

Adam CIEĆKO¹
Stanisław OSZCZAK¹
Grzegorz GRUNWALD¹

WDRAŻANIE INSTRUMENTALNYCH PROCEDUR LOTU RNAV Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMÓW GNSS

Główną zaletą lotów z wykorzystaniem nawigacji obszarowej (RNAV) jest fakt, iż nie jest koniecznością, aby samolot przelatywał nad pomocami nawigacyjnymi będącymi urządzeniami naziemnymi lub działającymi na zasadach autonomicznych. Ważne zastosowanie mają obecnie systemy bazujące na GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Procedury podejścia do lądowania przy użyciu RNAV wykorzystują informacje o pasie startowym, występujących przeszkodach terenowych oraz wszelkich czynnikach mogących poprawić bezpieczeństwo lotu. Wykorzystywane dane pozyskiwane są z uwzględnieniem obowiązujących procedur dotyczących zgłaszania i pomiaru przeszkód oraz innych elementów terenowych mających wpływ na tor lotu.

INTRODUCTION OF GNSS TO INSTRUMENTAL FLIGHT RULES RNAV

The main advantage of flights using Area Navigation (RNAV) is that the plane doesn't have to fly over navigational aids which are ground-based or autonomous devices. Systems based on GNSS (Global Navigation Satellite Systems) are very popular nowadays. RNAV flight rules use information about runway, terrain obstructions and other factors that can improve safety during the flight. Data are collected with appropriate procedures connected with reporting and measurements of obstructions and other elements that have influence on flight performance.

1. WSTĘP

Rozwój systemów GNSS (Global Navigation Satellite Systems) spowodował zastosowanie urządzeń działających na ich bazie w różnych dziedzinach gospodarki. Na szczególną uwagę zasługuje możliwość ich wykorzystania w celu poprawy bezpieczeństwa i usprawnienia lotów. W tym celu opracowano ścisłe procedury nawigacji obszarowej (RNAV), która może wykorzystywać systemy GNSS. Jednak ich wdrożenie wymaga zebrania odpowiedniej dokumentacji oraz przeprowadzenia licznych pomiarów i testów.

¹Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Katedra Geodezji Satelitarnej i Nawigacji, 10-724 Olsztyn, ul. Heweliusza 5. tel. (089) 523-34-81, fax (089) 523 47 23.

2. GŁÓWNE ZAŁOŻENIA RNAV

2.1 Zasady RNAV

Instrumentalną procedurę lotu definiuje się jako trasę lotu statku powietrznego, która została uprzednio obliczona i wyznaczona przez projektantów. Trasa ta jest wykonywana na podstawie wskazań własnych urządzeń nawigacyjnych statku. Wiąże się to jednak z licznymi wymaganiami, jakie muszą zostać spełnione, aby takie loty mogły się odbywać, tj.:

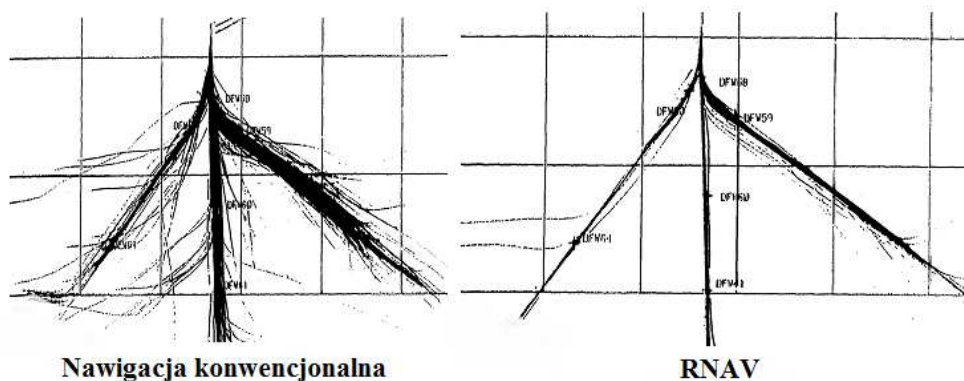
- statek musi być wyposażony w odpowiednie urządzenia nawigacyjne i radiokomunikacyjne,
- załoga musi posiadać odpowiednie do wykonywania lotów uprawnienia,
- loty muszą odbywać się na odpowiednich wysokościach.

Instrumentalne procedury lotu możemy podzielić ze względu na stosowaną metodę nawigacji na dwie kategorie:

- konwencjonalne.
- RNAV (nawigacja obszarowa).

O konwencjonalnej nawigacji mówimy w przypadku, gdy trasa lotu jest ściśle zależna od pozycji pomocy nawigacyjnej. Do najpopularniejszych pomocy nawigacyjnych należą radiolatarnie kierunkowe VHF (Omni-directional Ranges) oraz radiolatarnie bezkierunkowe NDB (Non-Directional Beacons).

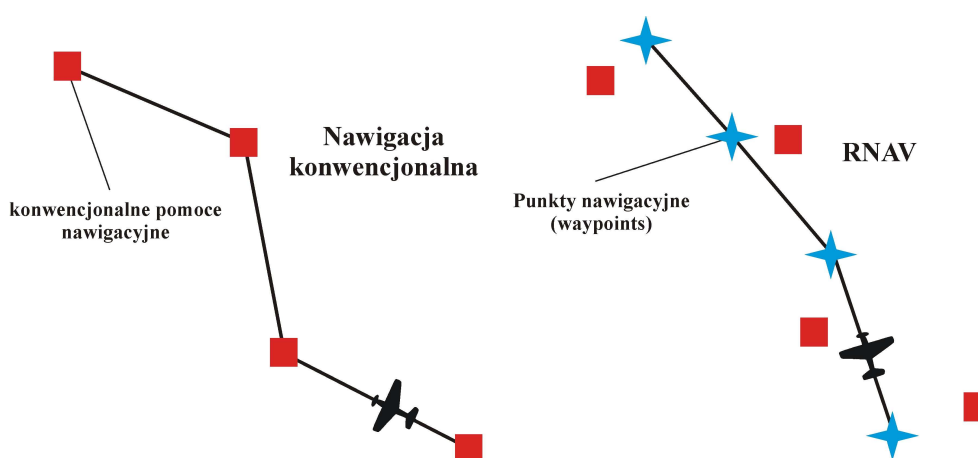
Tory lotów z wykorzystaniem RNAV nie muszą być ściśle określone. Wykonywane są w zasięgu działania urządzeń nawigacyjnych rozlokowanych na powierzchni Ziemi lub urządzeń działających na zasadach autonomicznych. Możliwe do wykorzystania są również liczne kombinacje wyżej wymienionych systemów. Trasy pokonywane dzięki nawigacji obszarowej charakteryzują się większą dokładnością wyznaczeń pozycji w porównaniu z nawigacją konwencjonalną, dzięki czemu możemy w tym przypadku mówić o wysokiej powtarzalności tras (rysunek 1).



Rys.1. Trasy lotów przy wykorzystaniu nawigacji konwencjonalnej oraz RNAV ([1])

Do najpopularniejszych źródeł RNAV należą INS (Inercyjny System Nawigacyjny), Omega, VOR/DME oraz GNSS. Pozyskiwane z wymienionych urządzeń informacje są pomocne podczas odlotu, lotu na trasie, podejścia oraz podczas faz lądowania.

Jedną z zalet RNAV jest fakt, iż nie jest koniecznością, aby statek powietrzny przelatywał nad pomocami nawigacyjnymi. Odpowiednio zdefiniowane i niezależne od naziemnych pomocy geograficznych punkty wraz z wyznaczonymi współrzędnymi geograficznymi w układzie WGS84 definiują trasy RNAV (fly over waypoint, fly by waypoint). Rysunek 2 przedstawia schematyczne porównanie konwencjonalnej nawigacji oraz RNAV.



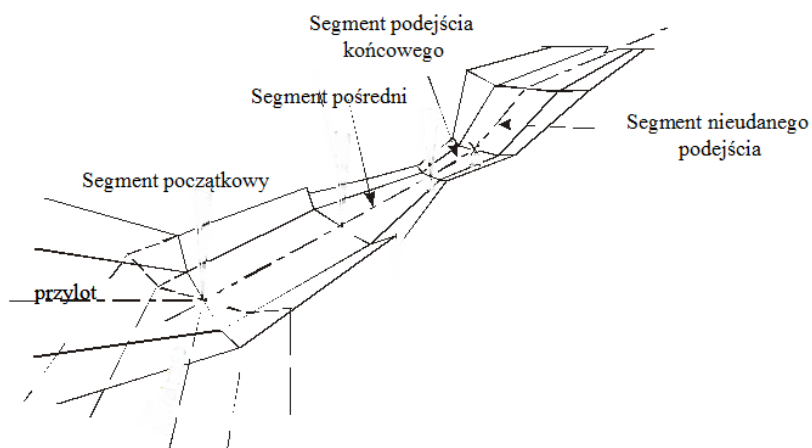
Rys.2. Nawigacja konwencjonalna w porównaniu w nawigacją RNAV ([1])

Można wyróżnić dwa typy RNAV różniące się wymaganymi dokładnościami:

- B-RNAV (Basic RNAV) o dokładności utrzymania linii drogi ± 5 NM w czasie trwania 95% lotu,
- P-RNAV (Precision RNAV) o dokładności utrzymania linii drogi ± 1 NM w czasie trwania 95% lotu.

Podejście do lądowania przy użyciu RNAV wykorzystuje informacje o pasie startowym, przeszkodach terenowych oraz innych czynnikach wspierających precyzyjne lub nieprecyzyjne instrumentalne podejście do lądowania, wykorzystując przy tym systemy nawigacyjne, np. GNSS.

Procedura instrumentalnego podejścia do lądowania może składać się z pięciu części (rysunek 3): Segmentu Przylotu (Arrival) (może być ich kilka); Segmentu Początkowego (Initial), Segmentu Pośredniego (Intermediate) (nie zawsze występującego), Segmentu Podejścia Końcowego (Final) oraz Segmentu Nieudanego Podejścia (Missed Approach).



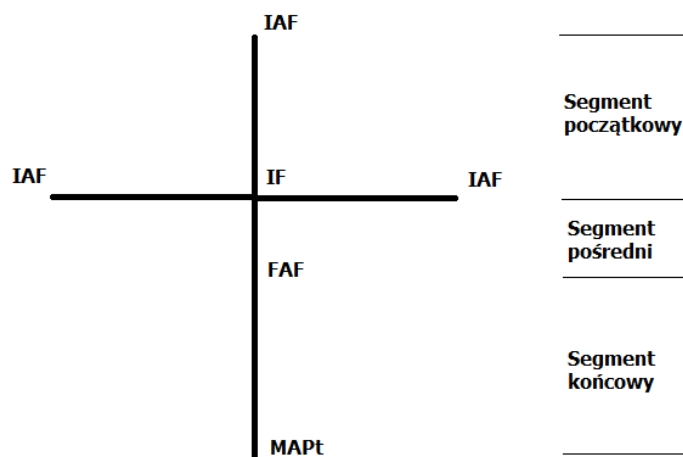
Rys.3. Segmenty instrumentalnego podejścia do lądowania ([1])

Zasada działania systemu RNAV opiera się wyznaczeniu pozycji statku na podstawie danych z:

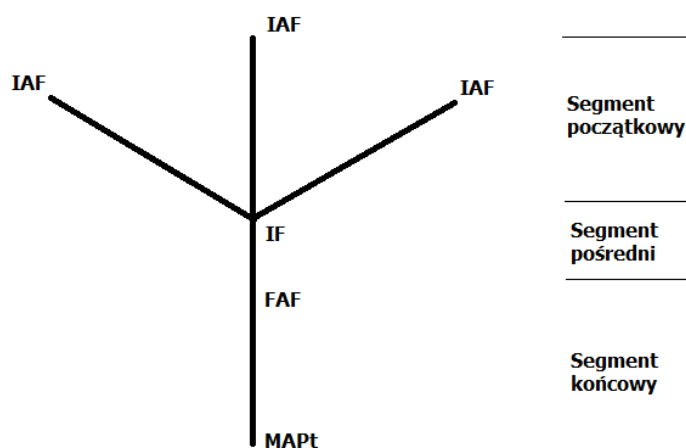
- DME (Distance Measuring Equipment),
- VOR/DME,
- GNSS,
- INS (Inertial Navigation System).

Procedura RNAV może zostać zastosowana przy uwzględnieniu kilku warunków. Przede wszystkim projekt procedury musi zostać wykonany zgodnie z obowiązującymi standardami. Następnie w nawigacyjnej bazie danych odbywa się zakodowanie procedury, a na wskaźniku nawigacyjnym jest przedstawiana trasa lotu.

Obecnie najczęściej spotykane procedury nieprecyzyjnego podejścia do lądowania to procedury typu T oraz typu Y (rysunek 4 i 5). Są to najbardziej efektywne procedury zarówno pod kątem projektowania jak i optymalizacji podejść do lądowania.



Rys.4. Procedura typu T ([1])



Rys.5. Procedura typu Y ([1])

Bibliografia [1,2]

2.2 Układ odniesienia współrzędnych oraz obowiązujące wytyczne pomiarowe

W przypadku stosowania systemów bazujących na konwencjonalnej nawigacji rodzaj zastosowanego układu współrzędnych geograficznych nie wpływa na pozycję obiektu podczas lotu. Natomiast w przypadku stosowania RNAV poszczególne etapy lotu wymagają zwiększonej dokładności oraz spójności danych. Dlatego w międzynarodowym lotnictwie cywilnym wprowadzono ujednolicone wytyczne co do stosowania układu

odniesienia. Współrzędne płaskie oraz wysokości elipsoidalne powinny być odniesione do amerykańskiego układu NAD 1983, którego parametry odpowiadają parametrom układu WGS 84 (World Geodetic System of 1984). Ortometryczne wysokości powinny być odniesione do układu NAVD 88 (North American Vertical Datum).

Obecnie w lotnictwie zastosowanie mają współrzędne uzyskane z pomiarów terenowych (poprzez bezpośrednie pomiary i obserwacje oraz obliczenia) oraz współrzędne pochodzące z instrumentów nawigacyjnych (narzędzi pokładowych oraz sygnałów naziemnych i satelitarnych).

Podejście do lądowania przy użyciu RNAV wykorzystuje informacje o pasie startowym, przeszkodach terenowych oraz innych czynnikach wspierających precyzyjne lub nieprecyzyjne instrumentalne podejście do lądowania. Odpowiednie obiekty terenowe powinny być pomierzone i oznaczone zgodnie z określonymi wymaganiami dokładnościowymi i jakościowymi. W tym celu za inicjatywą rady ICAO (International Civil Aviation Organization) opracowano i wdrożono „PODRĘCZNIK ŚWIATOWEGO SYSTEMU GEODEZYJNEGO – 1984 (WGS-84)”.

Treść podręcznika zawiera między innymi:

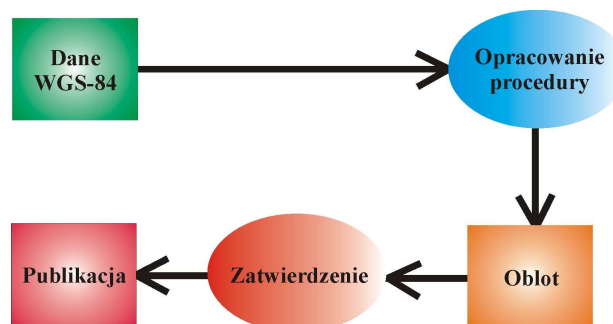
1. Wymagane dokładności pomiarów geodezyjnych;
2. Metody pozyskiwania danych w WGS-84;
3. Wytyczne pomiarowe (wymagania co do lotniczych elementów nawigacyjnych, obiektów i przeszkód terenowych, powstałej dokumentacji);
4. Określone wymagania jakościowe.

Bibliografia [1,2]

3. OBOWIĄZUJĄCE WYMOGI

3.1 Wytyczne pomiarowe

Opracowanie procedury RNAV wiąże się ze spełnieniem wielu wymogów. Całą operację przeprowadza odpowiednio przeszkolona osoba działająca zgodnie z przepisami ICAO. Po zaprojektowaniu procedura podlega weryfikacji przez niezależną odpowiednio wykwalifikowaną osobę. Po zatwierdzeniu i wprowadzeniu procedury do odpowiedniej bazy danych następuje testowanie projektu podczas oblotu lub przeprowadzenie lotu na symulatorze. Spełnienie wyżej wymienionych wymogów stanowi podstawę do weryfikacji przez odpowiednią władzę lotniczą, a następnie do publikacji w AIP (Aeronautical Information Publication). Schemat całego działania przedstawia rysunek 6.



Rys.6. Schemat wdrożenia procedury RNAV ([1])

Wykorzystywane dane lotnicze możemy podzielić na dwie kategorie:

- dane referencyjne (godziny operowania, numery telefonów, identyfikatory i częstotliwości pomocy nawigacyjnych, nazwy punktów drogi, itd.)
- dane wyznaczone (pozycja, wzniesienie, długość pasa startowego, długości deklarowane, charakterystyki i namiar platformy, deklinacje magnetyczne)

Dane wyznaczone powinny charakteryzować się 95% poziomem ufności. Dwuwymiarowe dane pozycyjne określone są rozkładem statystycznym będącym kołowym rozkładem normalnym. Rozpatrując okrąg o promieniu $c \cdot \sigma$ i środka pokrywającym się z pomierzoną pozycją punktu, przy czym σ jest standardową jednowymiarową odchyłką, a c współczynnikiem liczbowym, możemy zapisać, że prawdopodobieństwo, iż punkt P znajduje się we wnętrzu okręgu, wynosi:

$$P = 1 - \exp(-c^2/2) \quad (1)$$

Jednostki pomiarowe powinny być zgodne z wytycznymi geodezyjnymi obowiązującymi w danym państwie. Współrzędne geograficzne i miary powinny być zgodne z ICAO, zatem wartości współrzędnych powinny być podawane w stopniach (stopnie, minuty, sekundy i dziesiąte części sekundy), a wymiary i odległości powinny być podawane w metrach, stopach lub milach morskich.

Bibliografia [1,2,3,4]

3.2 Geodezyjna osnowa pomiarowa

Położenie mierzonych punktów powinno być wyznaczone w oparciu o sieć punktów pomiarowej osnowy, którą tworzą co najmniej dwa punkty o minimalnej odległości 500 m i dokładności 0,1 m. Przyjmuje się, że minimalna liczba punktów osnowy pomiarowej to 4, dzięki czemu w przypadku zniszczenia punktu, możliwe jest wykorzystanie do pomiarów osnowy dodatkowej.

Pomiarom geodezyjnym podlegają:

- obiekty infrastruktury lotniska,

- przeszkody,
- pomoce nawigacyjne.

Bibliografia [2]

3.3 Zgłaszanie przeszkód

Podczas projektowania instrumentalnych procedur lotu jednym z najważniejszych elementów mających wpływ na określanie parametrów wysokościowych są przeszkody terenowe naturalne i sztuczne. Dokumentami regulującymi przepisy dotyczące tych obiektów są: Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2003 w sprawie warunków, jakie powinny spełniać obiekty budowlane oraz naturalne w otoczeniu lotniska oraz Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2003 w sprawie sposobu zgłaszania oraz oznakowania przeszkód lotniczych. Według tych przepisów prawa posiadacz nieruchomości, na której znajduje się przeszkoda lotnicza, zgłasza Prezesowi i właściwemu organowi nadzoru nad lotnictwem wojskowym informacje o przeszkodzie lotniczej. Rozporządzenie definiuje przeszkody lotnicze jako:

- 1) stałe lub tymczasowe obiekty budowlane oraz obiekty naturalne lub ich części, o wysokościach przekraczających powierzchnie ograniczające, określone w przepisach w sprawie warunków, jakie powinny spełniać obiekty budowlane oraz naturalne w otoczeniu lotniska;
- 2) obiekty budowlane o wysokości 100m i więcej powyżej poziomu otaczającego terenu lub wody, zlokalizowane na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, w tym na polskich wodach terytorialnych Morza Bałtyckiego;
- 3) obiekty budowlane oraz obiekty naturalne lub ich części trudno dostrzegalne z powietrza na tle otoczenia z powodu ich barwy, położenia lub konstrukcji oraz inne naziemne obiekty budowlane oraz obiekty naturalne lub ich części, zlokalizowane w strefach dolotu do lotniska i odlotu, szczególnie w terenie pagórkowatym i górskim, uznane przez Prezesa lub przez właściwy organ nadzoru nad lotnictwem wojskowym za przeszkody lotnicze.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2003 w sprawie warunków, jakie powinny spełniać obiekty budowlane oraz naturalne w otoczeniu lotniska, możemy wyróżnić:

- przeszkody lotnicze w otoczeniu lotniska (sztuczne lub naturalne obiekty naziemne albo ich części) lub skrajnie tras komunikacyjnych, o wysokościach przekraczających powierzchnie ograniczające,
- przeszkody lotnicze poza otoczeniem lotniska.

O powierzchniach ograniczających mówimy w przypadku obszaru terenu znajdującego się w zasięgu powierzchni regulujących dopuszczalne gabaryty zabudowy i obiektów naturalnych. Tabela 1 zawiera wymagane dokładności związane ze zgłaszaniem przeszkody.

Tab.1. Wymagane dokładności związane ze zgłaszaniem przeszkody

	Dokładność pomiaru współrzędnych ["]	Dokładność pomiaru wysokości przeszkody [m]	Dokładność pomiaru wysokości wzniesienia terenu [m]
Przeszkoda w otoczeniu lotniska	0,1	0,5	0,5
Przeszkoda poza otoczeniem lotniska	1	3	1

Przy zgłaszaniu przeszkody wymagane są:

- dane posiadacza przeszkody lotniczej;
- rodzaj przeszkody lotniczej;
- lokalizacja przeszkody lotniczej;
- mapa;
- wysokość przeszkody powyżej poziomu terenu;
- wysokość wzniesienia terenu w miejscu posadowienia przeszkody;
- oznakowanie dzienne i nocne przeszkody;
- termin ukończenia budowy przeszkody o wysokości do 100m AGL;
- termin osiągnięcia wysokości 100m AGL i wysokości całkowitej;
- tymczasowe oznakowanie przeszkodowe;
- potwierdzenie wykonania oznakowania stałego przeszkody.

Bibliografia [2,5,6]

3.4 Operaty pomiarowe przeszkód

W związku z brakiem obowiązujących przepisów międzynarodowych określających procedury pomiarów dotyczących opracowywania instrumentalnych procedur lotu, poszczególne państwa zmuszone są do regulacji tych kwestii przy zastosowaniu przepisów krajowych. W roku 2002 po raz pierwszy w Polsce próbowano opracować jednoznaczne przepisy dotyczące procedur instrumentalnych, jednakże bez znaczących efektów. Niestety do dnia dzisiejszego nie wdrożono żadnych innych odpowiednich przepisów.

Bibliografia [2]

4. WNIOSKI

W związku z nasileniem się w ostatnich latach lądowego ruchu drogowego, transport lotniczy staje się interesującą alternatywą. W Polsce od kilku lat obserwuje się znaczący wzrost liczby zarejestrowanych cywilnych samolotów, mogących korzystać także z lotnisk trawiastych, niewyposażonych w specjalistyczne urządzenia nawigacyjne. Wdrożenie na takich lotniskach procedur nawigacji obszarowej RNAV GNSS wydaje się pilną koniecznością. Procedury te, ze względu na stosunkowo niskie koszty, są optymalne z

ekonomicznego punktu widzenia oraz zapewniają znaczącą poprawę bezpieczeństwa lotu i dostępność lotniska.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Król A.: *Procedury RNAV GNSS*, Polska Agencja Żeglugi Powietrznej, 2010.
- [2] Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego: *Podręcznik światowego systemu geodezyjnego – 1984 (WGS-84)*, 2002.
- [3] Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego: *Załącznik 15 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym – Służby informacji lotniczej*, 2004.
- [4] Organizacja Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego: *Załącznik 14 do Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym – Lotniska*, 2004.
- [5] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2003 r. w sprawie warunków, jakie powinny spełniać obiekty budowlane oraz naturalne w otoczeniu lotniska* (Dz. U. z dnia 24 lipca 2003 r.).
- [6] *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2003 r. w sprawie sposobu zgłaszania oraz oznakowania przeszkód lotniczych* (Dz.U.2003.130.1193).
- [7] *Ustawa z dnia 3 lipca 2002 roku Prawo lotnicze* (t.j. Dz. U. z 2006 Nr 100, poz. 696 z późn. zm.).