

**WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ DOSTĘPNOŚCI SIECI ASG-EUPOS PODCZAS  
INWENTARYZACJI TRASY KOLEJOWEJ KOŚCIERZYNA - KARTUZY**

**PRELIMINARY RESEARCH RESULTS OF ASG-EUPOS NETWORK  
AVAILABILITY DURING SURVEYING OF KOŚCIERZYNA-KARTUZY  
RAILWAY ROUTE**

**Władysław Koc<sup>1</sup>, Cezary Specht<sup>1</sup>, Aleksander Nowak<sup>2</sup>, Agnieszka Jurkowska<sup>1</sup>,  
Piotr Chrostowski<sup>1</sup>, Leszek Lewiński<sup>3</sup>, Maciej Bornowski<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska

<sup>2</sup> Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

<sup>3</sup> PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. w Gdyni

<sup>4</sup> Leica Geosystems Sp. z o.o.

SŁOWA KLUCZOWE: dostępność, ASG-EUPOS, trasa kolejowa

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono wyniki pomiarów dostępności określonej wartości błędu współrzędnych, wyznaczonych przy wykorzystaniu sieci ASG-EUPOS, uzyskane podczas pomiarów inwentaryzacyjnych testowego odcinka linii kolejowej. Pomiary z wykorzystaniem 4 odbiorników GNSS przeprowadzono w miesiącu lutym bieżącego roku na odcinku trasy kolejowej: Kościerzyna – Kartuzy. Program badań zakładał montaż, na pokładzie platformy kolejowej napędzanej przez drezynę elektryczną, czterech zestawów pomiarowych odbiorników fazowych GPS System 1200 (Leica) wykorzystujących, dla wyznaczeń współrzędnych, Aktywną Sieć Geodezyjną EUPOS. Pomiary wykonano metodą RTK w serwisie czasu rzeczywistego NAWGEO przy wykorzystaniu poprawek powierzchniowych. W wyniku pomiarów uzyskano blisko 40 000 wyznaczeń współrzędnych każdej z anten. Artykuł przedstawia metodę realizacji pomiarów, matematyczny model wyznaczania dostępności określonej wartości błędu współrzędnych, który zastosowano do opracowania rezultatów, prezentując funkcje oraz graniczne wartości dostępności, przy założeniu progu decyzji pomiędzy stanem zdatności i niezdatności wynoszącym 10 cm. Ponadto w publikacji wskazano na obszary poznawcze w zakresie dalszych kierunków badań eksperymentalnych.

## **1. WSTĘP**

Uruchomienie w 2008 roku krajowej Aktywnej Sieci Geodezyjnej EUPOS oraz szeroka oferta serwisów pozycyjnych oferowana przez sieć umożliwiła realizację szeregu precyzyjnych aplikacji pomiarowych w zakresie: geodezji, nawigacji czy transportu.

Inwentaryzacja torów kolejowych, na skalę kraju, jest przedsięwzięciem niezbędnym dla prawidłowej eksploatacji tras kolejowych. Istniejące pojazdy pomiarowe, toromierze, wyposażone są w urządzenia mające za zadanie rejestrację odchyłek kształtu i położenia szyn oraz pozwalają uzyskać dane do oceny stanu technicznego torów (Gocał, 2007).

Ze względu na konieczność inwentaryzacji obiektów liniowych o znacznej długości (kolejnictwo), autorzy podjęli próbę oceny możliwości wykorzystania sieci satelitarnej do realizacji tego typu pomiarów.

Pomiary inwentaryzacyjne wykonywane przy zastosowaniu odbiorników GNSS pracujących w trybie RTK z odniesieniem do sieci ASG-EUPOS, zrealizowano na początku lutego 2009 roku poprzez wykorzystanie platformy napędzanej przez drezynę elektryczną poruszającą się z prędkością 10 km/h. Pomiary zrealizował interdyscyplinarny zespół składający się z pracowników Katedry Inżynierii Kolejowej oraz Zakładu Geodezji Politechniki Gdańskiej.

## **2. ARCHITEKTURA ZESTAWU POMIAROWEGO ORAZ POMIAR INWENTARYZACYJNY LINII KOLEJOWEJ**

Projekt zakładał symetryczne rozmieszczenie czterech zestawów pomiarowych GNSS na platformie kolejowej. Na zestaw składał się odbiornik Leica System 1200 SmartRover, złożony ze SmartAnten typu ATX1230GG oraz kontrolera RX 1250 (rys. 1).



Rys. 1. Zestaw pomiarowy: SmartAnten typu ATX1230GG oraz kontrolera RX 1250

Ustawienie centrów fazowych anten względem osi toru testowego wyznaczono metodami geodezji tradycyjnej. W pierwszym etapie przeniesiono oś toru testowego na powierzchnię platformy, następnie przy zastosowaniu teodolitu optycznego oraz taśmy stalowej określono położenie podstaw instalacyjnych umożliwiających zamontowanie spodarek pod anteny GNSS. Precyzyjne ustawienie spodarek uzyskano dzięki zastosowaniu do pomiarów tachimetru TPS Leica 1201.

Pomiary dynamiczne wykonano metodą Kinematyczną Czasu Rzeczywistego w serwisie czasu NAWGEO (ASG-EUPOS), wykorzystując strumień poprawek powierzchniowych RTK NAWGEO\_RTCM\_3\_1\_MAC. Internetowy dostęp do serwisu zapewniono poprzez modemy GPRS Simens MC45 pracujące w trybie NTRIP w sieci SimPlus. Zapis obserwacji, z interwałem odległościowym wynoszącym 30 cm, wykonano z wykorzystaniem funkcji auto-zapisu pomiarów, w trybie odległościowym.



Trasę o długości blisko 40 km pokonano ze stałą prędkością. Podczas pomiaru zarówno anteny jak i kontrolery pozostawały pod stałym nadzorem. Problemem występującym na odcinku testowym był lokalny brak zasięgu sieci telefonii komórkowej, a co za tym idzie chwilowe przerwy w dostępie do poprawek z ASG-EUPOS. Po zakończeniu pomiarów kinematycznych zrealizowano 40 minutową sesję obserwacji statycznych platformy pomiarowej GNSS.

### 3. DOSTĘPNOŚĆ BŁĘDU WYZNACZEŃ SIECI ASG-EUPOS PODCZAS POMIARÓW LINII KOLEJOWEJ

Możliwość szerszego wykorzystania zaproponowanej metody związana jest z nieprzerwanym w czasie pomiarów dostępem odbiorników pomiarowych GNSS do sieci skutkującym możliwością rozwiązania nieoznaczoności zmierzonych pseudoodległości. Zamierzeniem wstępnym autorów była próba oceny skuteczności zapewnienia przez zestaw pomiarowy możliwie wysokich dokładności, przy maksymalizacji wartości dostępności. W tym celu aplikowano prezentowany poniżej model.

Przyjmując, że proces wyznaczeń współrzędnych pozycji jest procesem alternującym z odnową, w sensie ogólnej teorii niezawodności (Specht, 2003), wtedy można w funkcji czasu, przypisać mu dwa stany: pracy (zdatności) - w którym błąd wyznaczeń współrzędnych jest mniejszy niż ustalona arbitralnie wartość:  $\delta_n \leq U$  dla  $n = 1, 2, \dots$ , oraz awarii (niezdatności), w których zachodzi zależność  $\delta_n > U$ . Niech  $X_1, X_2, \dots$  oznaczają długości czasów pracy, a  $Y_1, Y_2, \dots$  odpowiadają czasom ich awarii, stąd momenty czasu  $Z'_n = X_1 + Y_1 + X_2 + Y_2 + \dots + Y_{n-1} + X_n$ ,  $n = 1, 2, \dots$ , stają się chwilami awarii natomiast momenty  $Z''_n = Z'_n + Y_n$ , są momentami odnowy. Załóżmy, że zmienne losowe  $X_i, Y_i$  dla  $i = 1, 2, \dots$ , są niezależne oraz ich czasy pracy oraz awarii mają jednakowe typy rozkładów.

Zdefiniujmy dostępność określonej wartości błędu wyznaczeń pozycji (Specht, 2007) jako prawdopodobieństwo tego, iż w dowolnym momencie czasu ( $t$ ) błąd wyznaczenia współrzędnych pozycji  $\delta_n$ ,  $n = 1, 2, \dots$  będzie mniejszy lub równy od wartości  $U$  - ustalonej arbitralnie. W oparciu o powyższe założenia określmy proces niezawodnościowy, w którym o jego stanie (praca, awaria) decyduje relacja pomiędzy błędem pojedynczego pomiaru  $\delta_n$  oraz parametrem  $U$ . Niech  $\alpha(t)$  będzie binarną interpretacją stanu niezawodnościowego procesu postaci

$$\alpha(t) = \begin{cases} 1, & Z''_n \leq t < Z'_{n+1} \\ 0, & Z'_{n+1} \leq t < Z''_{n+1} \end{cases} \quad \text{dla } n = 0, 1, \dots \quad (1)$$

gdzie:

$Z''_n$  - moment przejścia ze stanu niezdatności do stanu zdatności,

$Z'_n$  - moment przejścia ze stanu zdatności do stanu niezdatności,

przy założeniu, że stanom zdatności i niezdatności przypisano odpowiednio wartości binarne „1” i „0”.

Nawiązując do definicji funkcji dostępności zaproponowanej powyżej, oznaczmy ją zmienną  $D(t)$  i przypiszmy jej formułę postaci:

$$D(t) = P[\delta(t) \leq U], \quad (2)$$

której, ostateczną formę zaproponowano, jako (Specht, 2007; Oszczak, 2008)

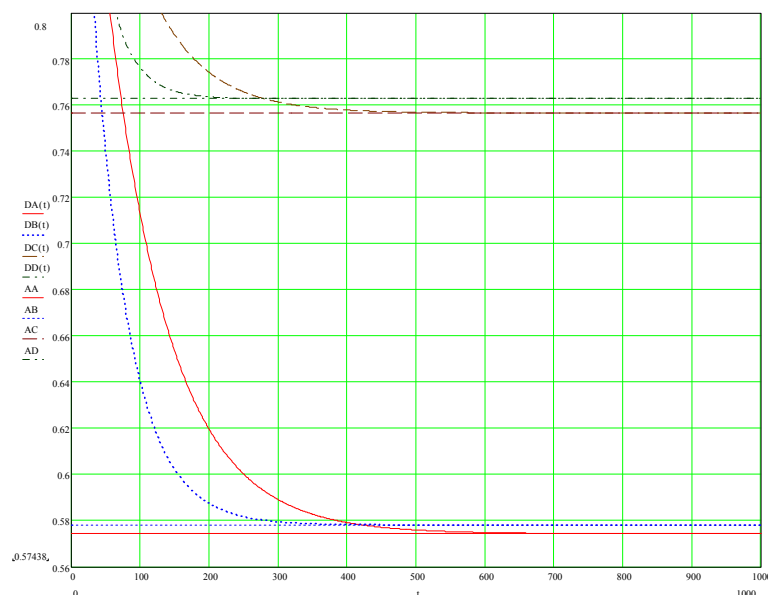
$$D(t) = 1 - F(t) + \int_0^t [1 - F(t-x)] dH_\Phi(x), \quad (3)$$

gdzie:

$F(x)$  - dystrybuanta czasów zdatności,

$H_\Phi(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(x)$  - funkcja odnowy strumienia utworzonego przez momenty odnowy pracy systemu pozycyjnego.

Dla przeprowadzonego eksperymentu założono, że wyznaczenie wartości błędu odbędzie się dla każdego odbiornika oddzielnie oraz przyjęto, iż wartość progowa związana z wymaganą dokładnością pomiarów wynosi  $U = 10 \text{ cm}$ . Poniżej zaprezentowano wykresy funkcji dostępności wartości błędu wynoszącej poniżej 10 cm dla odbiorników oznaczonych literami: A, B, C, D (rys. 2).



Rys. 2. Funkcje dostępności wyników poszczególnych odbiorników [ $DA(t)$ ,  $DB(t)$ ,  $DC(t)$ ,  $DD(t)$ ] wraz z ich wartościami granicznymi (AA, AB, AC, AD) dla progę decyzji wynoszącego 10 cm.

Na wykresie zaznaczono wartości granice funkcji dostępności dla poszczególnych odbiorników – będące współczynnikami dostępności określone zgodnie z zależnością (Specht, 2003):

$$A[A, B, C, D] = \lim_{t \rightarrow \infty} D(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{E(X) + E(Y)} \int_0^{\infty} [1 - F(u)] du = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{E(X) + E(Y)} \int_0^{\infty} R(u) du, \quad (4)$$

gdzie:

$E(X)$ ,  $E(Y)$  - wartości oczekiwane czasu pracy i awarii.

Ponieważ

$$\int_0^{\infty} R(u) du = E(X) \quad (5)$$

oraz przyjmując, że rozkłady czasów pracy i awarii są wykładnicze, o funkcjach gęstości postaci:

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t} & \text{dla } t > 0 \\ 0 & \text{dla } t \leq 0 \end{cases}, \quad (6)$$

gdzie:

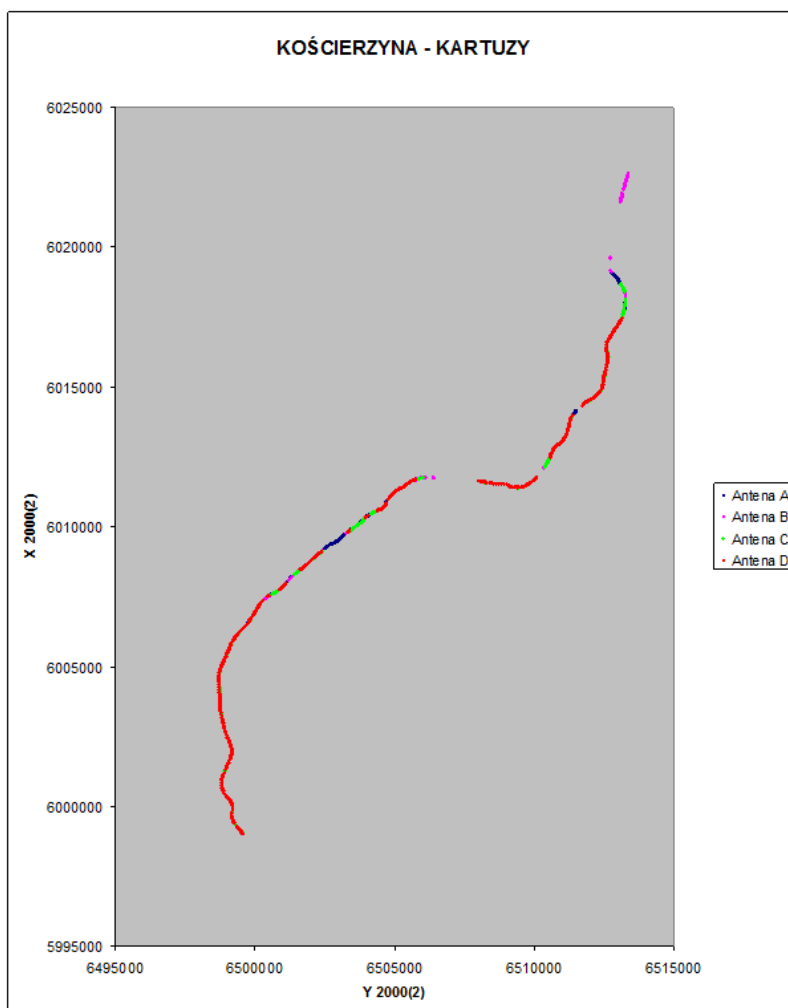
$\lambda$  - intensywność uszkodzeń,

$\mu$  - intensywność napraw,

wynika, że współczynnik dostępności określonej wartości błędu określenia współrzędnych wynosi

$$A = \frac{E(X)}{E(X) + E(Y)}. \quad (7)$$

Na poniższym wykresie (Rys. 3) zaznaczono miejsca, których błąd wyznaczenia położenia odbiorników był niższy niż 10 cm.



Rys. 3. Wykres dostępności (kolor czerwony) wartości błędu wyznaczenia położenia odbiorników nieprzekraczający 10 cm.

#### 4. WNIOSKI

Funkcje oraz wartości współczynników dostępności odbiorników umieszczonych symetrycznie względem osi toru są parami zbliżone, wynika to ze zbliżonych momentów utraty śledzenia satelitów GNSS, przez pary znajdujące się w przedniej i tylnej części zestawu.

Wartość współczynnika dostępności na poziomie nieznacznie powyżej 50 % oraz analiza danych pomiarowych wskazuje na występowanie znacznych przesłon terenowych podczas pomiarów oraz konieczność ścisłego planowania kampanii z wykorzystaniem programów planistycznych programu do planowania ( np. Leica Geo Office).

Celem pomiarów inwentaryzacyjnych było określenie położenia osi torów w wybranym państwowym układzie współrzędnych. Uzyskana dokładność pozwala na uwidocznienie torów kolejowych na podkładach geodezyjnych oraz na wykorzystanie wyników przy projektowaniu modernizacji linii kolejowych.

## **5. LITERATURA**

Odwołania do książek:

Gocał J., 2007. *Geodezja Inżynieryjno – Przemysłowa cz. II* AGH, Kraków, s. 106

Odwołania do innych publikacji:

Specht C., 2003. Availability, Reliability and Continuity Model of Differential GPS Transmission, *Polish Academy of Sciences, Annual of Navigation, no 5/2003*, monograph.

Specht C., 2007. Availability of the Certain Value of Position Error in the Navigational System- Model Application, *7th International Symposium on Navigation, TransNav'2007*, Gdynia, s. 39-42

Oszczak B., 2008. Charakterystyki niezawodności satelitarnych systemów DGPS/RTK wykorzystujących pakietową transmisję danych GPRS, *rozprawa doktorska, Bartłomiej Oszczak*, Akademia Marynarki Wojennej, obrona 30.01.2008r.

**PRELIMINARY RESEARCH RESULTS OF ASG-EUPOS NETWORK  
AVAILABILITY DURING SURVEYING OF KOŚCIERZYNA-KARTUZY  
RAILWAY ROUTE**

KEY WORDS: availability, ASG-EUPOS, railway

SUMMARY: The paper presents the research results of availability of defined coordinates error value, determined with the use of ASG-EUPOS network, during surveying measurements of a test railroad section. The experimental measurements with four sets of receivers GNSS were carried out on Kościerzyna-Kartuzy railway route, in February this year. The research program assumed installation of four sets of phase receivers GPS System 1200 (Leica), which used Active Geodetic Network EUPOS to calculate coordinates. The sets were installed on board of railroad platform driven by an electric trolley. The measurements were carried out by Real Time Kinematic method with NAWGEO surface correction. As a result of measurements, there were almost 40,000 coordinates determined for each of the antennas. The paper presents the procedure of measurements and the model of mathematical calculation of availability of defined coordinates error value, which was used in results analyses. It also presents the functions and border values of availability, based on the assumption of the decision threshold between the ability and disability states amounting to 10 cm. Moreover, the article indicates cognitive areas of further directions of experimental research

Prof. dr hab. inż., Władysław Koc  
e-mail: [wladyslaw.koc@wilis.pg.gda.pl](mailto:wladyslaw.koc@wilis.pg.gda.pl)

Prof. dr hab. inż., Cezary Specht  
e-mail: [c.specht@chello.pl](mailto:c.specht@chello.pl)

Dr inż. Aleksander Nowak  
e-mail: [A.Nowak@amw.gdynia.pl](mailto:A.Nowak@amw.gdynia.pl)

Mgr inż., Agnieszka Jurkowska  
e-mail: [agnieszka.jurkowska@wilis.pg.gda.pl](mailto:agnieszka.jurkowska@wilis.pg.gda.pl)

Mgr inż., Piotr Chrostowski  
e-mail: [piotr.chrostowski@wilis.pg.gda.pl](mailto:piotr.chrostowski@wilis.pg.gda.pl)

Mgr inż., Leszek Lewiński  
e-mail: [l.lewinski@wp.pl](mailto:l.lewinski@wp.pl)

Inż. Maciej Bornowski  
e-mail: [maciej.bornowski@leica-geosystems.com](mailto:maciej.bornowski@leica-geosystems.com)