzo wąskich dróg komunikacyjnych.

Występowanie wymienionych miejsc utraty sygnałów powoduje konieczność podjęcia działań zmierzających do stworzenia odpowiedniej dokumentacji fotograficznej.

Prezentacja uzyskanych wyników

Współrzędne trasy tramwajowej wyznaczono w układzie odniesienia WGS 84, a następnie, za pomocą oprogramowania Leica Geo Office 8.2., przetransponowano do państwowego układu odniesień przestrzennych 2000. Na ich podstawie dokonano wizualizacji przebiegu pomierzonej trasy za pomocą opracowanego programu SATTRACK (moduł TRACK_VIS [7]), działającego



Rys. 5. Układ sieci tramwajowej w Gdańsku uzyskany na podstawie pomiarów satelitarnych

w środowisku Scilab [20]. Uzyskany układ linii tramwajowych przedstawiono na rysunku 5.

Na pokazanym na rysunku 5 układzie sieci tramwajowej w Gdańsku brakuje kilku odcinków: Brama Oliwska – Centrum, Hucisko – Siedlce, Brzeźno – Brzeźno Plaża – ul. Gdańska, Opera Bałtycka – Mickiewicza oraz Węzeł Kliniczna – Wyspiańskiego, których z uwagi na ograniczenia czasowe nie udało się pomierzyć. Nie występuje tam również trasa Chełm – Łostowice, która w czasie dokonywania pomiarów była jeszcze w trakcie budowy. Problemy z dostępnością najdokładniejszych rozwiązań fazowych zaobserwowano w szczególności w obszarach zalesionych (Stogi Plaża), wąskich ulicach z kilkupiętrową zabudową pierzejową (Nowy Port), obszarach o wysokiej zabudowie wielorodzinnej (bloki dziesięciopiętrowe) przylegającej do toru w szpalerze drzew (Żabianka) oraz na terenie zajezdni tramwajowej (przesłony budynków przemysłowych oraz gęsta roślinność).

Przeprowadzone pomiary umożliwiają dokładne odwzorowanie odcinków prostych, określenie początków i końców łuków kołowych oraz wielkości ich promieni. Na rysunku 6 przedstawiono przykład analizowanego rejonu trasy – pętlę Chełm Witosza.

Za celowe uznano również sprawdzenie możliwości wykonania prac koncepcyjnych z użyciem ogólnodostępnych narzędzi (program Google Earth), pozwalających na naniesienie punktów w globalnym układzie odniesienia, na mapy lotnicze obszaru. Okazało się, że dokładność dopasowania map do rzeczywistych współrzędnych jest znakomita (rys. 7). Wyniki pomiarów, przetworzone przez program, pokryły się z osią toru tramwajowego na fotografii. Za pomocą narzędzi do projektowania można więc pokusić się o stworzenie trasy o przebiegu korzystniejszym geometrycznie oraz bardzo łatwe sprawdzenie, jak duże prace wiązałyby się z poprawą jakości toru.

Podsumowanie

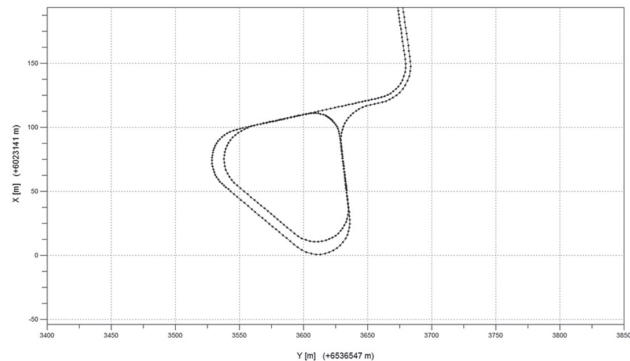
Prowadzone od kilku lat badania w zakresie kształtowania geometrycznego toru kolejowego pozwoliły na określenie optymalnej metodyki prowadzenia pomiarów. Uzyskiwane dostępności rozwiązań typu kodowego stanowią wciąż jednak istotną część wyznaczeń współrzędnych podczas przejazdu. Brak rozwiązania RTK, wykazany dla wspólnych obszarów obejmowanych przez oba odbiorniki GNSS, jest ściśle związany z przestonami terenowymi. Częściowym rozwiązaniem problemu dla takich odcinków może być predykcja dogodnej konfiguracji satelitów.

W czasie kolejnych pomiarów celowe będzie zastanowienie się nad lepszym wykorzystaniem dostępności satelitów. Okazuje się, że w czasie analizy tego samego odcinka (Nowy Port), podczas pierwszego przejazdu zarejestrowano bardzo duże problemy z dostępnością rozwiązań fazowych (najdokładniejszych), za to podczas kolejnego przejazdu (10 minut później) dostępność satelitów była dużo lepsza i pomiar został przeprowadzony dokładnie. Należy odpowiednio zaplanować czas prowadzenia pomiarów na odcinkach szczególnie narażonych na możliwości zakłóceń, z wykorzystaniem almanachu (zbioru danych efemerydycznych pozwalających na przewidzenie położenia satelitów). Często bowiem niewielkie, kilkuminutowe opóźnienie rozpoczęcia pomiaru na określonym odcinku może dostarczyć dużo lepszych danych pomiarowych.

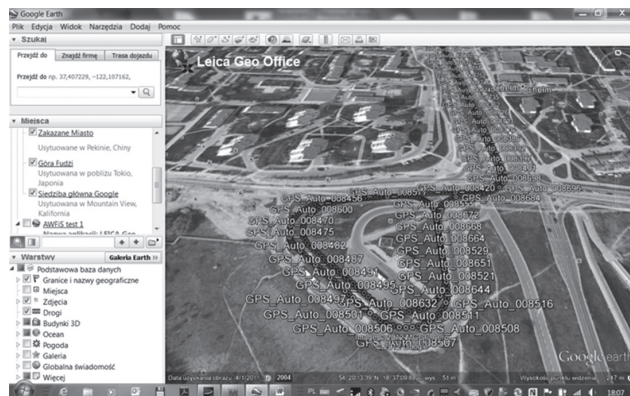
Nie wszystkie stacje referencyjne sieci ASG–EUPOS mają odbiorniki dwusystemowe, ograniczając w ten sposób możliwość przesyłania poprawek tylko do amerykańskiego systemu nawiga-

cyjnego. Wykorzystana stacja referencyjna Politechniki Gdańskiej, znajdująca się 2,5 km od stacji referencyjnej GDAN ASG-EUPOS, pozwoliła nie tylko na odbiór poprawek dla systemów GPS i Glonass, lecz także na opracowanie zebranego dużego zbioru danych w *postprocessingu*. Dostępność tak blisko położonej stacji pozwoliła na określenie współrzędnych w pomiarach 2D i 3D na zadowalającym poziomie.

Uzyskane w czasie kampanii pomiarowej wyniki mogą zostać wykorzystane w pierwszej kolejności do wykonania całościowej inwentaryzacji sieci tramwajowej. Przy użyciu programu SAT-TRACK można z łatwością oddzielić odcinki proste od łukowych, określić niezbędne parametry, takie jak promienie łuków czy długości krzywych przejściowych, następnie połączyć dane w całościowy model sieci tramwajowej. Moduł projektowy programu, określony nazwą TRACK_DESIGN [6], umożliwia projektowanie nowych przebiegów trasy, które mogą być korzystniejsze od istniejących, a możliwość prostego eksportu plików i wizualizacja w Google Earth pozwoli na ocenę inwazyjności proponowanych rozwiązań w istniejącą sieć drogową czy też zabudowę. Takie nowoczesne narzędzie inwentaryzacyjno–projektowe pozwoli uprościć proces opracowywania koncepcji optymalizowania kształtu układu geometrycznego linii tramwajowych.



Rys. 6. Wizualizacja pętli tramwajowej Chelmu Witosa



Rys. 7. Punkty pomiarowe nałożone na ortofotomapę przy użyciu oprogramowania Google Earth – pętla Chelmu Witosa

Literatura

[1] Baran L. W., Oszczak S., Zieliński J. B.: *Wykorzystanie technik kosmicznych w geodezji i nawigacji w Polsce*. Nauka 2008, nr 4.

[2] Cord-Hinrich J.: *SAPOS-Part of a Geosensors Network*. Symposium on Global Navigation Satellite Systems. Berlin, Germany 2008.

[3] Gocał J.: *Wybrane technologie pomiarów inżynierskich oparte na wykorzystaniu instrumentów elektronicznych*. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Prace Instytutu Geodezji i Kartografii, tom XLVIII, zeszyt 102, 2001.

[4] Greaves M., Fane C., Cruddace P., Bingley R., Baker D.: *National Report of Great Britain*. EUREF 2003.

[5] Hedling G., Jonsson B, Lilje Ch., Lilje M.: *SWEPOS – The Swedish Network of Permanent GPS Reference Station (Status February 2001)*. FIG Working Week 2001. Seoul, Korea 2001.

[6] Koc W., Chrostowski P.: *Program komputerowy do projektowania zmiany kierunku trasy kolejowej*. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej Oddział w Krakowie, seria: Materiały Konferencyjne, nr 3 (zeszyt 99), Kraków 2012.

[7] Koc W., Chrostowski P.: *Wizualizacja przebiegu trasy kolejowej na podstawie pomiarów satelitarnych*. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, Budowa i Utrzymanie Infrastruktury w Transporcie Szynowym INFRASZYN 2011”. Zakopane 2011.

[8] Koc W., Specht C., Nowak A., Jurkowska A., Chrostowski P., Lewiński L., Bornowski M.: *Określanie przebiegu trasy kolejowej na drodze pomiarów satelitarnych*. II Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym INFRASZYN 2009”. Zakopane 2009.

[9] Kosiński W.: *Geodezja*. PWN. Warszawa 2010.

[10] Nowak A.: *Influence of pseudorange measurement errors and space segment geometry on GPS fixes distribution*. Advances in Computer Science – Network Centric Warfare. Gdynia 2009.

[11] Nowak A.: *Protection level of “Snapshot” RAIM methods in poor geometry of satellites*. Advances in Computer Science – Network Centric Warfare. Gdynia 2009.

[12] Nowak A.: *Możliwości wykorzystania odbiorników GNSS do określenia orientacji przestrzennej pojazdu UGV*. Archiwum Geomatyki, Pomiarów Satelitarne w Geodezji i Lotnictwie, 2011.

[13] Nowak A.: *Problemy pozycjonowania satelitarnego w aglomeracjach miejskich*. Logistyka 3/2011.

[14] Nowak A.: *Symulacje numeryczne wpływu przeszkód terenowych na dokładność wyznaczeń GNSS*. Logistyka 3/2011.

[15] Nowak A, Specht C.: *Computer simulator of GNSS measurements*. Annual of Navigation 2007, No 12.

[16] Podoski J.: *Tramwaj szybki, projektowanie i eksploatacja*. WKŁ, Warszawa 1983.

[17] Specht C.: *System GPS*. Wydawnictwo BERNARDINUM, Pelplin, 2007.

[18] Specht C. i wsp.: *Wykonanie testów infrastruktury i usług systemu precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego ASG-EUPOS*. Projekt badawczy na zlecenie Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii w zakresie: Wykonanie testów infrastruktury systemu ASG-EUPOS oraz wykonanie testów usług systemu ASG-EUPOS, Konsorcjum naukowe: Politechnika Gdańska / Uniwersytet Warmiński Mazurski / Akademia Marynarki Wojennej, 2008.

[19] Specht C., Koc W., Nowak A., Szulwic J., Szmagliński J., Skóra M., Specht M., Czapanik M.: *Dostępność fazowych rozwiązań GPS/Glonass podczas geodezyjnej inwentaryzacji dróg szynowych – na przykładzie linii tramwajowej Gdańska*. Technika Transportu Szynowego 9/2012.

[20] Strona internetowa: <http://www.scilab.org> (The Free Platform for Numerical Computation), Scilab Enterprises 2012.

Cezary Specht – Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
 Władysław Koc, Aleksander Nowak, Jacek Szmagliński
 Politechnika Gdańska