

Andrzej FELLNER, Radosław FELLNER

IMPLEMENTACJA PROCEDUR POODEJŚCIA RNAV EGNOS/GNSS W RAMACH PROJEKTU „HEDGE”

Streszczenie

W ramach projektów „HEDGE” oraz „EGNOS Introduction to the European Eastern Region: MIELEC” realizowano temat „General Aviation EGNOS APV Development and Demonstration in Poland”. Najważniejszym jego elementem były eksperymenty lotnicze polegające na wykonywaniu najtrudniejszej fazy, podejścia do lądowania wg. systemu EGNOS/GNSS. Po wykonaniu nowych procedur podejścia do lądowania RNAV GNSS, wprowadzeniu ich do bazy danych Jeppesen, scertyfikowaniu przez EASA (European Aviation Safety Agency) odbiornika pokładowego, uzyskania operacyjności przez system EGNOS, zasadne i konieczne stało się wykonanie eksperymentów lotniczych. W związku z tym 14 marca 2011 r., w MPL Katowice – Pyrzowice (EPKT), wykonane zostały pierwsze w Polsce, cztery eksperymentalne podejścia do lądowania EGNOS/GNSS z prowadzeniem pionowym (LPV). Natomiast 15 marca 2011 r. eksperymentalne podejścia do lądowania LPV EGNOS/GNSS wykonane zostały na lotnisku Mielec (EPML). W tym przypadku wykonane zostały nieprecyzyjne podejścia, gdyż na tym lotnisku nie funkcjonowały żadne systemy radionawigacyjne.

WSTĘP

Polska Agencja Żeglugi Powietrznej (PAŻP) oraz Centrum Badań Kosmicznych i Satelitarnych Polskiej Akademii Nauk (CBK PAN) to dwie instytucje aktywnie działające na niwie implementacji technik i technologii satelitarnych w lotnictwie. Jednak zaznaczyć należy, że pierwsze projekty zainicjowała i prowadziła PAŻP - praktycznie od 2005 r., instalując pierwszy w Polsce odbiornik „Septentrio” dla potrzeb lotnictwa. Zbiera on informacje o funkcjonowaniu, testowanego systemu EGNOS (Europejski Satelitarny System Wspomagania - European Geostationary Navigation Overlay Service). Do tego grona w ostatnich latach dołączyła Politechnika Śląska, która zainstalowała w Gliwicach odbiornik też „Septentrio”, który zbierane dane przesyła do ESSP (European Satellite Services Provider - Europejski Dostawca Usług Satelitarnych). Bardzo dobrze się stało, że nastąpiło sprzężenie instytucji działającej operacyjnie - PAŻP z naukowymi ośrodkami badawczymi, które powinny wspomagać swoim potencjałem przygotowania technicznych rozwiązań instalacji na lotniskach i na pokładach statków powietrznych, współcześnie użytkowanych statków powietrznych, w ramach certyfikowanych projektów i procedur. Pod tym pojęciem trzeba rozumieć dwa typy certyfikacji: 1) techniczne i 2) procedury operacyjne w locie (podejścia i lądowania dla statków powietrznych i lotnisk). Szczególnie brane jest pod uwagę bezpieczeństwo wykonywania lotów oraz Safety Case (analizy bezpieczeństwa). Odpowiednio przeszkolony specjalista, w oparciu o przygotowaną dokumentację techniczną, wykonuje niezbędną instalację wyposażenia systemu EGNOS, zarówno na pokładzie statku powietrznego jak i na lotnisku, a następnie wykonuje certyfikacyjne loty. Tenże odpowiednio przygotowany specjalista powinien również nadzorować i prowadzić praktyczne szkolenie dla personelu latającego i naziemnego, którego celem jest zapoznanie z funkcjonowaniem systemu EGNOS oraz jego implementacja podczas lotów i procedur podejścia i lądowania. Z europejskich dokumentów normatywnych wynika, że system EGNOS jest i będzie stosowany zarówno dla potrzeb cywilnych jak i militarnych. Koordynatorem projektów związanych z technikami i technologiami satelitarnymi, na naszym kontynencie, jest Europejska Agencja Przestrzeni Kosmicznej - ESA (European Space Agency), która liczy 22 państwa członkowskie [14]. Podejmowane są

wspólne projekty, niemożliwe do realizacji indywidualnej przez państwo. Projekty te generują nową wiedzę naukową i nowe praktyczne aplikacje w eksploracji kosmicznej i przyczyniają się do energicznego rozwoju europejskiego przemysłu lotniczo-kosmicznego.



Rys. 1. Europejskie Centrum Badań Kosmicznych i Technologii.

ESA ma swoje punkty w kilku europejskich państwach. Jednak na szczególną uwagę zasługuje Europejskie Centrum Badań Kosmicznych i Technologii - ESTEC (European Space Research and Technology Centre), znajdujące się w Noordwijk. Jest to najważniejsze miejsce i techniczne centrum ESA, również określane jako inkubator kosmicznego europejskiego wysiłku. ESTEC jest organizatorem, odbywających się co dwa lata, warsztatów, podczas których prezentowane są wyniki działań w zakresie GNSS (Światowy Nawigacyjny System Satelitarny - Global Navigation Satellite System).

1. PIERWSZE W POLSCE EKSPERYMENTALNE LĄDOWANIE EGNOS/GNSS

Nadzór nad implementacją technik i technologii satelitarnych w lotnictwie, sprawują w UE EUROCONTROL i GSA. Natomiast za certyfikację odpowiada Urząd Lotnictwa Cywilnego a PAŻP ma zapewnić pracę operacyjną systemów i pomocy nawigacyjnych. Implementacja i certyfikacja systemu EGNOS/GNSS wymaga znacznych sił i środków, więc problematyka ta była podejmowana

w Europejskich Programach Ramowych (6. i 7. i jest kontynuowana w „Horyzoncie 2020”), przez specjalnie powoływane do tego celu międzynarodowe konsorcja.



Rys. 2. Propozycja programu wykonywania podejść.

Realizacja własnych projektów, aktywne uczestnictwo na forum międzynarodowym w zespołach problemowych, zajmujących się zastosowaniem GNSS dla potrzeb lotnictwa oraz konieczność ich implementacji w Polsce, spowodowały, że PAŻP zaproszona została do międzynarodowego konsorcjum, realizującego projekty „HEDGE” oraz „EGNOS Introduction to the European Eastern Region: MIELEC”. W ramach tych projektów realizowany był temat „General Aviation EGNOS APV Development and Demonstration in Poland”. Najważniejszym elementem były eksperymenty lotnicze, polegające na wykonywaniu najtrudniejszej fazy, podejścia do lądowania wg. systemu EGNOS/GNSS [5].

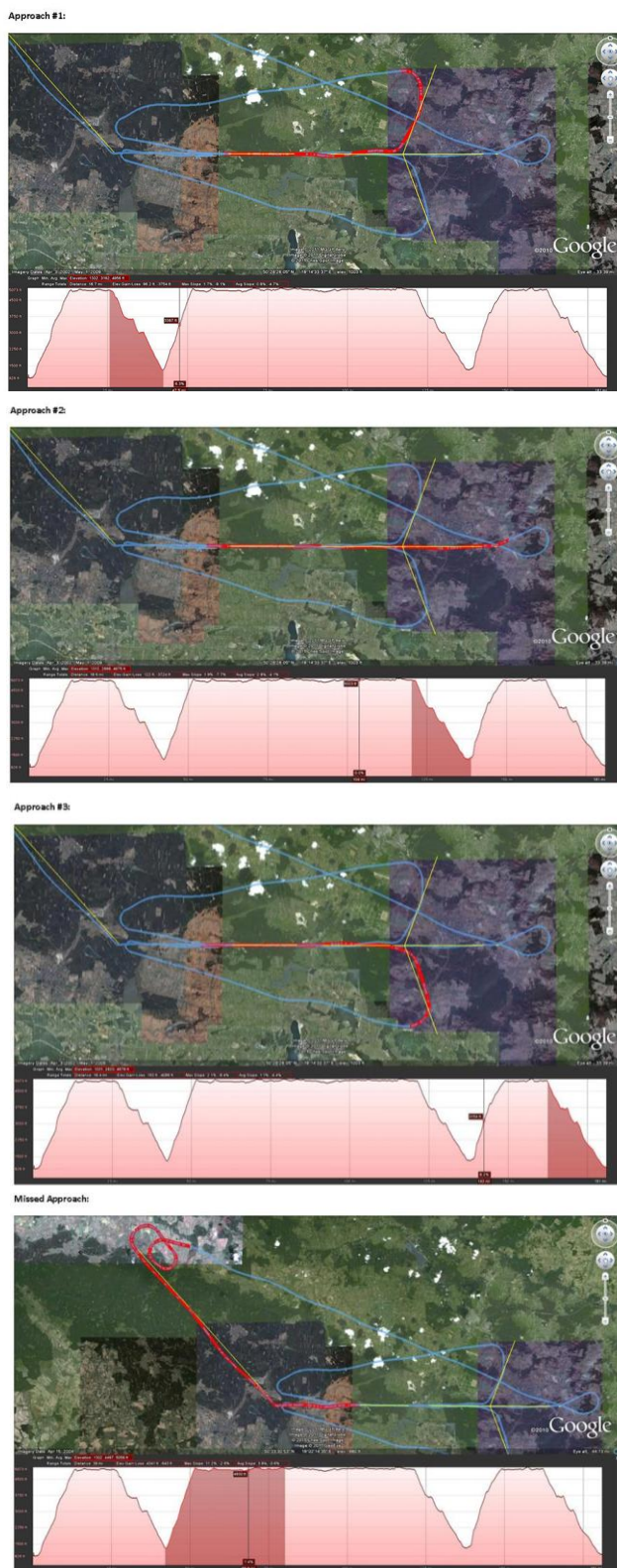
Proces certyfikacji nowego systemu w lotnictwie jest długotrwały [3, 8]. Toteż w celu skrócenia czasu implementacji GNSS, przy zachowaniu odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa, przyjęto następujące założenia i podjęto działania:

- wykonanie procedur podejścia do lądowania GNSS metodą nakładkową;
- procedur podejścia RNAV/GNSS dla wybranych lotnisk;
- zastosowanie pokładowych, certyfikowanych odbiorników GNSS;
- wykonanie lotów technicznych, w celu sprawdzenia założonych rozwiązań;
- operacyjność systemu EGNOS
- loty eksperymentalne w ramach programów
- zebrania niezbędnych materiałów i opracowanie dokumentów, koniecznych do certyfikacji.

Zasadne jest podanie, że już zostały opracowane nowe procedury RNAV/GNSS dla lotnisk komunikacyjnych: Gdańsk, Kraków, Katowice oraz niekomunikacyjnego Mielec – reprezentanta lotnictwa ogólnego (General Aviation). Kolejne lotniska, szczególnie mniejsze, widzą szansę swojego rozwoju m.in. w podejściach do lądowania opartych o GNSS. Natomiast zastosowana metoda nakładkowa spełnia wymagania bezpieczeństwa, gdyż procedura GNSS „pokrywa się” z procedurą standardowej pomocy, systemu nawigacyjnego. W razie awarii jednego systemu, pomocy nawigacyjnej, możliwe jest kontynuowanie lotu w oparciu o inny.

W ramach projektów „HEDGE” oraz „EGNOS Introduction to the European Eastern Region: MIELEC”, po wykonaniu nowych procedur podejścia do lądowania RNAV GNSS oraz wprowadzeniu ich do bazy danych Jeppesen’a, scertyfikowaniu przez EASA (European Aviation Safety Agency) odbiornika pokładowego, uzyskania operacyjności przez system EGNOS, zasadne i konieczne

stało się wykonanie eksperymentów lotniczych. W związku z tym 14 marca 2011 r., w MPL Katowice – Pyrzowice (EPKT), wykonane zostały pierwsze w Polsce, cztery eksperymentalne podejścia do lądowania EGNOS/GNSS (rys. 3), z prowadzeniem pionowym (LPV).

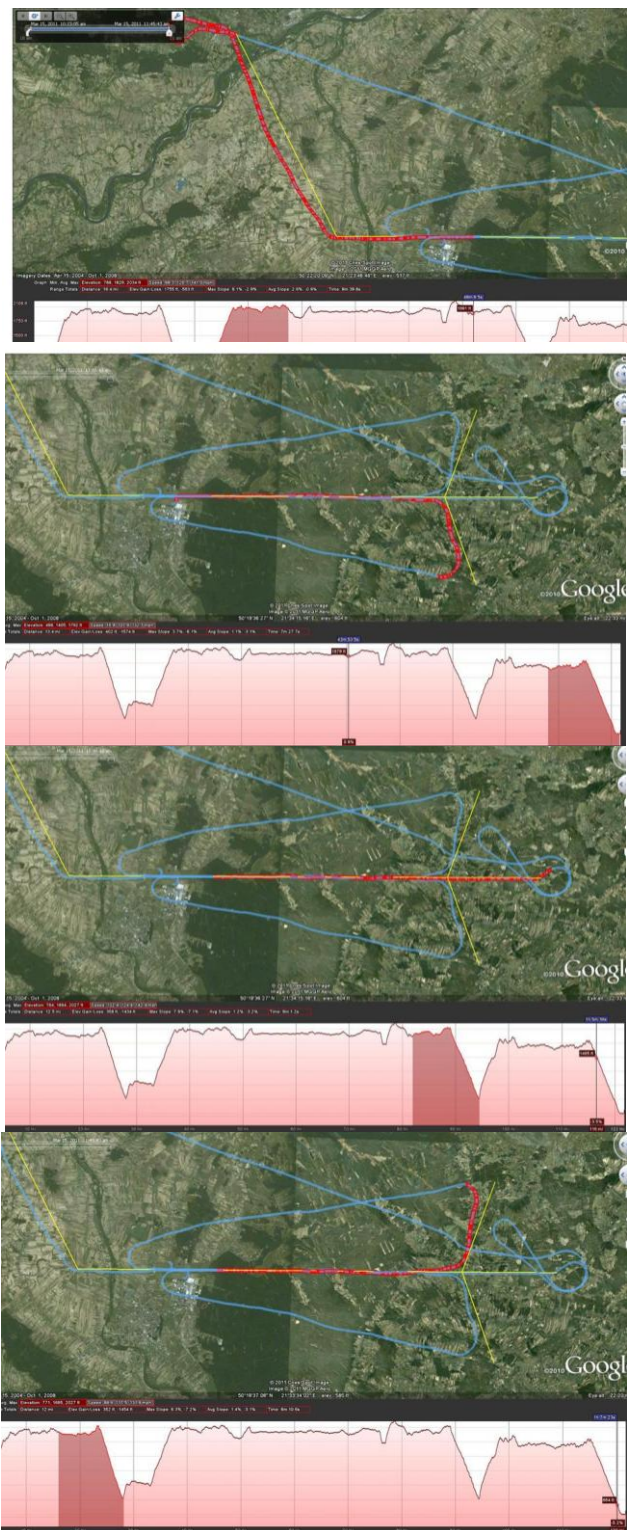


Rys. 3. Katowice (EPKT): Eksperymentalne podejścia do lądowania LPV EGNOS/GNSS.

Zasadne jest podkreślenie, że obserwowali ten eksperyment przedstawiciele: Ministerstwa Infrastruktury, Urzędu Lotnictwa Cy-

wilnego oraz European Satellite Service Provider - ESSP (na zlecenie Komisji Europejskiej zarządzają systemem EGNOS).

Natomiast 15 marca 2011 r. eksperymentalne podejścia do lądowania LPV EGNOS/GNSS (rys.4), wykonane zostały na lotnisku Mielec (EPML). W tym przypadku wykonane zostały nieprecyzyjne podejścia, gdyż na tym lotnisku nie funkcjonują żadne systemy radionawigacyjne [6].



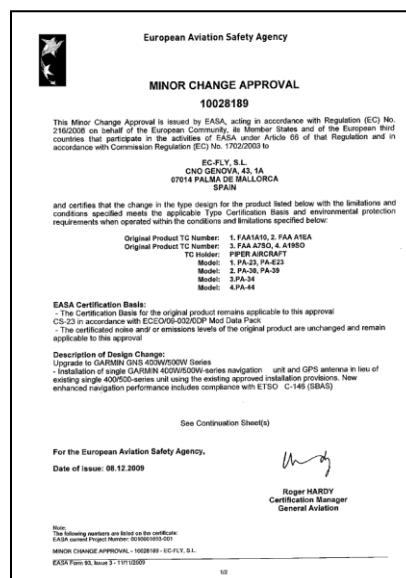
Rys. 4. Mielec (EPML): Eksperymentalne podejścia do lądowania LPV EGNOS/GNSS.

Pierwsze w Polsce eksperymentalne loty i podejścia do lądowania LPV EGNOS/GNSS, w ramach programów „HEDGE” oraz

„EGNOS Introduction to the European Eastern Region: MIELEC”, wykonane zostały samolotem Piper PA-34 Seneca II, firmy funkcjonującej w konsorcjum „Royal Star Aero” (rys. 5), wyposażonego w certyfikowany przez EASA odbiornik Garmin GNS430W i posiadający w swojej bazie danych, wprowadzone przez Jeppensen’a procedury podejścia GNSS (rys. 6).



Rys. 5. Samolot Piper PA-34 Seneca II realizujący podejścia LPV EGNOS/GNSS.



Rys. 6. Certyfikat i odbiornik Garmin GNS 430W.

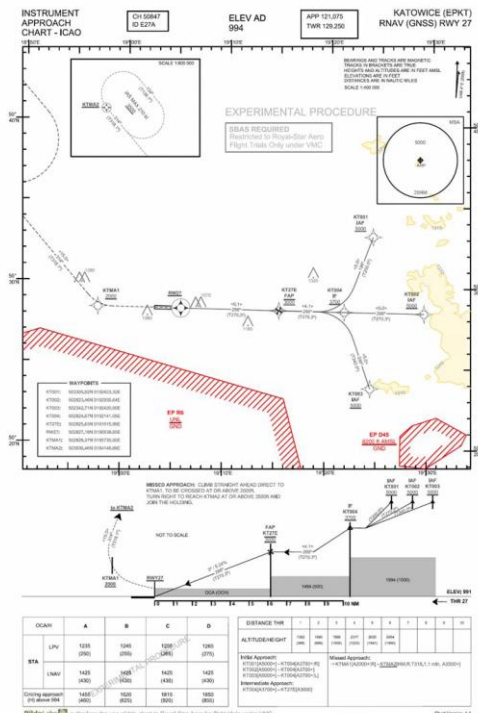
2. WYBRANE ELEMENTY LOTNICZEJ WALIDACJI W EPKT

Zastosowanie technik i technologii satelitarnych, nabiera szczególnego znaczenia w nawigacji obszarowej (RNAV). Według definicja, metoda ta umożliwia statkowi powietrznemu wykonywanie operacji lotniczych na dowolnie wybranym kursie, ale wewnątrz obszaru funkcjonowania naziemnego systemu radiotechnicznego lub wewnątrz własnego, pokładowego systemu umożliwiającego bezpieczną nawigację. Jest też wariant trzeci, czyli połączenie naziemnego i pokładowego. W związku z tym, metoda RNAV pozwala na ekonomiczne i elastyczne użytkowanie przestrzeni powietrznej oraz realizację trzech zasadniczych zadań:

1. Trasa lotu zaplanowana pomiędzy dowolnie wybranymi punktami: startu i lądowania, redukuje odległość lotu oraz separacje w ruchu lotniczym.
2. Statek powietrzny może dotrzeć do końcowego rejonu, obszaru, punktu, zmieniając zaprogramowaną przed wylotem trasę, przyspieszając jednocześnie przepływ ruchu lotniczego.
3. Podejścia przyrządowe mogą być rozwijane i certyfikowane na lotniskach nie posiadających lokalnych pomocy nawigacyjnych, umożliwiających przyrządowe lądowanie na tych lotniskach.

Ustawiając odpowiednio końcowy punkt, podejścia RNAV, można uzyskać kilka minimów zniżania w zależności od wymaganego rodzaju podejścia do lądowania:

- RNAV (GNSS) NPA - podejście nieprecyzyjne bez zmiany wysokości pionowego, lot wykonywany do MDA/H, według LNAV.
- Baro APV - : podejście z barometryczną zmianą wysokości, lot wykonywany do DA/H, według LNAV/VNAV.
- APV SBAS - podejście z geometrycznymi zmianami pionowymi i poziomymi, lot wykonywany do DA/H według LPV.



Rys. 7. Procedura podejścia EGNOS/GNSS dla EPKT.

Zasadne jest podanie, że podczas 36 Zgromadzenia ICAO w 2007r. podjęto rezolucję pobudzającą państwa do implementowania procedur Baro - VNAV oraz SBAS dla wszystkich przyrządowych

dróg startowych, przewidując zakończenie tego procesu do 2016 (dla zasadniczego i pomocniczego kierunku) [7, 8, 9, 10, 11]. Europejski system SBAS - EGNOS stanowi realne rozwiązanie dla podejść typu APV [1]:

- system nawigacyjny specjalnie przeznaczony do operacji podejścia;
- obejmuje obszar Europy;
- zapewnia wysoką dokładność i wiarygodność;
- nie potrzebuje żadnej infrastruktury na lotniskach;
- wspiera sprzężony z autopilotem;
- awionika minimalizuje koszty.

Eksperymentalne podejścia do lądowania LPV EGNOS/GNSS dla EPKT (rys. 3) wykonywane były w oparciu o specjalnie opracowaną i wprowadzoną do bazy danych procedurę (rys. 7). Tym samym wyznaczone zostały charakterystyczne punkty (Tab. 1).

Tab. 1. Punkty na trasie lotu.

Fixes	WP	Coordinates (WGS84)		
		Longitude	Latitude	Altitude
IAF	KT001	503305.92N	0192423.32E	50.55164N, 19.40648E
	KT002	502823.46N	0192930.64E	50.47318N, 19.49184E
	KT003	502342.71N	0192420.00E	50.3952N, 19.40556E
IF	KT004	502824.67N	0192141.05E	50.47352N, 19.3614E
FAP	KT27E	502825.63N	0191515.99E	50.47379N, 19.25444E
LTP	RW27	502827.19N	0190538.65E	50.47422N, 19.09407E
	KTMA1	502828.37N	0185730.00E	50.47455N, 18.95833E
	KTMA2	503936.46N	0184148.88E	50.66013N, 18.69691E

Poniższe rysunki prezentują trasę podejścia oraz profil lotu, podczas wykonywania trzech kolejnych podejść. Są na nich również zaznaczone punkty orientacyjne i próg pasa startowego.

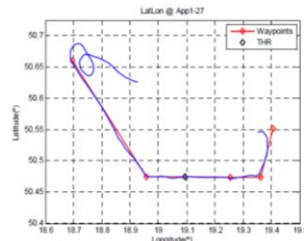


Figure 4-3: App1. Plan view of A/C flight path

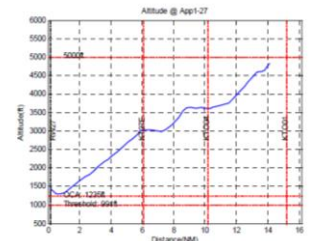


Figure 4-4: App1 A/C Altitude profile

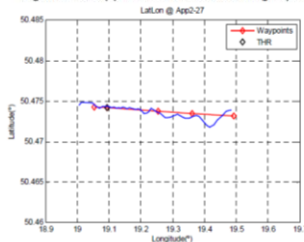


Figure 4-5: App2. Plan view of A/C flight path

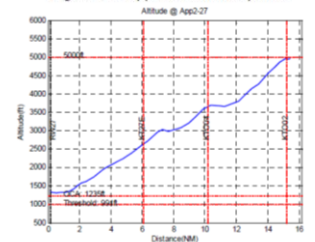


Figure 4-6: App2. A/C Altitude profile

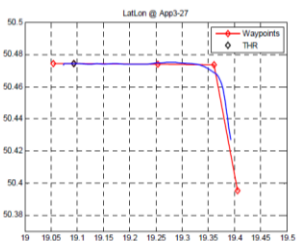


Figure 4-7: App3. Plan view of A/C flight path

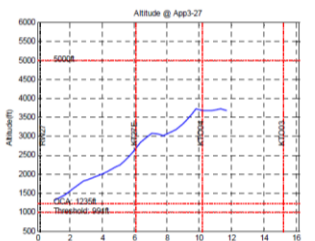
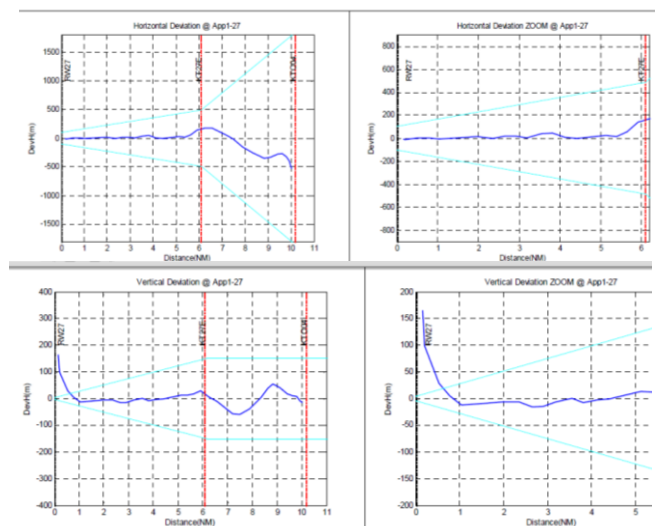


Figure 4-8: App3. A/C Altitude profile

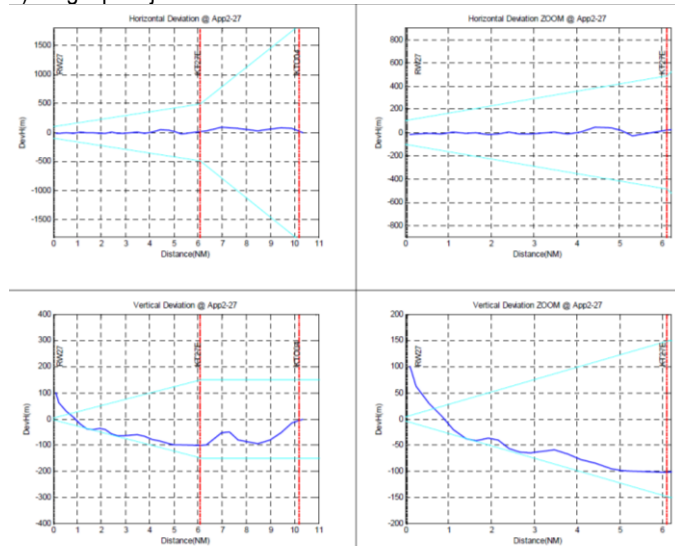
Rys. 8. Trasa podejścia oraz profil lotu.

Podczas wykonywania powyżej zaznaczonych podejść zarejestrowane zostały, poniżej przedstawione pionowe i poziome odchylenia.

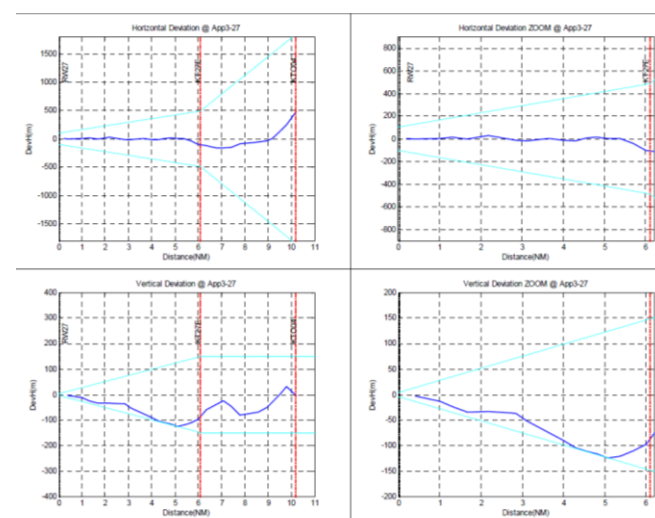
a) podejście pierwsze



b) drugie podejście



c) trzecie podejście



Rys. 9. Odchylenia pionowe i poziome.

W oparciu o przeprowadzone badania, opracowany został dla European Organisation for the Safety of Air Navigation (Eurocontrol)

„Flight Validation report: RNAV GNSS approach procedure EPKT and EPML”. Równocześnie przygotowana jest dokumentacja, która posłuży do przeprowadzenia przez ULC lotniczej certyfikacji systemu EGNOS/GNSS, podczas wykonywania operacji RNAV.

PODSUMOWANIE

Realizacja projektów „HEDGE” oraz „EGNOS Introduction to the European Eastern Region: MIELEC”, a szczególnie uzyskane wyniki podczas eksperymentów, umożliwiły wyciągnięcie zasadniczych wniosków:

1. ULC jest zainteresowany implementacją procedur RNAV, w możliwie najkrótszym terminie, dla kilku lotnisk. Jednakże w odróżnieniu od USA, Francji albo Niemiec, w Polsce, nawigacja IFR oparta na GPS (podstawowy GNSS) obecnie nie jest zaakceptowana.
2. Wymagana jest współpraca naukowo-badawcza w procesie implementacji procedur RNAV GNSS, poprzez realizację europejskich programów satelitarnych [4, 13].
3. Konieczne jest opracowanie i zatwierdzenie w ULC programu dotyczącego przygotowania użytkowników (personel naziemny i latający), w zakresie korzystania z technik i technologii satelitarnych, procedur operacyjnych.
4. Uwzględnienie w dydaktyce lotniczej systemów; GIS, PEGASUS.
5. Potwierdzenie korzyści stosowania GNSS w operacjach obszarowych w przestrzeni kontrolowanej,
6. Potwierdzenie korzyści wynikających ze stosowania podczas podejścia procedury GNSS APV,
7. Niezbędne jest określenie RNAV GNSS na kartach podejścia:
 - LNAV - podejście nieprecyzyjne dostarczające tylko bocznych wskazówek (lewo, prawo od strony kursu). Lot do
 - MDA. Lot może być wykonywany do LNAV minimami IFR na bazie odbiornika GNSS, z lub bez wspomaganie, rozszerzenia.
 - LNAV i VNAV - funkcje autopilota zespolone z FMS
 - VNAV - pionowa nawigacja (odpowiada za wysokość i prędkość nad danymi punktami)
 - LNAV/VNAV – precyzyjne podobne do APV, lot do DA na ścieżce zniżania. Lot z minimami LNAV/VNAV używa SBAS odbiornika oraz FMS z baro-VNAV.
 - LPV (Localizer - Performance with Vertical guidance) - jako APV (precyzyjne-podobnie) podejście, w przeciwieństwie do LNAV/VNAV, nie można wykonywać lotu bez odbiornika GNSS. LPVs minima są niższe jak odpowiednik I Kat. podejścia ILS (200 ft DH/60 m).
 - RNAV (GNSS) NPA – bez zmiany lot jak LNAV MDA
 - APV SBAS - wspomagane przez np. WAAS, EGNOS [12].
8. Konieczne jest podejmowanie działań w zakresie SOAP - The SBAS Offshore Approach Procedure, umożliwiających również operacyjne zastosowanie procedur GNSS podczas lądowania śmigłowców.
9. Kolejne prace naukowo-badawcze związane z implementacją technik i technologii satelitarnych należy prowadzić zgodnie z wymaganiami zawartymi w Aneksie 10 ICAO (Tab.2) [15].
10. Konieczność przetwarzania danych satelitarnych i przekazywania użytkownikom przestrzeni powietrznej, również wymaga włączenia się do realizacji europejskich projektów związanych z implementacją nowej technologii SISNet.

Tab. 2. Wymagania charakterystyk sygnału w przestrzeni [15].

Typowa operacja	Dokładność pozioma 95 %	Dokładność pionowa 95 %	Integralność	Czas do alarmu	Ciągłość	Dostępność
Trasowa	3,7 km (2,0 NM)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$	5 min	$1-1 \times 10^{-4}/h$ do $1-1 \times 10^{-8}/h$	0,99 do 0,99999
Trasowa, terminalowa	0,74 km (0,4 NM)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$	15 s	$1-1 \times 10^{-4}/h$ do $1-1 \times 10^{-8}/h$	0,99 do 0,99999
Podejście początkowe, podejście pośrednie, podejście nieprecyzyjne (NPA) odlot	220 m (720 ft)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$	10 s	$1-1 \times 10^{-4}/h$ do $1-1 \times 10^{-8}/h$	0,99 do 0,99999
Operacje podejścia z prowadzeniem pionowym (APV-I)	16,0 m (52 ft)	20 m (66 ft)	$1-2 \times 10^{-7}/h$ w dowolnym podejściu	10 s	$1-8 \times 10^{-6}/h$ przez 15 s	0,99 do 0,99999
Operacje podejścia z prowadzeniem pionowym (APV-II)	16,0 m (52 ft)	8,0 m (26 ft)	$1-2 \times 10^{-7}/h$ w dowolnym podejściu	6 s	$1-8 \times 10^{-6}/h$ przez 15 s	0,99 do 0,99999
Podejście precyzyjne kategorii I	16,0 m (52 ft)	6,0 do 4,0 m (20 do 13 ft)	$1-2 \times 10^{-7}/h$ w dowolnym podejściu	6 s	$1-8 \times 10^{-6}/h$ przez 15 s	0,99 do 0,99999

BIBLIOGRAFIA

1. APV SBAS Approach - Concept of Operations, 28/01/09, Final Draft, Eurocontrol.
2. ECAC Navigation Strategy and Implementation Plan, version 6, July 2006, Eurocontrol.
3. EUR Document 001/RNAV/5 Guidance Material Relating to the Implementation of Area Navigation (RNAV) in the EUR Region, - Third Draft, 2002.
4. European Air Traffic Management Master Plan, edition 2, 2012.
5. Fellner A., Jafenik H., Trómiński P.: *Lotnicza walidacja procedur LPV w ramach eksperymentalnych podejść RNAV EGNOS/GNSS*, Konferencja Komisji Geodezji Satelitarnej Komitetu Badań Kosmicznych i Satelitarnych PAN „SATELITARNE METODY WYZNACZANIA POZYCJI WE WSPÓŁCZESNEJ GEODEZJI I NAWIGACJI”, 02-04 czerwca 2011, Wrocław.
6. Fellner A., Kustroń-Mleczak P.: *Metoda wyznaczania procedur podejścia do lądowania RNAV GNSS dla lotnisk GA*. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej - Transport, 103/2014, s. 78.
7. ICAO Doc 7754 European Region Air Navigation Plan, tom I "Basic ANP", 2001.
8. ICAO Doc 8168, Aircraft Operations, tom II "Construction of Visual and Instrument Flight Procedures", wydanie piąte, 2006.
9. ICAO Doc 9750, Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems, wydanie drugie, 2002.
10. ICAO Doc 9906, Quality Assurance Manual for Flight Procedure Design, tom V "Validation of Instrument Flight Procedures",
11. ICAO European Region Transition Plan to CNS/ATM, Release V 2.0, March 2004.
12. MOPS GPS/WAAS airborne equipment, DO-229, RTCA, 2006.
13. The 2015 Airspace Concept and Strategy for the ECAC Area & Key Enablers, v. 2.0., 2008.
14. www.esa.int/About_Us/Welcome_to_ESA/New_Member_States
15. Załącznik 10 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym, sporządzonej w Chicago dnia 7 grudnia 1944 r., Łączność lotnicza, tom I „Pomoce radionawigacyjne”, wydanie szóste, 2006.

IMPLEMENTATION OF THE RNAV/GNSS APPROACH PROCEDURES DURING „HEDGE” PROJECT

Abstract

As part of the projects "HEDGE" and "EGNOS Introduction to the European Eastern Region: MIELEC" carried out topic "General Aviation EGNOS APV Development and Demonstration in Poland". Most important element were flights experiments involving performance the most difficult phase - approach to landing by EGNOS/GNSS. After completing the new approach procedures for landing RNAV GNSS, entered into the database Jeppesen, certified of the receiver by European Aviation Safety Agency, achieved operational by the EGNOS system, it makes sense and it became necessary to execution of experiments at airports. Therefore, at 14 March 2011 in Katowice-Pyrzowice Airport (EPKT) were performed (first in Poland) four experimental LPV EGNOS/GNSS approaches. In contrast, at 15 March 2011 experimental LPV EGNOS/GNSS approaches were made at the Mielec Airport (EPML). In this case, they have been made imprecise approach, because at this airport did not operate any radio navigation systems.

Autorzy:

Fellner Andrzej - Katedra Technologii Lotniczych, Wydział Transportu Politechniki Śląskiej, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 13, (32) 603 40 58, andrzej.fellner@polsl.pl

Fellner Radosław - Centrum Kształcenia Kadr Lotnictwa Cywilnego Europy Środkowo-Wschodniej Politechniki Śląskiej, 40-019 Katowice, ul. Krasińskiego 13, rfellner@wp.pl