

Oleg ANTEMIJCZUK
Krzysztof TOKARZ
Eugeniusz PIECHOCZEK

IMPLEMENTACJA PROCEDUR LPV W SYMULATORACH LOTNICZYCH

Streszczenie. Dzięki możliwościom systemu EGNOS w lotnictwie cywilnym możliwe stało się wprowadzenie do procedur nieprecyzyjnego podejścia do lądowania NPA RNAV (GNSS) systemów nawigacji satelitarnej jako podstawowego systemu nawigacyjnego. W ramach prowadzonych prac badawczych w symulatorach FNTF zostały zaimplementowane nowe algorytmy i systemy nawigacyjne, umożliwiające wykonywanie procedur podejścia do lądowania z wykorzystaniem nawigacji satelitarnej GNSS SBAS 3D. Artykuł opisuje implementację procedur LPV w symulatorach lotniczych FNTF II będących na wyposażeniu Laboratorium Wirtualnego Latania Wydziału AEiI Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Słowa Kluczowe: procedury LPV, nawigacja satelitarna, system GNSS, GPS, GALILEO, GLONASS ICAO, EGNOS, SBAS, ABAS, Lateral Guidance, Vertical Guidance, procedury RNAV, serwis SISneT, symulatory FNTF II, FNTF II/MCC, symulatory PHS, PAS.

1. PROCEDURY PODEJŚĆ DO LĄDOWANIA

Współczesny rozwój systemów nawigacji satelitarnej GNSS oparty na systemach GPS, GLONASS i w najbliższej przyszłości GALILEO umożliwia wykorzystanie ich do celów nie tylko w nawigacji statków powietrznych w trakcie lotu, ale również do wsparcia, a w przyszłości do automatyzacji procedur podejść do lądowania. Wymaga to zwiększenia precyzji pozycjonowania we wszystkich wymiarach przestrzennych. Zagadnienie zwiększania precyzji pozycjonowania jest obecnie elementem kluczowym rozwoju systemów GNSS. Do tego celu, jeszcze przed uruchomieniem nowego europejskiego systemu nawigacji satelitarnej GALILEO, Europejska Agencja Kosmiczna ESA (wraz z organizacjami zarządzania ruchem powietrznym krajów członkowskich Unii Europejskiej) uruchomiła i oddała do użytku system wspomagania pozycjonowania EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) oparty na konstelacji geostacjonarnych satelitów telekomunikacyjnych i naziemnych referencyjnych stacji, których celem jest udostępnianie na terenie kontynentów Europy i Północnej Afryki sygnałów korekcyjnych umożliwiających urządzeniom nawigacji satelitarnej wyznaczanie z większą precyzją ich położenia w przestrzeni. W ramach prac badawczych prowadzonych w Instytucie Informatyki Politechniki Śląskiej prowadzony jest całodobowy monitoring działania systemów nawigacji satelitarnej GPS, EGNOS oraz GLONASS, badane są dokładność pozycjonowania, dostępność i wiarygodność danych przesyłanych z satelitów nawigacyjnych GNSS, a przetworzone dane przesyłane są do centrum koordynacyjnego sieci EDCN (EGNOS Data Collection Network), stworzonej pod egidą organizacji EUROCONTROL, której zadaniem jest stały całodobowy monitoring działania systemów nawigacji GNSS dla celów prowadzenia nawigacji statków powietrznych w europejskiej przestrzeni powietrznej. Doświadczenie zdobyte w dziedzinie nawigacji

satelitarnej zaowocowało pracami badawczymi, mającymi na celu implementację systemów nawigacji satelitarnej w symulatorach lotniczych dla prowadzenia prezentacji i szkoleń pilotów w wykonywaniu procedur podejść do lądowania LPV (Localizer Performance with Vertical Guidance) [7][8][9]. Procedury podejścia w klasyfikacji ICAO dzielą się na:

LNAV

- nieprecyzyjne procedury podejścia używające systemu GPS z wykorzystaniem SBAS dla nawigacji horyzontalnej (Lateral Navigation); brak wsparcia naprowadzania pionowego (Vertical Guidance); typowa wysokość 400' MDA¹.

LNAV/VNAV

- podejście nieprecyzyjne, naprowadzanie horyzontalne (Lateral Guidance) za pomocą systemu GPS z wykorzystaniem SBAS, naprowadzanie pionowe (Vertical Guidance) za pomocą wysokościomierzy barometrycznych.

LPV

- podejście precyzyjne. Lokalizacja z naprowadzaniem pionowym (Vertical Guidance) przy użyciu tylko systemów SBAS i GPS;
- najbardziej pożądany sposób podejścia, oferujący najmniejsze minima za pomocą urządzeń odbiorczych GPS, podobnie jak z wykorzystaniem systemów ILS 200' – 250' DH.

LP

- przyszłe implementacje procedur podejścia, które będą wykorzystywały systemy nawigacji satelitarnej najwyższej precyzji dla procedur LPV dla nawigacji horyzontalnej oraz barometrycznej dla nawigacji pionowej.
- dla pasów startowych, które z powodu przeszkód je otaczających i limitów infrastrukturalnych nie mogą używać procedur naprowadzania pionowego.

Zalety systemów LPV:

- dostępność na tysiącach lotnisk Europy i USA (>1800);
- wiele minimów podejściowych o wysokości do 200' i widoczności do ½ NM², ze zwiększoną dokładnością;
- elektroniczna ścieżka podejścia eliminuje etapy pośrednie (dive & drive) jako bardziej bezpieczna;
- ścieżka podejścia niezależna od wyposażenia barometrycznego naziemnego i pokładowego.

Wdrażając system SBAS /LPV w lotnictwie cywilnym eliminuje się:

- niskie temperatury;
- nieprawidłowe ustawienia wysokościomierzy;
- braki lokalnych wysokościomierzy.

Zwiększa to w znacznym stopniu bezpieczeństwo ruchu lotniczego.

Do wykonania procedury LPV niezbędne są:

- dualne odbiorniki GPS kompatybilne z systemem SBAS spełniające wymogi FAR 25.1309 i AC-25, zgodne z klasą Class 3, TSO C145A lub C146A (niezależne wyposażenie nawigacyjne);
- antena odbiorcza GPS zgodna z wymogami TSO C144 lub C190.

¹ 1' – 1 stopa (ang. Foot) tradycyjna jednostka miary długości stosowana w lotnictwie, 1' = 0,3048 m

² NM – mila (ang. MNautical Mile) tradycyjna jednostka miary długości stosowana w lotnictwie,
1 NM = 1852 m

Procedury nawigacji obszarowej RNAV [11] (Area Navigation) wykorzystują systemy nawigacji satelitarnej, pozwalające na loty statków powietrznych po dowolnie określonym torze lotu w zasięgu naziemnych urządzeń nawigacji lub w granicach możliwości urządzeń autonomicznych do umiejscowienia statku powietrznego na kierunku i ścieżce do lądowania. System taki wykorzystuje odbiorniki nawigacji GNSS oraz odpowiednie oprogramowanie do wyznaczania odchylenia statku powietrznego od wcześniej zdefiniowanej ścieżki podejścia i dzięki specjalnie zaprojektowanym wskaźnikom położenia umieszczonym w kabinie załogi statku powietrznego daje pilotom możliwość określania położenia statku powietrznego w przestrzeni podczas wykonywania manewru lądowania.

Procedury nieprecyzyjnego podejścia do lądowania RNAV GNSS [4][5][6] oparte są na danych nawigacyjnych pozyskiwanych w sposób ciągły z odbiorników nawigacji satelitarnej GNSS uznanych przez ICAO jako podstawowy przyrząd nawigacji obszarowej. Systemy nawigacji satelitarnej GPS Navstar i GLONASS mają obecnie status systemów nawigacji pomocniczej (supplementary systems) z powodu braku monitoringu dokładności pozycjonowania i alarmowania w przypadkach niespełnienia parametrów dokładności w trakcie lotu. Aby mogły one być użyte jako podstawowe, niezbędne jest ich rozszerzenie o możliwości monitorowania i alarmowania. Zapewniają to inne wspomagające systemy, takie jak:

- SBAS/EGNOS (Space Based Augmentation System) – wykorzystujący satelity geostacjonarne do propagacji sygnałów korekcyjnych;
- ABAS (Aircraft Based Augmentation System) – system pokładowego wspomaganie statku powietrznego;
- GBAS (Ground Based Augmentation System) – system wspomaganie naziemnego.

Połączenie funkcjonalności systemów GNSS i systemów wspomagających zapewnia możliwość użycia ich jako systemu podstawowego dla celów nawigacyjnych w lotnictwie cywilnym. Implementacja procedur NPA RNAV wymaga zgodności z koncepcją PBN (Performance Based Navigation). Wymagania stawiane przez PBN są następujące:

- utrzymanie dokładności pozycjonowania +/- 1 NM dla podejścia początkowego IAS, pośredniego IS i nieudanego podejścia MA;
- utrzymanie dokładności pozycjonowania +/- 0.3 NM dla podejścia końcowego FA;
- monitoring dokładności pozycjonowania i alarmowania na pokładzie statku powietrznego w momencie przekroczenia limitów dokładności pozycjonowania GNSS;
- posiadanie pokładowej bazy danych procedur NPA RNAV.

Proces implementacji procedur LPV w europejskiej przestrzeni powietrznej prowadzi do wzrostu zapotrzebowania na usługi projektowania i testowania procedur podejściowych. W celu usprawnienia tego procesu w symulatorach lotniczych klasy FNTP II, będących na wyposażeniu Laboratorium Wirtualnego Latania zmodyfikowane zostało oprogramowanie oraz zainstalowane zostały wskaźniki CDI, umożliwiające wykonywanie procedur LPV przez pilotów. Uwzględniono, że proces lądowania dzieli się na następujące fazy:

- podejście do lądowania – ustawienie statku powietrznego na ścieżce podejścia;
- podprowadzenie – bezpośrednio przygotowanie do lądowania;

- wyrównanie – wykonywane na bardzo niskiej wysokości zmniejszenie kąta zniżania do zera;
- wytrzymanie – statek powietrzny, lecąc na wysokości wyrównania, stopniowo wytraca prędkość aż do prędkości przyziemia;
- przyziemienie – dotknięcie ziemi przez statek powietrzny;
- dobieg – wytracenie prędkości na ziemi aż do zatrzymania się bądź rozpoczęcia kołowania.

Stworzone dla środowiska symulatora lotu oprogramowanie implementujące procedurę LPV obejmuje bezpośrednie wsparcie działań pilota na pierwszych czterech etapach lądowania. Oprogramowanie to umożliwi testowanie nowych procedur podejść do lądowania w środowisku wirtualnym symulatora, sprawdzenie ich poprawności oraz w przyszłości szkolenie pilotów. Dzięki temu możliwa jest znacząca redukcja kosztów projektowania nowych procedur LPV, zwiększenie bezpieczeństwa lotów, bez konieczności używania rzeczywistych statków powietrznych podczas lotów treningowych w różnych warunkach atmosferycznych i symulacja sytuacji awaryjnych.

2. SYSTEMY Nawigacji SATELITARNEJ GNSS

Obecnie w użyciu są dwa systemy nawigacji satelitarnej GNSS.

- System nawigacji satelitarnej GPS Navstar powstały w 1972 roku z inicjatywy Departamentu Obrony USA służący do określania pozycji geodezyjnej w dowolnym punkcie kuli ziemskiej i w dowolnych warunkach meteorologicznych, w obecnej chwili jest w posiadaniu 32 satelitów nawigacyjnych. Listę wszystkich satelitów przedstawia Tablica 1.

Tablica 1. Konstelacja GPS Navstar

GPS constellation status for 21.11.10 under the analysis of the almanac accepted in IAC

Plane	Slot	PRN	NORAD	Type 3C	Launch date	Injct date	Outage date	Active /life (months)	Notes
A	1	9	22700	B-A	26.06.03	20.07.03		206.8	
	2	31	29486	IR-M	25.09.06	13.10.06		49.2	
	3	8	25030	B-A	06.11.97	18.12.97		154.2	
	4	7	32711	IR-M	15.03.08	24.03.08		31.9	
	5	27	22108	B-A	08.09.02	30.09.02		217.2	
B	1	16	27663	IR-R	20.01.03	18.02.03		92.9	
	2	25	36985	B-F	28.05.10	27.08.10		2.6	
	3	26	29407	IR-R	16.07.00	17.08.00		123.2	
	4	12	29601	IR-M	17.11.06	13.12.06		47.1	
	5	30	24320	B-A	12.09.90	01.10.90		188.8	
	6	1	34601	IR-M	24.03.09				In commissioning phase
C	1	29	32384	IR-M	20.12.07	02.01.08		34.8	
	2	3	23833	B-A	28.03.08	08.04.08		174.0	
	3	19	38190	IR-R	20.03.04	05.04.04		79.5	
	4	17	28874	IR-M	26.08.05	13.11.05		59.0	
	5	8	27027	B-A	10.03.94	28.03.94		159.0	
D	1	2	28474	IR-R	06.11.04	22.11.04		71.9	
	2	11	25933	IR-R	07.10.99	03.01.00		130.6	
	3	21	27704	IR-R	31.03.03	12.04.03		91.2	
	4	4	22877	B-A	26.10.93	22.11.93		204.0	
	5	24	21552	B-A	04.07.91	30.08.91		227.3	
E	1	20	28360	IR-R	11.05.00	01.06.00		125.5	
	2	22	29129	IR-R	21.12.03	12.01.04		82.3	
	3	5	35792	IR-M	17.08.09	27.08.09		14.8	
	4	18	28690	IR-R	30.01.01	15.02.01		117.1	
	5	32	20059	B-A	26.11.90	10.12.90		190.9	
	6	10	23853	B-A	16.07.90	18.08.90		170.4	
F	1	14	29605	IR-R	10.11.00	10.12.00		119.3	
	2	15	32290	IR-M	17.10.07	31.10.07		38.7	
	3	13	24876	IR-R	23.07.97	31.01.98		153.5	
	4	23	29362	IR-R	23.06.04	09.07.04		76.3	
	5	26	22014	B-A	07.07.92	23.07.92		219.7	

- System nawigacji satelitarnej GLONASS powstały w 1976 r. w Związku Radzieckim jako odpowiedź na uruchomienie amerykańskiego systemu GPS. Globalną zdolność operacyjną uzyskał w 1995r., a następnie w wyniku kryzysu ekonomicznego został unieruchomiony. Dopiero we wrześniu 2010 r. osiągnął pełną sprawność i jest w posiadaniu 24 satelitów nawigacyjnych. Aktualną listę wszystkich satelitów przedstawia Tablica 2.

Tablica 2. Konstelacja GLONASS

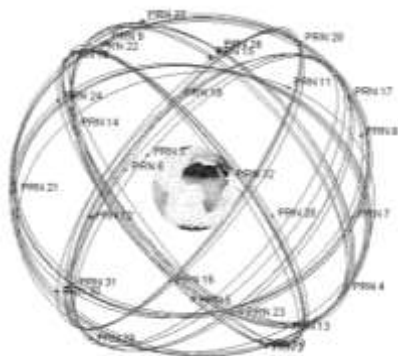
GLONASS constellation status, 21.11.2010r.

Total satellites in constellation	26 SC
Operational	20 SC
In commissioning phase	-
In maintenance	4 SC
Spares	2 SC
In decommissioning phase	-

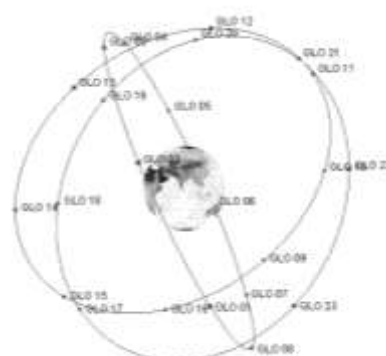
GLONASS Constellation Status at 21.11.2010 based on both the almanac analysis and navigation messages received at 11:00 21.11.10 (UTC) in IAC PNT TsNIlmash

Orb. pl.	Orb. slot	RF chnl	# GC	Launched	Operation begins	Operation ends	Life-time (months)	Satellite health status		Comments
								In almanac	In ephemeris (UTC)	
I	1	01	730	14.12.09	30.01.10		11.2	+	+11:31 21.11.10	In operation
	2	-4	728	25.12.08	20.01.09		22.9	+	+11:30 21.11.10	In operation
	3	-6	722	25.12.07	25.01.08	05.11.10	34.9	-	-03:45 05.11.10	Maintenance
	4	06	727	25.12.08	17.01.09	08.09.10	22.9	-	-15:01 11.11.10	Maintenance
	5	01	734	14.12.09	10.01.10		11.2	+	+09:59 21.11.10	In operation
	6	-4	733	14.12.09	24.01.10	01.10.10	11.2	-	-05:30 21.11.10	Maintenance
	7	05	712	26.12.04	07.10.05		70.9	+	+09:59 21.11.10	In operation
	8	08	729	25.12.08	12.02.09		22.9	+	+11:30 21.11.10	In operation
II	9	-2	736	02.09.10	04.10.10		2.6	+	+11:30 21.11.10	In operation
	10	-7	717	25.12.05	03.04.07		45.9	+	+11:30 21.11.10	In operation
	11	00	723	25.12.07	22.01.08		34.9	+	+09:59 21.11.10	In operation
	12	-1	737	02.09.10	12.10.10		2.6	+	+09:59 21.11.10	In operation
	13	-2	721	25.12.07	08.02.08		34.9	+	+09:59 21.11.10	In operation
	14	-7	715	25.12.05	03.04.07	24.10.10	45.9	-	-06:49 24.10.10	Maintenance
	15	00	716	25.12.05	12.10.07		45.9	+	+11:15 21.11.10	In operation
	16	-1	738	02.09.10	11.10.10		2.6	+	+11:30 21.11.10	In operation
III	17	04	718	26.10.07	04.12.07		36.9	+	+11:31 21.11.10	In operation
	18	-3	724	25.09.08	25.10.08		25.9	+	+11:30 21.11.10	In operation
	19	03	720	26.10.07	25.11.07		36.9	+	+09:59 21.11.10	In operation
	20	02	719	26.10.07	27.11.07		36.9	+	+09:59 21.11.10	In operation
	21	04	725	25.09.08	05.11.08		25.9	+	+09:59 21.11.10	In operation
	22	-3	731	02.03.10	28.03.10		8.7	+	+09:59 21.11.10	In operation
			726	25.09.08	13.11.08	31.08.09	25.9			Spare
	23	03	732	02.03.10	28.03.10		8.7	+	+10:30 21.11.10	In operation
		714	25.12.05	31.08.06	19.03.10	58.9			Spare	
24	02	735	02.03.10	28.03.10		8.7	+	+11:31 21.11.10	In operation	

Obydwa systemy nawigacji bazują na podobnej koncepcji obliczania pozycji geodezyjnej odbiornika, gdzie do jej wyznaczenia trzeba odbierać sygnały nawigacyjne z co najmniej 4 satelitów. Położenie orbit satelitów przedstawia Rys. 1 i Rys. 2.



Rys. 1 System GPS



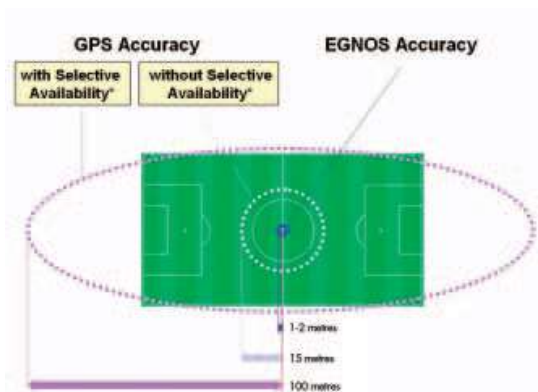
Rys. 2 System GLONASS

3. EGNOS

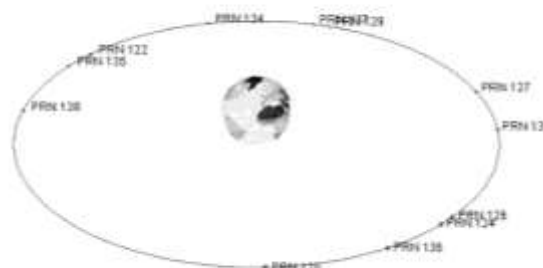
European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) [1][10] jest pierwszym powstałym w 2005 roku kompleksowym pan-europejskim przedsięwzięciem w dziedzinie nawigacji satelitarnej. Wspiera dwa, w pełni działające, wojskowe systemy nawigacji satelitarnej dostępne dla cywilnych zastosowań – GPS Navstar (USA) oraz GLONAS (FR), który eliminuje ograniczenia w dokładnym pozycjonowaniu systemów GNSS. EGNOS w sposób ciągły monitoruje konstelacje satelitów GPS i dostarcza użytkownikom w czasie rzeczywistym danych korekcyjnych w celu zagwarantowania najwyższej precyzji w określaniu lokalizacji geograficznej. Komunikaty EGNOS są przekazywane na terytorium Europy poprzez sieć 12 satelitów geostacjonarnych Inmarsat-3 oraz z satelitą ESA Artemis (Rys. 4). W skład systemu wchodzi również 34 naziemne stacje monitorujące. Dzięki temu, wykorzystując te dane, możliwe jest tworzenie różnorodnych aplikacji nawigacyjnych dla lotnictwa, marynarki, czy ruchu naziemnego.

Dla aplikacji nawigacyjnych wspomagających ruch naziemny w przestrzeniach zabudowanych (gdzie klasyczny system GPS może nie działać) ESA w 2001 roku uruchomiła serwis dostarczający dane nawigacyjne do użytkowników poprzez Internet (SISNeT technology), który wspiera penetrację w gęstej i wysokiej zabudowie miejskiej, wykorzystując mobilne terminale bezprzewodowe. Obecnie SISneT jest jedną z wielu usług łączących systemy nawigacji satelitarnej z sieciami bezprzewodowymi. Obecnie ESA pracuje nad nową koncepcją przesyłu danych EGNOS Data Access System (EDAS) w pełni łączącym możliwości systemów nawigacji satelitarnej i łączności bezprzewodowej.

Precyzja pozycjonowania (Rys. 3) przy użyciu systemu EGNOS w stosunku do powszechnie używanego GPS zwiększona zostaje do ok. 2 m w stosunku do ok. 20 m.



Rys. 3 Dokładność pozycjonowania



Rys. 4 System EGNOS

EGNOS jest wspólnym przedsięwzięciem Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA), Komisji Europejskiej (EC) oraz Europejskiej Organizacji ds. Bezpieczeństwa Żeglugi Powietrznej EUROCONTROL. Pełne uruchomienie systemu nastąpiło 1 września 2009 roku.

4. PRACE BADAWCZE

Dokładność pozycjonowania [2] badana była z wykorzystaniem zainstalowanego w Laboratorium Wirtualnego Latania odbiornika PolaRx-3 firmy Septentrio (Rys. 5). Odbiornik nawigacji satelitarnej PolaRx-3 jest specjalizowanym odbiornikiem

przeznaczonym do użycia w nawigacji lotniczej lub do budowy stacji referencyjnych. Przeznaczony jest do odbioru sygnałów nawigacyjnych z systemów GPS, GLONASS oraz SBAS/EGNOS. Zawiera 24-kanalowy dwuzakresowy (pasma L1 i L2) odbiornik radiowy oraz wbudowany i opatentowany algorytm estymacji pozycjonowania APME (A Posteriori Multipath Estimator) działający dla systemów GPS, GLONASS i GLONASS-M. Dokładność pozycjonowania wynosi odpowiednio:

Position accuracy:		
	Horizontal [m]	Vertical [m]
Standalone	1,5	2,5
SBAS	0,9	1,6
DGPS	0,5	0,9

Measurement precision:		
C/A pseudoranges		GPS (smoothed)
	5 cm	GPS (multipath disabled)
	0,16 m	GPS (multipath enabled)
	0,20 m	GLONASS (multipath disabled)
	0,25 m	GLONASS (multipath enabled)
	0,35 m	GLONASS (multipath disabled)

Odbiornik jest w stanie odbierać dane nawigacyjne z maksymalną częstotliwością 20 Hz. Dwuzakresowa L1/L2 antena została umieszczona na dachu budynku AEiI (Rys. 6).

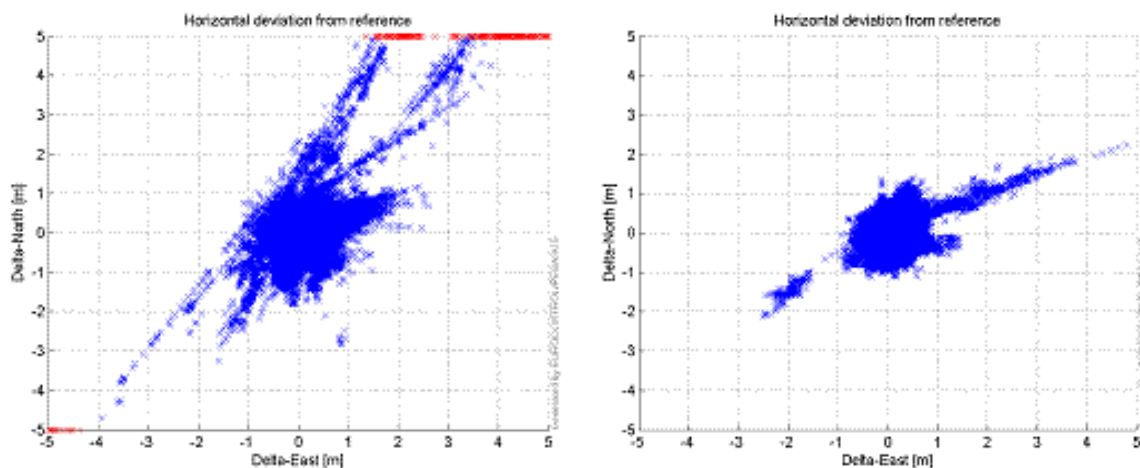


Rys. 5 Odbiornik PolaRx-3



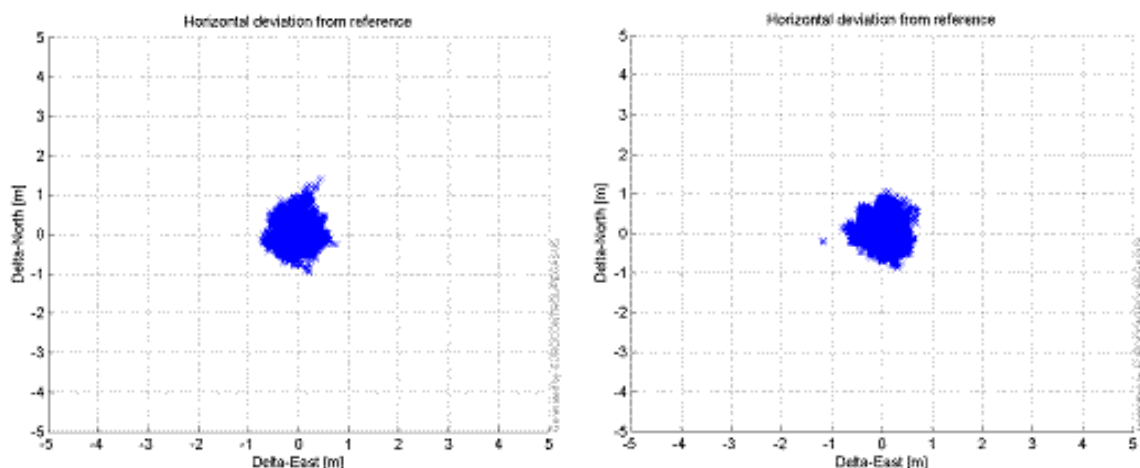
Rys. 6 Antena odbiornika PolaRx

Badanie dokładności pozycjonowania przeprowadzono w całym okresie trwania projektu badawczego za pomocą różnych narzędzi programistycznych. Za pomocą oprogramowania PEGASUS możliwa jest analiza pozycjonowania w wybranym zakresie czasowym, a wyniki prezentowane są w postaci graficznej. Rys.7 przedstawia graf odchylenia horyzontalnego od pozycji referencyjnej anteny odbiornika (Horizontal Deviation) w ciągu doby z dni 15 czerwca 2009 r. i 24 czerwca 2009 r. z włączoną korekcją pozycjonowania EGNOS odbieranego z satelity PRN126 (Inmarsat). System EGNOS nie osiągnął jeszcze pełnej gotowości operacyjnej.



Rys. 7 PRN 126 Odchylenie poziome 15/06/2009 i 24/06/2009

Rys.8 przedstawia graf odchylenia horyzontalnego HD od pozycji referencyjnej anteny odbiornika w ciągu doby z dnia 26 maja 2010 r. i 05 maja 2010 r. z włączoną korekcją pozycjonowania EGNOS odbieranego z satelity PRN126 (Inmarsat). System EGNOS osiągnął pełną gotowość operacyjną 1 września 2009 roku. Widać wyraźną poprawę dokładności pozycjonowania po oddaniu do komercyjnego zastosowania systemu EGNOS.



Rys. 8 PRN 126 Odchylenie poziome 26/05/2010 i 05/06/2010

5. LABORATORIUM WIRTUALNEGO LATANIA

LWL jest w posiadaniu symulatorów lotniczych FNTP II i FNTP/MCC spełniających wymagania JAR STD-3A przedstawione na Rys.9 i Rys.10:

Symulatory ELITE:

- FNTP II S812 Cessna 172
- FNTP II/MCC S923 Beech King Air B200

Symulatory FLYIT:

- PHS (śmigłowce) m.in. Bell 206
- PAS (samoloty) m.in. Piper Seneca III



Rys. 9. Symulator PHS i PAS



Rys. 10. Symulatory FNTP II/MCC i FNTP II

Zmienione oprogramowanie symulatora PHS [3] umożliwia przeprowadzanie lotów testowych z wykorzystaniem procedur LPV. Na Rys.12 przedstawiono widok z kabiny śmigłowca podczas wykonywania testowej procedury LPV w trakcie podchodzenia do lądowania na międzynarodowym lotnisku Pyrzowice EPKT podczas przelotu przez WPT KT27E z zadanymi parametrami lotu:

- Speed 118.3 knots³
- Altitude 2860 feet
- Climb -33.2 feet/min

³ Węzeł (ang. Knot) – tradycyjna jednostka prędkości stosowana w lotnictwie, 1 węzeł = 1 NM/h



Rys.13. KT27E WPT

6. WNIOSKI

Implementacja oprogramowania umożliwiającego symulację wykonywania procedur LPV w środowisku Symulatora Lotu, otwiera szerokie możliwości ich wdrażania na rzeczywistych obiektach lotnictwa cywilnego. Dzięki temu skróceniu ulega proces ich projektowania i walidacji, a w efekcie końcowym daje wymierne oszczędności finansowe i zwiększa bezpieczeństwo ich wdrażania na lotniskach cywilnych. Poprzez wielokrotne testowanie w środowisku wirtualnym z wykorzystaniem różnych scenariuszy podejść możliwe jest ich pełne dopracowanie. Po stworzeniu bazy procedur LPV dla różnych lotnisk w środowisku symulatora lotu możliwe jest rozpoczęcie procesu szkolenia pilotów statków powietrznych w celu doskonalenia ich zdolności nawigacyjnych. Ma to ogromne znaczenie dla zwiększenia bezpieczeństwa operacji lotniczych. Próby wdrożenia opisywanych procedur na obiektach rzeczywistych są planowane na koniec 2013 roku na lotnisku Babice.

7. LITERATURA

- [1] Cyran K.A., Sokołowska D., Zazula A., Szady B., Antemijczuk O.: Data gathering and 3D-visualization at OLEG multiconstellation station in EDCN system, Proc. 21st International Conference on Systems Engineering, Las Vegas, USA , 221-226, 2011.
- [2] Antemijczuk O., Szady B., Cyran K.A.: Integrity Events Analysis at OLEG GNSS Station in EGNOS Data Collection Network, in Man-Machine Interactions 2 (T. Czachorski et al. Eds.), Advances in Intelligent and Soft Computing 103, Springer, 95-103. 2011.
- [3] Antemijczuk O., Sokołowska D., Cyran K. A.: Integration of the MS ESP flight simulator with GNSS-based guidance system, Recent Advances in Systems Science and Mathematical Modelling, Paris, 2012.
- [4] CSFSTD(A) , EASA Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices, EASA, 2012.
- [5] CSFSTD(H) EASA Certification Specifications for Helicopter Flight Simulation Training Devices, EASA, 2012.

- [6] AMC 20-28, Airworthiness Approval and Operational Criteria related to RNAV for GNSS approach operation to LPV minima using SBAS, 2012.
- [7] Fellner A.: LPV flight trials in Poland, Communications in computer and information system, VII.2011.
- [8] Fellner A., Jafernik H., Trómiński P.: RNAV GNSS niezbędnym etapem implementacji LUN i szansą dla polskiego General Aviation, Prace Instytutu Lotnictwa Nr 211/2011.
- [9] Fellner A., Banaszek K, Trómiński P, Zadrag P.: RNAV GNSS Essential Step for the LUN Implementation and the Chance for the Polish General Aviation, Methods and algorithms in navigation; A. Weintrit, T. Neumann (editors), 2011 Londyn.
- [10] Fellner A., Banaszek K, Trómiński P.: The satellite based augmentation system EGNOS for non-precision approach global navigation satellite system, Problemy Transportu, Międzynarodowe Czasopismo Naukowe, Tom 7, Zeszyt 1 2012, Gliwice.
- [11] Fellner A.: Implementacja procedur podejścia RNAV EGNOS/GNSS w ramach projektu „HEDGE”, Biuletyn Wewnętrzny PAŻP Nr 6 2012.
- [12] Materiały Projektu FP 7 „Helicopters Deploy GNSS in Europe – HEDGE”, Collaborative Project, Response to FP7-GALILEO-2007-GSA-1.
- [13] FP 7 „EGNOS Introduction in European Eastern Region, Fellner Andrzej, Jafernik Henryk, Trómiński Paweł, Lotnicza walidacja procedur LPV w ramach eksperymentalnych podejść RNAV EGNOS/GNSS.
- [14] Satelitarne metody wyznaczania pozycji we współczesnej geodezji i nawigacji, Komisja Badań Kosmicznych i Satelitarnych KBKiS PAN, 2-4.VI. 2011 r., Wrocław.

IMPLEMENTATION OF LPV PROCEDURES IN AERIAL SIMULATORS

Abstract. Thanks to the capabilities of the EGNOS system it became possible to introduce in civil aviation global satellite system non-precision approaches NPA RNAV (GNSS) as the basic navigation system. As part of research work conducted on FNTF simulators, new algorithms and navigation systems were implemented enabling approach procedures using the GNSS SBAS 3D satellite navigation system. The paper describes the implementation of LPV procedures in FNTF II aerial simulators at the Virtual Flight Laboratory of the Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science of the Silesian University of Technology.

Keywords: procedures LPV, satellite navigation, GNSS system, GPS, GALILEO, GLONASS ICAO, EGNOS, SBAS, ABAS, Lateral Guidance, Vertical Guidance, RNAV procedures, SISneT service, FNTF II, FNTF II/MCC simulators, PHS, PAS simulators.