



APPLICATION THE PPP METHOD IN AIRCRAFT POSITIONING IN AIR NAVIGATION

Henryk JAFERNIK*

Kamil KRASUSKI**

Janusz ĆWIKLAK***

Para citar este artículo puede utilizarse el siguiente formato:

Henrik Jafernik, Kamil Krasuski y Janusz Ćwiklak (2017): "Application the PPP Method in aircraft positioning in air navigation", en *Revista europea de derecho de la navegación marítima y aeronáutica*, nº 34 (2017). <http://www.eumed.net/rev/rednma/34.jafernik.krasuski.ćwiklak.html>.

ABSTRACT: In this paper the PPP (Precise Point Positioning) method was applied for designation the position of the aircraft in air navigation. The coordinates of the aircraft was estimated using Kalman filter operation in combined strategy for PPP method. The numerical computations were executed in RTKLIB software package in RTKPOST library in "PPP-Kinematic" module. The aircraft position was recovery based on two schemes: at first time the GLONASS data were applied in computations, whereas at second time the GPS/GLONASS data were utilized in calculations, respectively. In both solutions the GPS and GLONASS from onboard Topcon HiperPro receiver from Cessna 172 aircraft were used and tested. In paper the difference of coordinates of aircraft in geocentric XYZ frame from both solutions were designated and presented. The parameter of RMS bias for difference of aircraft coordinates equals to: 0.27 m along X axis, 0.09 m along Y axis, 0.22 m along Z axis, respectively. In addition, the RMS bias for difference of ellipsoidal height in geodetic BLh frame is about 0.28 m, respectively.

KEYWORDS: Precise Point Positioning, RTKLIB, GLONASS, RMS.

1. Introduction

Na przestrzeni ostatnich kilku lat w Polsce widoczny jest silny trend zainteresowania techniką satelitarną GNSS w obszarze nawigacji i transportu lotniczego. W szczególności technika satelitarna GNSS jest stosowana do określenia pozycji statku powietrznego w czasie prawie rzeczywistym, jak i w trybie post-processingu. Ponadto techniki satelitarna GNSS umożliwia wykorzystanie wielu metod lub kombinacji technik pomiarowych w numerycznych aplikacjach nawigacyjnych. Przykładowymi metodami pozycjonowania statku powietrznego w nawigacji lotniczej są między innymi: metoda pozycjonowania absolutnego SPP [1], metoda precyzyjnego pozycjonowania PPP [2], metoda różnicowa DGNS [3], metoda różnicowa RTK-OTF [4], metoda pozycjonowania SBAS [5], metoda efektu Dopplera [6].

W ramach przedstawianej pracy autorzy prezentują możliwości wykorzystania metody PPP w pozycjonowaniu statku powietrznego w nawigacji lotniczej. Metoda PPP była wykorzystywana w wielu testach lotniczych do odtworzenia współrzędnych statku powietrznego oraz określenia dokładności pozycjonowania samolotu trybie kinematycznym. Przykładowo metodę PPP implementowano w nawigacyjnych testach lotniczych opisanych w pracach badawczych i naukowych w literaturze zagranicznej: [7], [8], [9], [10], [11], [12]. W Polsce natomiast metodę PPP zastosowano w eksperymencie lotniczym w

* Silesian University of Technology, Katowice, Poland.

** Polish Air Force Academy, Dęblin, Poland.

*** Air Force Academy, Dęblin, Poland.

Mielcu na potrzeby określenia precyzyjnej trajektorii lotu samolotu Cessna 172 w transporcie lotniczym. Rezultaty implementacji metody PPP w eksperymencie lotniczym w Mielcu przedstawiono i pokazano w literaturze naukowej [13], [14], [15], [16]. W wymienionych pracach badawczych dokonano: wyznaczenia współrzędnych samolotu Cessna 172 w układzie geocentrycznym XYZ oraz układzie elipsoidalnym BLh, określono odchylenia standardowe współrzędnych statku powietrznego, wyznaczono błąd pozycji MRSE. W obliczeniach wykorzystano obserwacje GPS i GLONASS z odbiornika pokładowego Topcon HiperPPro umieszczonego w samolocie Cessna 172 podczas lotu próbnego w Mielcu. Odtworzenie pozycji samolotu Cessna 172 zostało wykonane z użyciem darmowych programów obliczeniowych: magicPPP, GAPS, CSRS-PPP oraz gLAB. Obliczenia realizowano dla obserwacji GPS/GLONASS z interwałem 1-sekundowych dla rozwiązania filtracji Kalmana lub metody najmniejszych kwadratów w procesie sekwencyjnym.

W prezentowanym artykule naukowym dokonano implementacji metody PPP do odtworzenia pozycji samolotu Cessna 172 dla eksperymentu lotniczego na lotnisku w Dęblinie. Pozycja samolotu Cessna 172 została określona w programie RTKLIB w bibliotece RTKPOST w module „PPP-Kinematic”. Współrzędne samolotu Cessna 172 zostały określone dla rozwiązania GLONASS oraz GPS/GLONASS. W rozwiązaniu pozycji samolotu Cessna 172 w programie RTKLIB przyjęto model filtracji Kalmana dla strategii kominowej. Wyniki badań w artykule przedstawiono na rysunkach oraz w formie tabelarycznej.

2. Research method

Model matematyczny metody PPP bazuje na wykorzystaniu kombinacji liniowej „lonosphere-Free” dla nieróżnicowych obserwacji kodowo-fazowych GNSS, jak zapisano poniżej [17]:

$$P_3 = d + c \cdot (dtr - dts) + Trop + Rel + MP_3 \quad (1)$$

$$L_3 = d + c \cdot (dtr - dts) + Trop + B_3 + Rel + \delta_w + ML_3 \quad (2)$$

where:

P_3 , L_3 - equation of „lonosphere-Free” linear combination for code and phase GNSS observations;

$$P_3 = \alpha P_1 + \beta P_2;$$

$$L_3 = \alpha L_1 + \beta L_2;$$

$\alpha = +f_1^2 / (f_1^2 - f_2^2)$, linear coefficient;

$\beta = -f_2^2 / (f_1^2 - f_2^2)$, linear coefficient;

f_1 , f_2 - nominal frequency in GNSS system;

d - geometric distance between satellite and receiver, include information about Earth rotation parameters, pole motion, ocean tiding, solid earth tides, scale and the origin of global reference frame, phase center offset and variation, precise coordinates of satellite and receiver;

$$d = ((x - X_{GNSS})^2 + (y - Y_{GNSS})^2 + (z - Z_{GNSS})^2)^{0.5};$$

(x, y, z) – aircraft coordinates in XYZ geocentric frame;

$(X_{GNSS}, Y_{GNSS}, Z_{GNSS})$ – satellite coordinates in GNSS system;

c - speed of light;

dtr - receiver clock bias;

dts - satellite clock bias;

$Trop$ - troposphere delay;

Rel- relativistic effect;

B₃- float value of ambiguity phase;

δ_w- phase wind up;

M_{P3}- multipath effect and measurement noise for code observations;

M_{L3}- multipath effect and measurement noise for phase observations.

Współrzędne statku powietrznego (x, y, z) z równań obserwacyjnych (1) i (2) są wyznaczane w procesie iteracyjnym dla dwuetapowego modelu filtracji Kalmana, jak poniżej:

1) „prediction step”:

$$x_p = A \cdot x_0 \quad (3)$$

$$P_p = A \cdot P_0 \cdot A^T + Q_0 \quad (4)$$

where:

A- matrix of coefficients,

x₀- a priori value of estimated parameters from previous step,

P₀- a priori value of covariance matrix from previous step,

x_p- predicted value of estimated parameters,

P_p- predicted value of covariance matrix,

Q₀- a priori covariance matrix of process noise;

2) „correction step”:

$$K_k = P_p \cdot H^T \cdot (H \cdot P_p \cdot H^T + R)^{-1} \quad (5)$$

$$x_k = x_p + K_k \cdot (z - H \cdot x_p) \quad (6)$$

$$P_k = (I - K_k \cdot H) \cdot P_p \quad (7)$$

where:

R - covariance matrix of measurements,

H – full matrix,

K_k – gain Kalman matrix,

z – vector of measurements,

I – identity matrix,

x_k - a posteriori value of estimated parameters,

P_k - a posteriori value of covariance matrix.

Wyznaczone w ten sposób współrzędne statku powietrznego odniesione są do ortokartezjańskiego układu współrzędnych geocentrycznych XYZ.

3. Research test and results. Discussion

W ramach prezentowanej pracy przeprowadzono test badawczy dotyczący implementacji metody PPP do precyzyjnego pozycjonowania samolotu w nawigacji lotniczej. Głównym zamiarem autorów pracy było odtworzenie rzeczywistych współrzędnych samolotu Cessna 172.

W teście badawczym wykorzystano obserwacje kodowo-fazowe GPS/GLONASS do odtworzenia pozycji samolotu Cessna 172. Obserwacje GPS/GLONASS zostały zarejestrowane przez odbiornik geodezyjny Topcon Hiperpro umieszczony w kabinie pilotów w samolocie Cessna 172. Próbnny lot testowy samolotem Cessna 172 wykonano w czerwcu 2010 r. w okolicach wojskowego w Dęblinie (patrz Rys. 1). Trasa lotu samolotu Cessna 172 wokół lotniska w Dęblinie została oparta o miejscowości: Dęblin – Kozienice – Kazimierz Dolny – Puławy – Dęblin. Podstawowym celem lotu samolotu Cessna 172 było pozyskanie materiałów badawczych do analiz dokładnościowych budowanego systemu monitorowania ruchu statków powietrznych. Ponadto lot testowy samolotem Cessna 172 został zrealizowany w ramach projektu

naukowego: "System monitorowania ruchu statków powietrznych i pojazdów użytkowanych przez służby porządku publicznego z wykorzystaniem GNSS" [18].

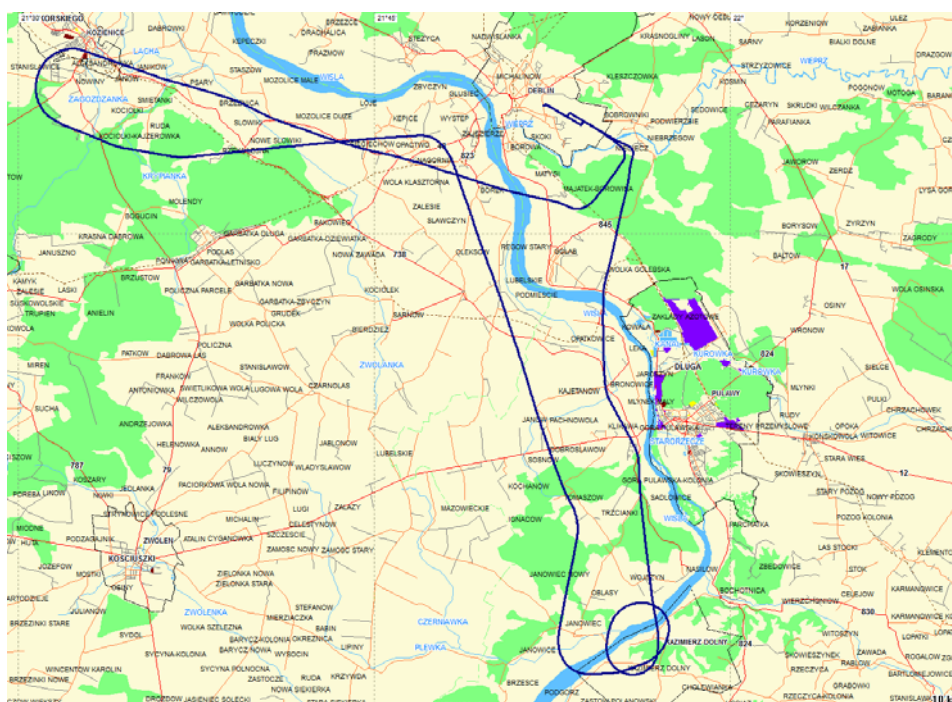


Figure 1. The flight trajectory of Cessna 172 plane in research test

Na potrzeby artykułu badawczego dokonano wyznaczenia współrzędnych statku powietrznego na podstawie rozwiązania GLONASS oraz GPS/GLONASS. W obliczeniach wykorzystano program RTKLIB z modułem RTKPOST. Program RTKLIB jest darmowym narzędziem programistycznym, dostępnym na stronie internetowej: www.rtklib.com. Na potrzeby wykonywanych badań naukowych, konfiguracja wyznaczanych parametrów i zastosowanych modeli w obliczeniach została przedstawiona w Tabeli 1 [19].

Table 1. The configuration of parameters in PPP method for GLONASS and GPS/GLONASS solution

Parameter	Solution I	Solution II
GNSS system	GLONASS	GPS/GLONASS
Type of RINEX file	2.11	2.11
Positioning mode	Kinematic	Kinematic
Positioning method	PPP	PPP
Cutoff elevation	10 ⁰	10 ⁰
Interval of computations	1 s	1 s
Source of precise orbits and clocks	GLONASS precise orbits and clocks	GPS/GLONASS precise orbits and clocks
Interval of precise orbits and clocks product	15 minutes	15 minutes
Methods of estimation GNSS satellites orbits	Lagrange polynomial method	Lagrange polynomial method

and clocks		
GNSS observations	GLONASS code (P1/P2) and phase (L1/L2) observations	GPS/GLONASS code (P1/P2) and phase (L1/L2) observations
Linear combination	Ionosphere-Free	Ionosphere-Free
Adjustment processing	Applied	Applied
A priori standard deviation of code measurement	GLONASS: 0.6 m for code observations, 3 mm for phase observations	GLONASS: 0.6 m for code observations, 3 mm for phase observations; GPS: 0.3 m for code observations, 3 mm for phase observations
Maximum number of iterations	5	5
Phase center offset/variation for satellites and receiver	based on IGS ANTEX file	based on IGS ANTEX file
Initial position of aircraft	based on header of RINEX file	based on header of RINEX file
Reference frame	IGS'08	IGS'08
Mathematical model of computations	Kalman filter in combined strategy	Kalman filter in combined strategy
Receiver clock bias	Estimated	Estimated
Ambiguity term	PPP-AR (Ambiguity Resolution)	PPP-AR (Ambiguity Resolution)
Output coordinates of aircraft	geocentric (XYZ) and geodetic (BLh) coordinates	geocentric (XYZ) and geodetic (BLh) coordinates
Reference time	GPS Time	GPS Time
Instrumental biases DCB/IFCB	eliminated in Ionosphere-Free linear combination	eliminated in Ionosphere-Free linear combination
Ionosphere delay	1 st term of total ionosphere delay is eliminated in Ionosphere-Free linear combination	1 st term of total ionosphere delay is eliminated in Ionosphere-Free linear combination
Higher order ionosphere effects	not applied	not applied
Phase wind up	Applied	Applied
Relativistic effect	Applied	Applied
Solid earth tides, OTL (ocean tide loading) and pole tides	not applied	not applied
Sagnac effect	Applied	Applied
Troposphere model	Saastamoinen	Saastamoinen
ZWD parameter	Estimated	Estimated
Mapping function	Niell mapping function	Niell mapping function
Troposphere gradients	not applied	not applied

Na Rysunku 2 przedstawiono różnicę wyznaczonych współrzędnych samolotu Cessna 172 w układzie geocentrycznym XYZ na podstawie rozwiązania GLONASS oraz GPS/GLONASS.

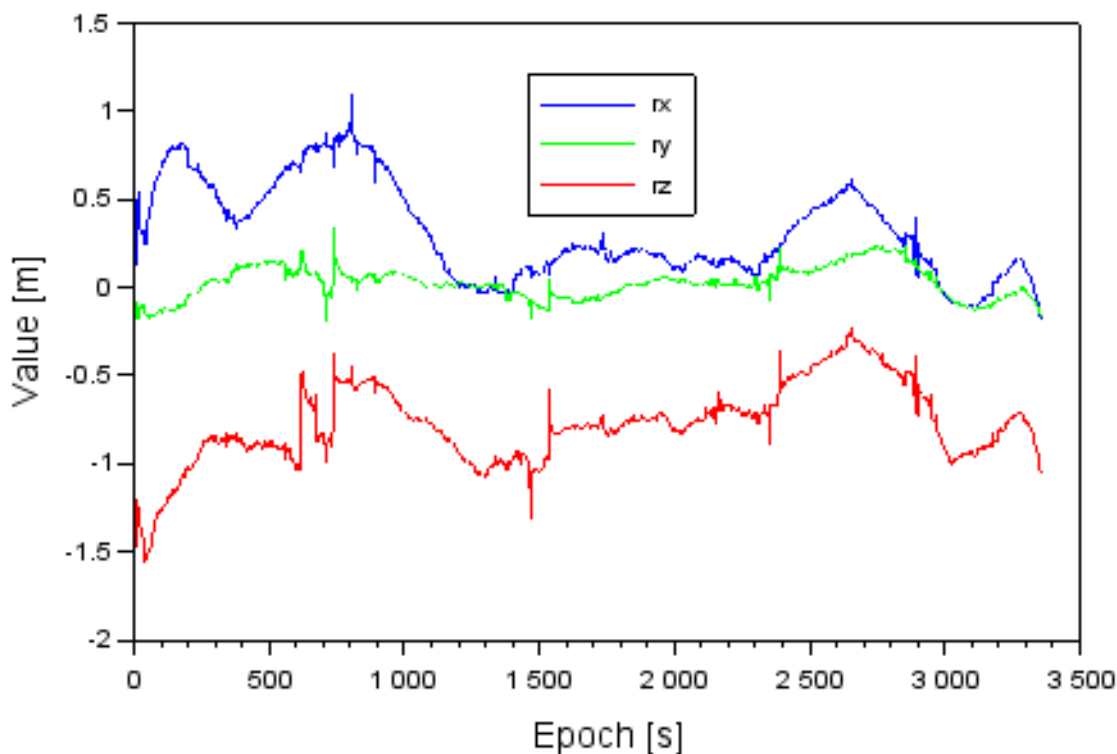


Figure 2. The difference of XYZ aircraft coordinates between GLONASS and GPS/GLONASS solution.

Różnica współrzędnych geocentrycznych XYZ dla statku powietrznego Cessna 172 pomiędzy rozwiązaniem GLONASS oraz GPS/GLONASS została określona na podstawie zależności [2]:

$$rx = x_{GLO} - x_{GPS/GLO} \quad (8)$$

$$ry = y_{GLO} - y_{GPS/GLO} \quad (9)$$

$$rz = z_{GLO} - z_{GPS/GLO} \quad (10)$$

where:

x_{GLO} - X coordinate of aircraft based on GLONASS solution,

$x_{GPS/GLO}$ - X coordinate of aircraft based on GPS/GLONASS solution,

y_{GLO} - y coordinate of aircraft based on GLONASS solution,

$y_{GPS/GLO}$ - y coordinate of aircraft based on GPS/GLONASS solution,

z_{GLO} - z coordinate of aircraft based on GLONASS solution,

$z_{GPS/GLO}$ - z coordinate of aircraft based on GPS/GLONASS solution.

Wartość średnia parametru „rx” wynosi 0.32 m, zaś parametr mediany wynosi 0.22 m. Ponadto dyspersja wyników parametru „rx” wynosi od -0.18 m do +1.10 m. Należy podkreślić, że wartość błędu RMS [20] dla wyników parametru „rx” wynosi 0.27 m. Wartość średnia parametru „ry” jest równa 0.03 m, zaś parametr mediany wynosi 0.02 m. W dodatku dyspersja wyników parametru „ry” wynosi od -0.20 m do +0.35 m. Warto zauważyć, że wartość błędu RMS dla wyników parametru „ry” wynosi 0.09 m. Wartość średnia parametru „rz” wynosi -0.78 m, zaś parametr mediany wynosi -0.79 m. Ponadto dyspersja wyników parametru

„rz” wynosi od -1.57 m do -0.23 m. Z kolei wartość błędu RMS dla rezultatów parametru „rz” wynosi równo 0.22 m.

Na Rysunku 3 została określona wartość parametru RMS-3D, który charakteryzuje precyzję wyznaczonych współrzędnych samolotu Cessna w układzie geocentrycznym XYZ. Parametr RMS-3D dla współrzędnych geocentrycznych XYZ został wyznaczony na podstawie zależności [21]:

$$\text{RMS-3D}=(rx^2+ry^2+rz^2)^{0.5}$$

(11)

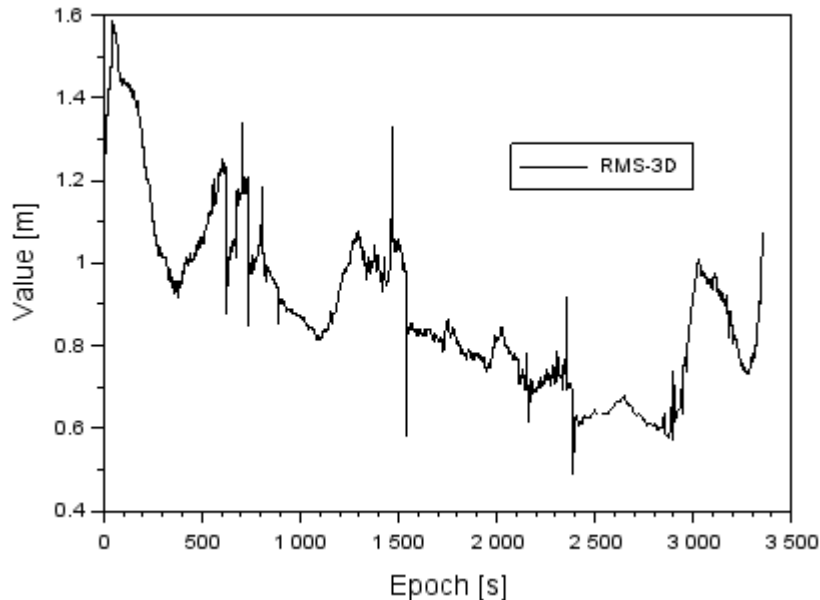


Figure 3. The results of RMS-3D parameter.

Wartość średnia parametru RMS-3D wynosi 0.89 m, zaś parametr mediany wynosi 0.85 m. Ponadto dyspersja wyników parametru RMS-3D wynosi od +0.49 m do +1.59 m. Należy podkreślić, że około 25% wyników parametru MRS-3D jest wyższa niż 1 m. Z kolei około 98% wyników parametru MRS-3D jest wyższa niż 0.6 m. Tylko około 1% wyników parametru MRS-3D przekracza wartość 1.5 m.

Na Rysunku 4 przedstawiono różnicę wysokości elipsoidalnej h dla samolotu Cessna 172 w układzie geodezyjnym BLh (B- Latitude, L –Longitude, h- ellipsoidal height) [22] na podstawie rozwiązania GLONASS oraz GPS/GLONASS. Wysokość elipsoidalna h jest określana w procesie iteracyjnym na podstawie transformacji pomiędzy układem geocentrycznym XYZ a układem geodezyjnym BLh, jak poniżej:

$$h=(\rho/\cos(B))-R \quad (12)$$

where:

h - ellipsoidal height,

$$\rho=(x^2+y^2)^{0.5},$$

B - Latitude,

R - radius of curvature of the prime vertical,

$$R=a/(1-e^2 \cdot \sin(B))^{0.5},$$

e - eccentricity,

a -semi-major axes of GRS-80 ellipsoid.

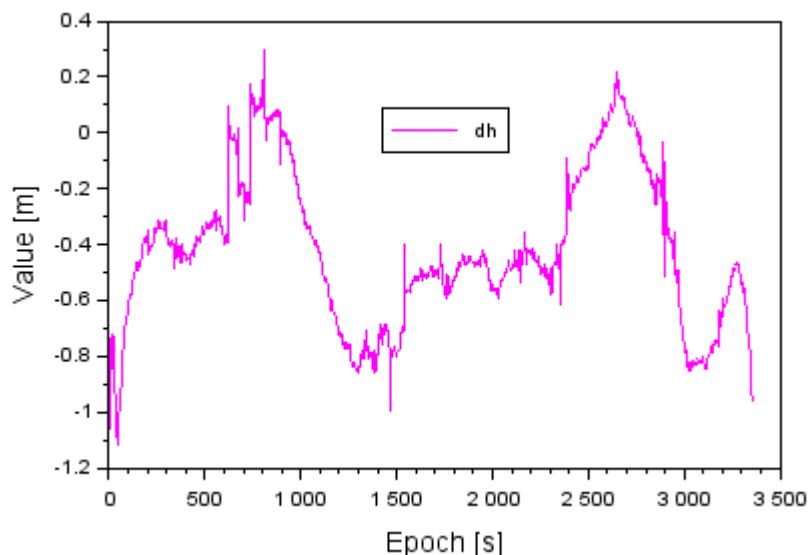


Figure 4. The difference of ellipsoidal height of aircraft between GLONASS and GPS/GLONASS solution.

Różnica wysokości elipsoidalnej h dla statku powietrznego Cessna 172 pomiędzy rozwiązaniem GLONASS oraz GPS/GLONASS została określona na podstawie zależności [16]:

$$dh = h_{GLO} - h_{GPS/GLO} \quad (13)$$

where:

h_{GLO} - h coordinate of aircraft based on GLONASS solution,

$h_{GPS/GLO}$ - h coordinate of aircraft based on GPS/GLONASS solution.

Wartość średnia parametru „dh” jest równa -0.42 m, zaś parametr mediany wynosi -0.46 m. W dodatku dyspersja wyników parametru „dh” wynosi od -1.12 m do +0.30 m. Warto zauważyć, że wartość błędu RMS dla wyników parametru „dh” wynosi 0.28 m.

4. Conclusions

W prezentowanej pracy badawczej dokonano weryfikacji współrzędnych statku powietrznego Cessna 172 na podstawie rozwiązania metodą kinematyczną PPP. Współrzędne statku powietrznego Cessna 172 zostały określone metodą PPP na podstawie obserwacji GLONASS oraz GPS/GLONASS. Dane obserwacyjne do badań zostały zarejestrowane przez odbiornik geodezyjny Topcon HiperPro umieszczony w kabinie pilotów samolotu Cessna 172. Lot testowy przeprowadzono w okolicach popołudniowych w okolicach lotniska wojskowego w Dęblinie. Obserwacje GPS, GLONASS zostały zarejestrowane przez odbiornik Topcon HiperPro z częstotliwością 1 sekundy. Odtworzenie współrzędnych statku powietrznego Cessna 172 zostało wykonane w programie RTKLIB w bibliotece RTKPOST w module obliczeniowym „PPP-Kinematic”. W artykule dokonano porównania współrzędnych statku powietrznego Cessna 172 dla rozwiązania GLONASS i GPS/GLONASS. Różnica współrzędnych (x , y , z) samolotu Cessna 172 pomiędzy rozwiązaniem GLONASS oraz GPS/GLONASS dochodzi do poziomu maksymalnego ± 1.5 m. Z kolei różnica wysokości elipsoidalnej h dla samolotu Cessna 172 pomiędzy rozwiązaniem GLONASS oraz GPS/GLONASS dochodzi

do poziomu maksymalnego ± 1.2 m. Warto dodać, że parametr RMS-3D dla współrzędnych (x, y, z) samolotu Cessna 172 od +0.49 m do +1.59 m. Przedstawione w artykule rezultaty badań mają kluczowe znaczenie dla implementacji metody PPP w ramach systemu wspomaganie ABAS w transporcie lotniczym. Szczególnie jest to istotne dla bezpieczeństwa wykonywania operacji lotniczych w przestrzeni powietrznej. W przyszłości metoda PPP może służyć do weryfikacji rzeczywistych współrzędnych statku powietrznego zarejestrowanych przez pokładowy odbiornik satelitarny GNSS.

REFERENCES

1. Krasuski, K., "Application the GPS observations in SPP method for aircraft positioning in flight experiment in Dęblin, Poland (01.06.2010)", *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*, vol. 11, no. 1, 2017, pp. 43-47, DOI: 10.14313/JAMRIS_1-2017/5.
2. Krasuski, K., Ćwiklak, J., "Application of GPS sensor for recovery of precise position of aircraft in air transport", *Proceedings of 16th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*, vol. 16, pp. 222-229, DOI: 10.22616/ERDev2017. 16.N042, ISSN 1691-5976, 24-26.05.2017 Jelgava, Latvia.
3. Grzegorzewski, M., Jaruszewski, W., Fellner, A., Oszczak, S., Wasilewski, A., Rzepecka, Z., Kapcia, J., Popławski, T. (1999). „Preliminary results of DGPS/DGLONASS aircraft positioning in flight approaches and landings”, *Annual of Navigation*, no. 1, pp. 41-53.
4. Ciećko, A., Grzegorzewski, M., Oszczak, S., Ćwiklak, J., Grunwald, G., Balint, J., Szabo, S., "Examination of EGNOS Safety-Of-Life service in Eastern Slovakia", *Annual of Navigation*, 22/2015, pp. 65-67, DOI: 10.1515/aon-2015-0021.
5. Ciećko, A., Grunwald, G., "Examination of autonomous GPS and GPS/EGNOS integrity and accuracy for aeronautical applications", *Periodica Polytechnica Civil-Engineering*, ISSN 1587-3773, doi:https://doi.org/10.3311/PPci.10022, 2017.
6. Szarmes, M., Ryan, S., Lachapelle, G., Fenton, P., "DGPS High Accuracy Aircraft Velocity Determination Using Doppler Measurements", *Proceedings of the International Symposium on Kinematic Systems (KIS)*, Banff, AB, Canada, June 3-6, 1997, pp. 167-174.
7. Doucet, K., Herwig, M., Kipka, A., Kreikenbohm, P., Landau, H., Leandro, R., Moessmer M., Pagels, C., "Introducing Ambiguity Resolution in Webhosted Global Multi-GNSS Precise Positioning with Trimble RTX-PP", *Proceedings of the 25th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2012)*, September 17-21, Nashville, Tennessee, pp. 1115-1125.
8. El-Mowafy, A., "Precise Point Positioning in the airborne mode", *Artificial Satellites*, Vol. 46, No. 2 – 2011, DOI: 10.2478/v10018-011-0010-6, pp. 33-45.
9. Gao, Y., "Performance analysis of Precise Point Positioning using Real-Time Orbit and Clock Products", *Journal of Global Positioning Systems*, Vol. 3, No. 1-2, pp. 95-100, 2004.
10. Gao, Y., Wojciechowski, A., "High precision kinematic positioning using single dual-frequency GPS receiver", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34, Part XXX, pp. 845-850, 2004.
11. Martín, A., Anquela, A., Berné, J., Sanmartín, M., "Kinematic GNSS-PPP results from various software packages and raw data configurations", *Scientific Research and Essays*, Vol. 7(3), pp. 419-431, 23 January, 2012, DOI: 10.5897/SRE11.1885.
12. Waypoint Products Group, NovAtel Inc., *Airborne Precise Point Positioning (PPP) in GrafNav 7.80 with Comparisons to Canadian Spatial Reference System (CSRS) solutions*, 2006. Paper is available at website: <http://www.novatel.com/assets/Documents/Waypoint/Reports/PPPReport.pdf>.
13. Krasuski, K., "Utilization CSRS-PPP software for recovery aircraft's position", *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 2015, 89, 61-68. ISSN: 0209-3324.
14. Jaferník, H., Krasuski, K., „Wykorzystanie oprogramowania magicPPP dla określenia pozycji statku powietrznego”, *TTS Technika Transportu szynowego*, nr 12, 2015, str. 675-680.
15. Krasuski, K., Jaferník, H., „Zastosowanie obserwacji GLONASS w metodzie PPP w eksperymencie lotniczym w Mielcu”, *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 2/2016, str. 83-88, DOI: 10.5604/20830157.1201323.

16. Krasuski K., „Wykorzystanie programu GAPS do pozycjonowania kinematycznego”, *Problemy Mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa*, 7, 2 (24), 2016, str. 117-130.
17. Sanz Subirana, J., Juan Zornoza, J. M., Hernández-Pajares, M. (2013). „GNSS Data Processing, Volume I: Fundamentals and Algorithms”, ESA Communications, ESTEC, Noordwijk, Netherlands, ISBN: 978-92-9221-886-7, pp. 145-161.
18. Oszczak, S., *Sprawozdanie techniczne z wykonania badań na temat: „Badania dokładnościowe systemu monitorowania ruchu statków powietrznych-analizy wstępne”*, str.1-13, Dęblin-Olsztyn, czerwiec 2010.
19. Takasu, T. (2013), *RTKLIB ver. 2.4.2 Manual, RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning*, pp. 171-176, Available at: http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf.
20. Przestrzelski, P., Bakula, M., “Performance of real time network code DGPS services of ASG-EUPOS in north-eastern Poland”, *Technical Sciences*, 17 (3), 2014, pp. 191-207.
21. Krasuski, K., „Wykorzystanie formatu IONEX do poprawy pozycjonowania na obszarze powiatu ryckiego”, *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, nr 2/2015, str. 30-34.
22. Osada, E., *Geodezja*, Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. ISBN 83-7085-663-2, 2001, str. 237-241

Recibido el 12 de noviembre de 2017. Aceptado el 9 de diciembre de 2017