

Krzysztof Banaszek
Polska Agencja Żeglugi Powietrznej

NAWIGACJA OBSZAROWA ORAZ OSIĄGI SYSTEMÓW GNSS/EGNOS JAKO PODSTAWA DO POPRAWY POZYCJONOWANIA, SEPARACJI ORAZ WZROSTU POJEMNOŚCI LOTNISKA

Streszczenie: Zasady ICAO - RNP (Required Navigation Performance) umożliwiają poprawę dokładności pozycjonowania statku powietrznego w przestrzeni oraz poprawę minimów separacji co prowadzić może do wzrostu pojemności części lotniczej lotniska i przestrzeni wokół lotniska. W pracy analizowane są wartości odnoszące się do dokładności wyznaczenia pozycji z użyciem systemów GNSS / EGNOS oraz spełnienie kryteriów określonych w procedurach certyfikacji w kontekście wpływu na wzrost pojemności lotniska poprzez zastosowanie mniejszych separacji pomiędzy statkami powietrznymi. W roku 2010 EGNOS stanie się operacyjnym systemem wspomagającym GPS i pozwoli na implementację dokładności wyznaczania pozycji lepszej niż RNP-0.3. Metody wypracowane w ramach prowadzonych badań, pozwolą na przygotowanie analiz wzrostu przepustowości portu lotniczego wykonanych z użyciem opracowanej metodologii.

Słowa kluczowe: GNSS, RNAV, pojemność, pozycjonowanie

1. GENEZA I WYMAGANIA RNP ORAZ PBN

W wyniku prac Komitetu Specjalnego FANS (Future Air Navigation Systems) ICAO opracowała i opublikowała koncepcję technicznego zabezpieczenia cywilnej komunikacji lotniczej w zakresie usług nawigacyjnych. W ramach prac FANS zdefiniowano RNP (Required Navigation Performance Capability) [1] – parametr opisujący poziome odchylenie pozycji samolotu od zamierzonej trasy oraz dokładność pozycji wzdłuż zamierzonej trasy lotu. W trakcie dalszych prac w ramach ICAO, po uwzględnieniu uwag i sugestii międzynarodowych zespołów roboczych opublikowano w/w parametry jako RNP (Required Navigation Performance).

Wymagania RNP jako wymagania ogólne uzupełnione zostały następnie przez ICAO w dokumentach szczegółowych (Załączniki 10 do Konwencji ICAO) i opublikowane jako SARPs – Standards and Recommended Practices oraz specyfikacje dotyczące wyposażenia pokładowego. Oznaczenie poszczególnych typów wymagań nawigacyjnych

w danej przestrzeni lotniczej składa się ze skrótu RNP oraz wartości liczbowej opisującej dokładność nawigacji.

Nawigacja PBN ma wiele zalet w stosunku do obecnie stosowanych rozwiązań opartych o konkretne urządzenia nawigacyjne (VOR/DME, ILS/DME itd.), w szczególności:

- redukuje ilość zaprojektowanych i utrzymywanych tras lotniczych opartych o konkretne trasy (np. wyłączenie jednego urządzenia VOR może dziś spowodować brak dostępności kilkunastu procedur i tras lotu);
- zapobiega konieczności opracowania nowych procedur specyficznych dla danego urządzenia wraz z instalacją nowych urządzeń;

PBN jest jednym z kilku podstawowych elementów nowoczesnej koncepcji wykorzystania przestrzeni powietrznej. Związane z tym rozwiązania w zakresie łączności, dozoru i zarządzania ruchem lotniczym są pozostałymi elementami niezbędnymi do wdrożenia nowego podejścia do wykorzystania przestrzeni. Koncepcja PBN opiera się na założeniu wykorzystania systemów RNAV i w celu jej wdrożenia niezbędna jest realizacja dwóch elementów:

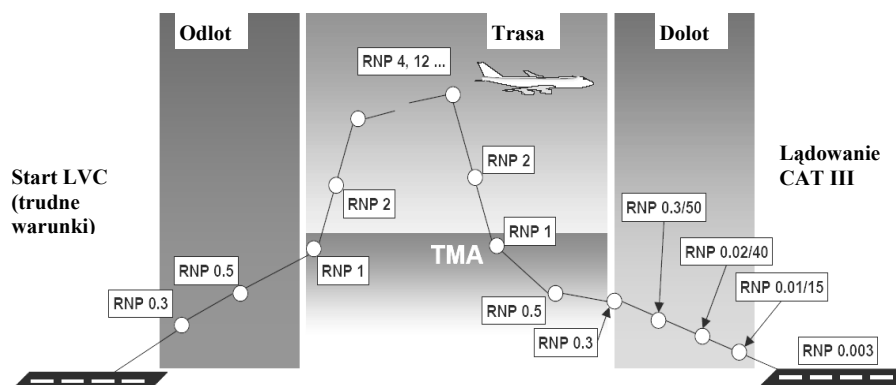
- infrastruktury nawigacyjnej;
- specyfikacji nawigacyjnych.

Zastosowanie powyższych rozwiązań w przestrzeni powietrznej oraz dla określonych faz lotu skutkuje możliwością zastosowania dokładniejszego rozwiązania nawigacyjnego.

2. DOKŁADNOŚĆ POZYCJONOWANIA SYTEMU GNSS (EGNOS) DLA ZASTOSOWAŃ RNAV (P-RNAV)

Dokładność wyznaczenia pozycji w oparciu o nawigację klasyczną / konwencjonalną np. VOR/DME mieści się w przedziale kilku NM. W przypadku zastosowania nawigacji P-RNAV z wykorzystaniem odpowiednio rozlokowanych pomocy DME/DME możliwe jest osiągnięcie dokładności pozycji około 1 NM.

W przypadku podejścia do lądowania z wykorzystaniem ILS/DME możliwe jest osiągnięcie dokładności, która zgodnie ze specyfikacją systemu wynosi 3% mierzonej odległości przy założeniu, że błąd nie może przekroczyć 900m.



Rys. 1. RNP w zależności od fazy lotu

Navigation specification	Flight phase							
	En-route oceanic/remote	En-route continental	Arrival	Approach				Departure
				Initial	Intermediate	Final	Missed	
RNAV 10	10							
RNAV 5		5	5					
RNAV 2		2	2					2
RNAV 1		1	1	1	1		1 ^b	1
RNP 4	4							
Basic-RNP 1			1 ^{a,c}	1 ^a	1 ^a		1 ^{ab}	1 ^{a,c}
RNP APCH				1	1	0.3	1	

a. The navigation application is limited to use on STARs and SIDs only.
b. The area of application can only be used after the initial climb of a missed approach phase.
c. Beyond 30 NM from the airport reference point (ARP), the accuracy value for alerting becomes 2 NM.

Rys. 2. Tabelaryczne zestawienie wartości RNP

Powyższe dane wskazują, że przy zastosowaniu systemu GNSS możliwe będzie wykorzystanie rozwiązań nawigacyjnych zapewniających znacznie większą dokładność, co w fazie podejścia do lądowania, pozwoli na zmianie funkcji gęstości operacji w czasie.

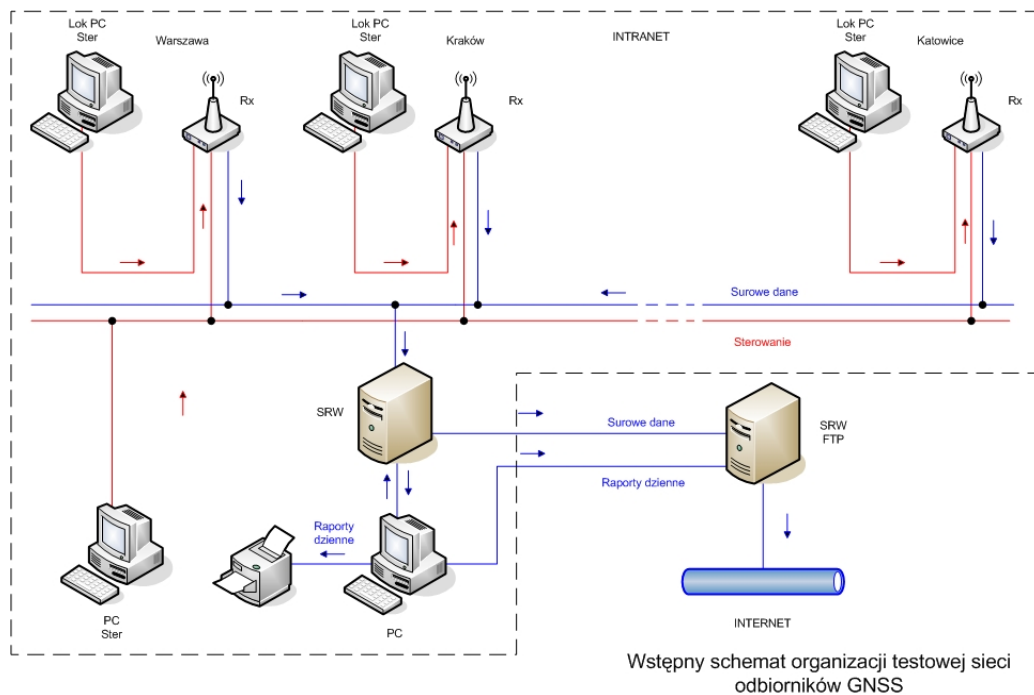
3. TESTY GNSS W POLSCE

W ramach projektów realizowanych w PAŻP wraz z organizacjami współpracującymi zainstalowano obecnie 3 odbiorniki testowe będące własnością PAŻP oraz odbiornik będący własnością Politechniki Śląskiej. Ponadto PAŻP dysponuje odbiornikiem przenośnym, który będzie instalowany na czas sesji pomiarowych realizowanych na lotniskach takich jak Mielec, Katowice, Dajtki itd.



Rys. 3. Lokalizacja stacji monitorujących GNSS/EGNOS i podstawowe elementy

Stacje monitorujące połączone są w sposób umożliwiający zbieranie i zapis danych z odbiorników w sposób lokalny jak również centralny. Zapisane dane są następnie przetwarzane głównie z wykorzystaniem oprogramowania EUROCONTROL o nazwie PEGASUS oraz mogą być przetwarzane w ramach sieci ogólnoeuropejskiej EDCN.



Rys. 4. Lokalizacja stacji monitorujących GNSS/EGNOS i podstawowe elementy

4. REALIZOWANE POMIARY I WSTĘPNE WYNIKI

Standardowe minima separacji radarowej stosowanej pomiędzy zidentyfikowanymi a/c zgodnie z zapisami ICAO Doc 4444 PANS/ATM mieszczą się w zakresie od 3 do 10 mil morskich, w zależności od pozycji a/c w kontekście:

- rodzaju przestrzeni w jakiej znajdują się a/c,
- ich odległości od lotniska lub anteny radaru,
- liczby i rodzaju stacji radarowych śledzących obiekty.

Ponadto stosowane są typowe separacje w przypadku występowania turbulencji wynikających w wielkości poszczególnych a/c znajdujących się na podejściu do tego samego pasa startowego lub lecących w odległości 1000ft – co przedstawia tabela 1.

Tab. 1.

Minima separacji radarowej

Aircraft Category		Wake Turbulence Radar Separation Minima
Preceding Aircraft	Succeeding Aircraft	
Heavy	Heavy	4.0 NM
	Medium	5.0 NM
	Light	6.0 NM
Medium	Light	5.0 NM

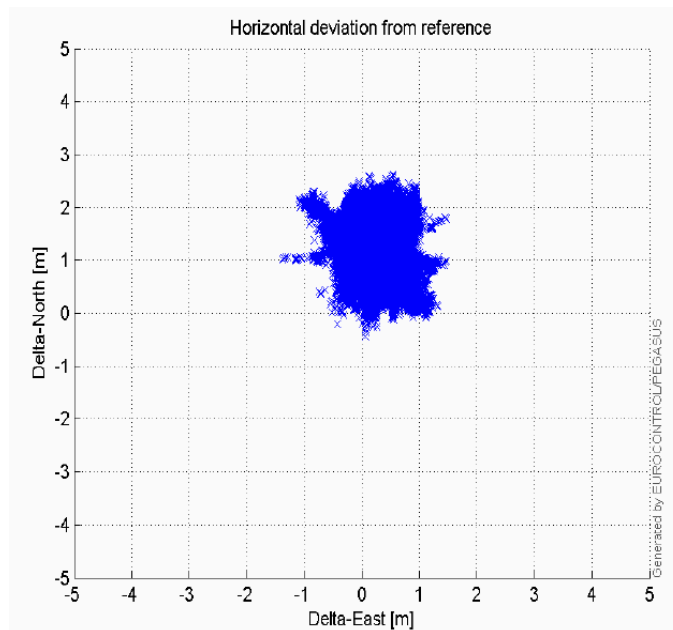
W czasie badań przeanalizowane będą następujące minima separacji stosowanej z wykorzystaniem pozycjonowania GNSS oraz z uwzględnieniem wpływu na przepustowość lotniska:

- 5nm – faza En Route
- 3nm – faza terminalowa
- 2,5nm – w czasie podejścia
- 1,5nm lub mniej – w fazie terminalowej i podejścia zależnego od GNSS.

W czasie trwających badań parametrów pracy systemu EGNOS w ramach przygotowania do certyfikacji i operacyjnego wykorzystania (jako systemu wspomagającego GPS), uzyskano wyniki przedstawione na rys. 5, 6, 7 i 8 (dane w j. angielskim z uwagi na cytowanie dokumentów i wykresów opracowanych przy użyciu międzynarodowego programu EDCN – EUROCONTROL). W niniejszych analizach wykorzystano dane pochodzące z odbiornika zlokalizowanego w Warszawie, zarejestrowane w miesiącu marcu 2010.

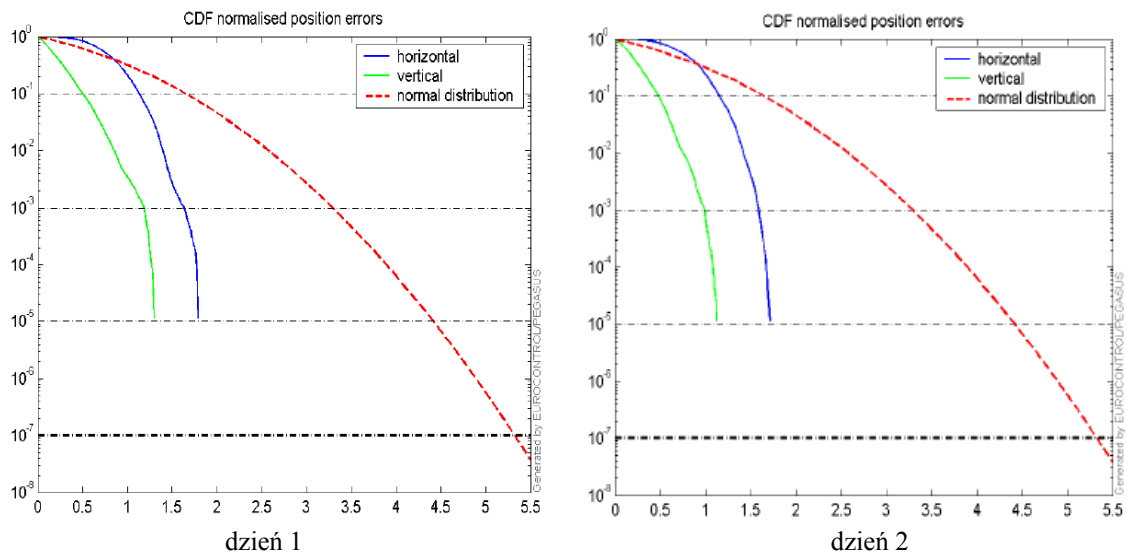
[WAWA] PANSA										Date	[WAWA] PANSA WARSAW										Date				
Location	Lat:	52.164			Lon:	20.929			Alt:	158.43			Location	Lat:	52.164			Lon:	20.929			Alt:	158.43		
Receiver	Septentrio PolaRx 2			Software	Pegasus 4.5.0 ₂₀₁₀₀₄			PRN	124			Receiver	Septentrio PolaRx 2			Software	Pegasus 4.5.0 ₂₀₁₀₀₄			PRN	124				
Data set	Duration	Start	Stop	Expected	Total	SBAS Msg	Valid	Valid(%)			Data set	Duration	Start	Stop	Expected	Total	SBAS Msg	Valid	Valid(%)						
1 Hz	24h00	00:00	23:59	86400	86400	86223	86400	100%			1 Hz	24h00	00:00	23:59	86400	84971	84971	84610	97.9%						
Results per operation													Results per operation												
all valid samples		APV-I			APV-II			CAT-I			all valid samples		APV-I			APV-II			CAT-I						
HAL / VAL	40 / 50			40 / 20			40 / 12			HAL / VAL	40 / 50			40 / 20			40 / 12								
Accuracy (m)													Accuracy (m)												
		Meas.	Scaled	Req.	Meas.	Scaled	Req.	Meas.	Scaled	Req.			Meas.	Scaled	Req.	Meas.	Scaled	Req.	Meas.	Scaled	Req.				
HNSE(95%)	1.90	1.90	8.24	16	1.85	8.29	16	1.51	7.54	16	HNSE(95%)	1.59	1.59	6.68	16	1.53	6.68	16	1.19	5.61	16				
VNSE(95%)	1.78	1.78	5.87	20	1.71	2.34	8	1.12	1.18	4	VNSE(95%)	1.55	1.54	4.74	20	1.45	1.89	8	0.91	1.00	4				
Availability (%)													Availability (%)												
samples	86195			86187			81787			11579			samples	84605			83795			79888			10145		
Minimum Required	99%			99%			na			Minimum Required	99%			99%			na								
Availability	99.754%			94.661%			13.402%			Availability	99.037%			94.419%			11.99%								
Continuity													Continuity												
Events	2			338			1029			Events	79			306			517								
Integrity													Integrity												
	MI	HMI APV-I			HMI APV-II			HMI CAT-I				MI	HMI APV-I			HMI APV-II			HMI CAT-I						
Total	0	0			0			0			Total	0	0			0			0						
Horizontal	0	0			0			0			Horizontal	0	0			0			0						
Vertical	0	0			0			0			Vertical	0	0			0			0						
Protection level statistics													Protection level statistics												
	99%	95%	50%	mean	std deviation				99%	95%	50%	mean	std deviation												
HPL	22.65	14.91	9.20	9.89	2.87			HPL	24.16	14.99	9.47	10.22	3.29												
VPL	35.12	20.05	14.27	14.86	3.67			VPL	34.96	19.85	14.36	15.03	3.90												
Position error statistics													Position error statistics												
	99%	95%	50%	mean	std deviation				99%	95%	50%	mean	std deviation												
HPE	2.23	1.90	1.19	1.22	0.39			HPE	1.92	1.59	1.05	1.06	0.31												
VPE	2.56	1.78	0.48	0.64	0.56			VPE	2.10	1.54	0.38	0.52	0.47												

Rys. 5. Podstawowe parametry pracy EGNOS – dzień 1 i dzień 30 obserwacji (Warszawa, marzec 2010)

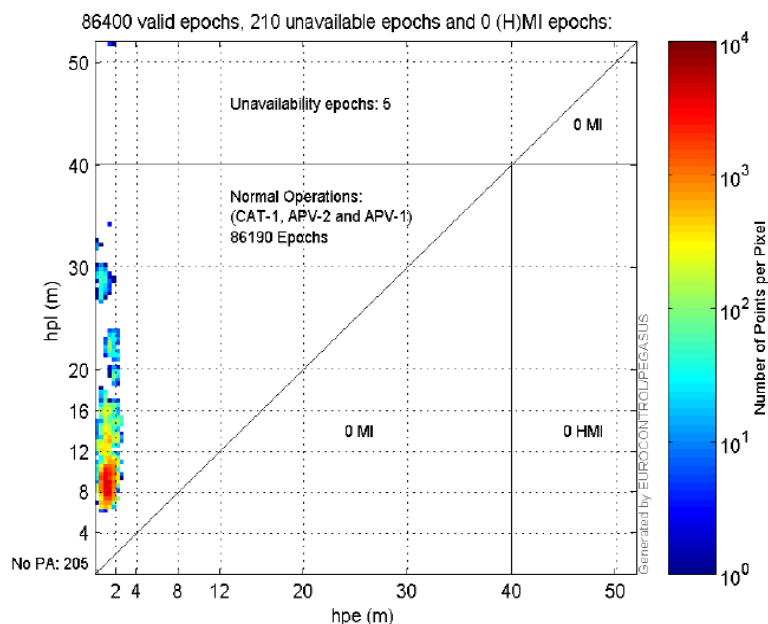


Rys. 6. Dokładności pozycji w płaszczyźnie poziomej

Badania sygnału GNSS/EGNOS odnoszą się do głównego zagadnienia prowadzonych prac badawczych jakim jest dokładność wyznaczenia pozycji w płaszczyźnie poziomej oraz analizy rozkładów błędów w celu wykazania, że zastosowanie GNSS poprzez zapewnienie lepszej dokładności pozycji wpłynie pozytywnie na przepustowość drogi startowej.



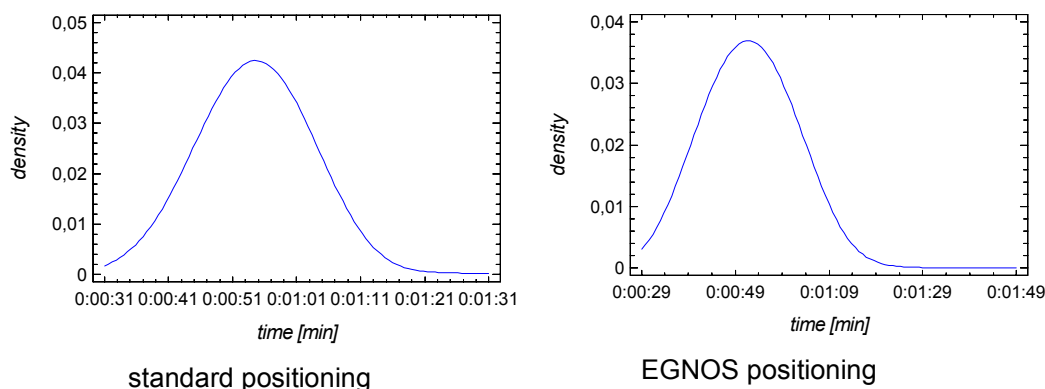
Rys. 7. Błędy i rozkład normalny błędów



Rys. 8. Wykres Stanford dla dokładności poziomej

5. SPODZIEWANE EFEKTY I POTENCJALNY OBSZAR WYKORZYSTANIA GNSS DLA POPRAWY POLEMNOŚCI LOTNISK

W trakcie prac badawczych opracowano metodologię pozwalającą na zastosowanie GNSS jako systemu pozwalającego na dokładniejsze pozycjonowanie statku powietrznego na podejściu do lądowania co powinno przełożyć się na możliwość zmniejszenia separacji pomiędzy lądującymi samolotami a w konsekwencji na zmniejszenie ‘rozrzutu’ czasu wykonania operacji elementarnych lądowania (przykładowo rys. 9).

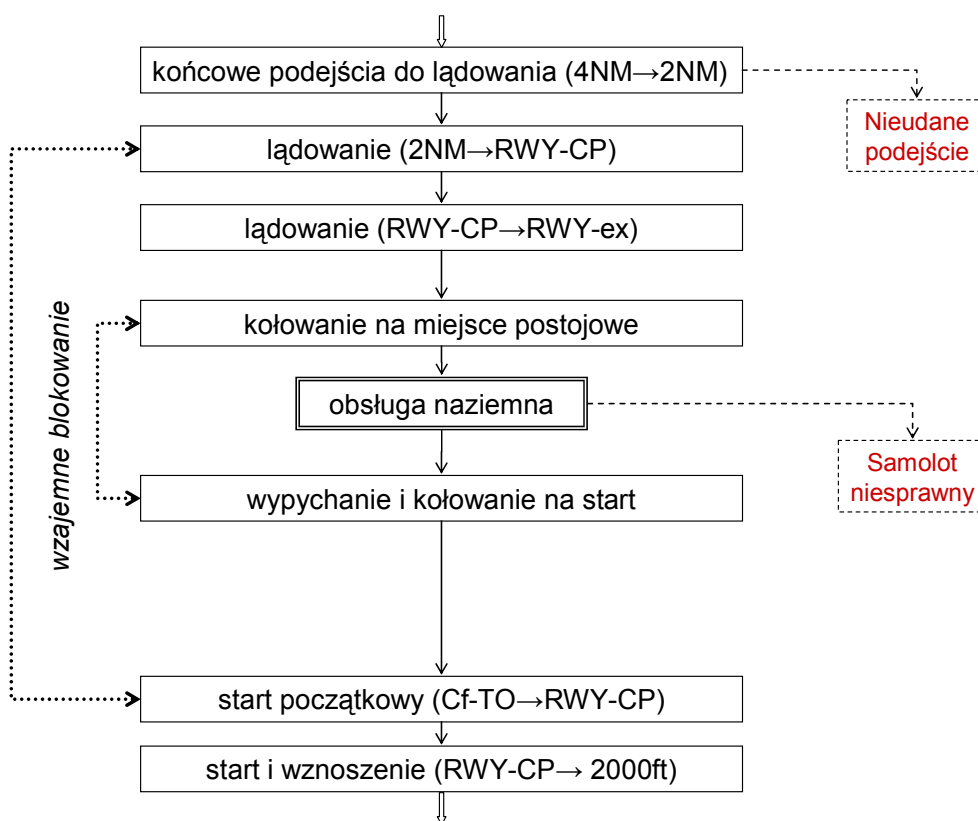


Rys. 9. Przykładowe pomierzone funkcje gęstości prawdopodobieństwa czasów wykonania operacji końcowego lądowania (2NM → RWY CP) dla standardowej operacji lądowania (lewy wykres) i operacji precyzyjnego lądowania (prawy wykres)

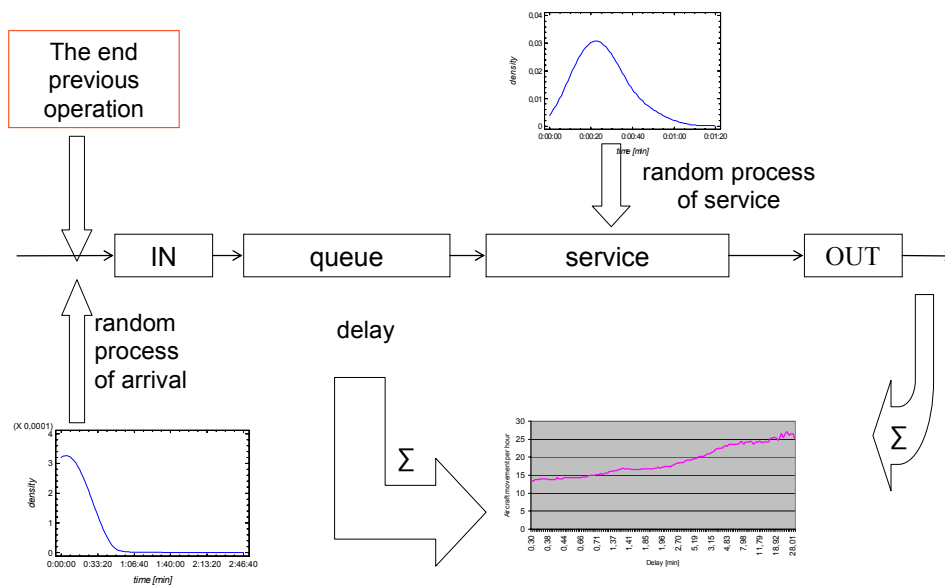
6. MODELOWANIE LOTNISKA W KONTEKŚCIE SEPARACJI GNSS

W obszarze modelowania lotniska analizowanym w tym artykule konieczne jest przypomnienie i stosowanie następujących definicji:

1. Operacja a/c – start lub lądowanie samolotu na danym lotnisku traktowane są jako dwie niezależne operacje.
2. Airside – część lotnicza portu lotniczego – obszar lotniska lub jego część znajdująca się pod kontrolą właściwych organów ATM do której dostęp jest ograniczony.
3. Airside Capacity – operacje a/c (liczba startów lub lądowań) na godzinę przy spełnieniu akceptowalnego maksymalnego opóźnienia w określonym czasie.



Rys. 10. Model operacyjny części lotniczej portu lotniczego Warszawa Okęcie



Rys. 11. Schemat obliczeń modelowych średniego opóźnienia operacji lotniskowych z zależności od liczby wykonanych operacji

Bibliografia

1. Joint Aviation Authorities JAA Temporary Guidance Leaflet TGL No.2 rev.1, Brussels 2005.
2. Malarski M.: Inżynieria ruchu lotniczego, Warszawa, OWPW 2006.
3. SESAR – Reports D1, D2, D3, D4, D5, D6 Brussels 2007-8.
4. Stamatopoulos M.A.: A Decision Support System for Airport Strategic Planning, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 12, is. 2, pp. 91-117, Elsevier 2004.

PERFORMANCE BASED NAVIGATION AND GNSS / EGNOS SYSTEM CAPABILITIES – ENABLER FOR BETTER POSITIONING AND SEPARATION OF AIRCRAFT AND AIRPORT CAPACITY IMPROVEMENTS

Abstract: ICAO - RNP (Required Navigation Performance) and PBN are enablers for better positioning of the aircraft in TMA and separation minima allowing increase of capacity at the airside. Numerical values concerning range of tests based on ICAO requirements and integrity influence GNSS / EGNOS will be analyzed and evaluated taking into account the need for GNSS / EGNOS certification and future utilization in Poland. In 2010 EGNOS will become fully functional and operational European navigation system and will be used for approach and landing phases of flight enabling implementation of (minimum) RNP-0.3 requirements in TMA. GNSS/ EGNOS system installation and utilization on the airfield, using technical solution developed in the other projects, and as result of that in next phases of project will perform test and measurement of the flights and capacity analysis.

Keywords: GNSS, RNAV, capacity, positioning