

SPIS TREŚCI

Spis ważniejszych oznaczeń 7

1. BEZZAŁOGOWE STATKI POWIETRZNE KLASY MIKRO 11

1.1. Wstęp 11

1.2. Przegląd konstrukcji Bezzałogowych Statków Powietrznych klasy mikro 17

1.3. Problemy techniczne budowy μ BSP 24

1.4. Specyfika lotu Bezzałogowego Statku Powietrznego klasy mikro 27

2. ZASADY BUDOWY MODELI FIZYCZNYCH I MATEMATYCZNYCH
MIKROSAMOLOTÓW 32

2.1. Wprowadzenie 32

2.2. Model fizyczny mikrosamolotu 35

2.3. Układy odniesienia oraz ich transformacje 36

2.3.1. Zastosowane konwencje 36

2.3.2. Układy odniesienia stosowane do opisu lotu mikrosamolotu 37

2.3.3. Transformacje układów współrzędnych 39

2.3.4. Związki kinematyczne 42

2.3.5. Parametry Eulera-Rodriguesa 45

3. MODEL MATEMATYCZNY MIKROSAMOLOTU 49

3.1. Równania ruchu mikrosamolotu 49

3.2. Siły i momenty sił zewnętrznych działających

na mikrosamolot 54

3.2.1. Siły i momenty sił grawitacyjnych 55

3.2.2. Siły i momenty sił od zespołu napędowego 56

3.2.3. Obciążenia aerodynamiczne 57

3.2.4. Model matematyczny mikrosamolotu 61

3.3. Równania układów autonomicznego sterowania mikrosamolotem 62

3.3.1. Równania autopilota 62

3.3.2. Model matematyczny układów wykonawczych 66

3.4. Model matematyczny zespołu napędowego 66

3.4.1. Model silnika elektrycznego 66

3.4.2. Ciąg układu silnik–śmigło 69

4. OBCIĄŻENIA AERODYNAMICZNE MIKROSAMOLOTU 71

4.1. Wprowadzenie 71

4.2. Modelowanie niestacjonarnych obciążeń aerodynamicznych jako funkcji zmiennych
stanu 72

4.3. Doświadczalne wyznaczanie niestacjonarnych obciążeń aerodynamicznych
mikrosamolotu 79

4.3.1. Stanowisko badawcze – tunel wodny Model RHRC 2436 79

4.3.2. Cykl badań oraz kryteria podobieństwa 85

4.3.3. Wyniki badań 88

4.3.4. Identyfikacja charakterystyk aerodynamicznych mikrosamolotu 93

4.3.5. Metoda funkcji impulsowej 96

4.3.5.1. Wprowadzenie 96

4.3.5.2. Ogólne sformułowanie modelu aerodynamicznego z wykorzystaniem
funkcji impulsowej (na podstawie Klein i Noderer, 1994) 97

4.3.5.3. Postać i fizyczna interpretacja funkcji impulsowej i funkcji niedomiaru 102

4.3.5.4. Ruch oscylacyjny modelu w przestrzeni pomiarowej tunelu aerodynamicznego 104

4.3.6. Identyfikacja charakterystyk i pochodnych aerodynamicznych mikrosamolotu

(Klein i inni, 2004)	110
4.3.6.1. Wyniki identyfikacji charakterystyk aerodynamicznych mikrosamolotu	112
5. STATECZNOŚĆ DYNAMICZNA MIKROSAMOLOTU	132
5.1. Podstawowe pojęcia stateczności ruchu	132
5.1.1. Stateczność w sensie Lapunowa	132
5.1.2. Linearyzacja równań ruchu względem małych zaburzeń lotu ustalonego	135
5.1.3. Jakościowa analiza stateczności dynamicznej	139
5.1.4. Ilościowa analiza stateczności dynamicznej mikrosamolotu	142
5.2. Bifurkacyjna analiza stateczności lotu mikrosamolotów	156
5.2.1. Wprowadzenie	156
5.2.2. Podstawy teorii bifurkacji	158
5.2.3. Numeryczne metody teorii bifurkacji	187
5.2.4. Metodyka badań bifurkacyjnych w dynamice lotu statków powietrznych	189
5.3. Chaos deterministyczny – pojęcia, definicje i twierdzenia	193
5.3.1. Wprowadzenie	193
5.3.2. Podstawowe pojęcia teorii chaosu	200
5.3.3. Mapy Poincarè i wykresy bifurkacyjne	202
5.4. Bifurkacyjna analiza dynamiki lotu mikrosamolotu	205
5.4.1. Numeryczna weryfikacja przewidywanych zachowań mikrosamolotu	214
6. PODSUMOWANIE	222
Bibliografia	226