

**Dynamika lotu bezzałogowych statków powietrznych klasy mikro /  
Krzysztof Sibilski, Maciej Lasek, Anna Sibilska-Mroziewicz, Michał  
Garbowski. – Wydanie I. – Warszawa, 2020**

Spis treści

<b>Spis ważniejszych oznaczeń</b>	<b>7</b>
<b>1. BEZZAŁOGOWE STATKI POWIETRZNE KLASY MIKRO</b>	<b>11</b>
1.1. Wstęp	11
1.2. Przegląd konstrukcji Bezzałogowych Statków Powietrznych klasy mikro	17
1.3. Problemy techniczne budowy $\mu$ BSP	24
1.4. Specyfika lotu Bezzałogowego Statku Powietrznego klasy mikro	27
<b>2. ZASADY BUDOWY MODELI FIZYCZNYCH I MATEMATYCZNYCH MIKRO SAMOLOTÓW</b>	<b>32</b>
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
<b>3. MODEL MATEMATYCZNY MIKROSAMOLOTU</b>	<b>49</b>
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
<b>4. OBCIĄŻENIA AERODYNAMICZNE MIKROSAMOLOTU</b>	<b>71</b>
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
<b>5. STATECZNOŚĆ DYNAMICZNA MIKROSAMOLOTU</b>	<b>132</b>
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 Poincare i wykresy bifurkacyjne	202
5.4. Bifurkacyjna analiza dynamiki lotu mikrosamolotu	205
5.4.1. Numeryczna weryfikacja przewidywanych zachowań mikrosamolotu	214
<b>6. PODSUMOWANIE</b>	<b>222</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>226</b>