

# Spis treści

<b>1. Wstęp</b>	<b>9</b>
1.1 Wprowadzenie i cel pracy	9
1.2 Przegląd literatury związanej z tematem pracy	11
1.3 Motywacja podjęcia tematu	16
1.4 Zagadnienia omawiane w poszczególnych rozdziałach	19
<b>2. Podmuchy wiatru jako obciążenie dynamiczne turbin wiatrowych</b>	<b>23</b>
2.1 Charakterystyka rzeczywistych podmuchów	23
2.2 Ujęcie normatywne	27
<b>3. Koncepcja adaptacyjnego połączenia łopaty i piasty</b>	<b>33</b>
3.1 Połączenie łopaty z piastą w turbinach wiatrowych z nastawianym kątem łopaty	33
3.2 Opis koncepcji	35
<b>4. Model turbiny wiatrowej</b>	<b>43</b>
4.1 Wprowadzenie	43
4.2 Model ze sztywnymi łopatom	44
4.2.1 Założenia	44
4.2.2 Sformułowanie równań ruchu	45
4.3 Obciążenia aerodynamiczne	52
4.3.1 Teoria strumieniowa elementu łopaty	52
4.3.2 Uogólnione siły aerodynamiczne	56
4.4 Metoda modalna	57
4.4.1 Drgania własne	57
4.4.2 Ortogonalność wektorów własnych	60
4.4.3 Transformacja współrzędnych	60
4.4.4 Sformułowanie równań ruchu we współrzędnych modalnych	62
4.4.5 Uwzględnienie tłumienia	64
4.4.6 Transformacja do układu równań pierwszego rzędu	65
4.4.7 Wektor sił uogólnionych w metodzie modalnej	66
4.4.8 Przystosowanie łopaty do reakcji na podmuch w metodzie modalnej	67

<b>5. Wyniki symulacji numerycznych</b>	<b>69</b>
5.1 Dane liczbowe	69
5.1.1 Turbina referencyjna projektu <i>UpWind</i>	69
5.1.2 Własności strukturalne łopaty	69
5.1.3 Własności aerodynamiczne łopaty	71
5.1.4 Sterowanie turbiną wiatrową	74
5.2 Drgania własne	76
5.3 Stan ustalony	78
5.4 Odpowiedź na podmuch	90
5.4.1 Uwzględnienie tłumienia konstrukcyjnego	90
5.4.2 Symulacje odpowiedzi na podmuch wiatru	90
5.5 Odpowiedź na podmuch przy reakcji łopat	94
5.5.1 Przystosowanie łopaty do reakcji na podmuch	94
5.5.2 Podmuch normatywny	96
5.5.3 Powiększony podmuch normatywny	99
5.6 Awaryjne łagodzenie obciążeń	106
<b>6. Weryfikacja eksperymentalna</b>	<b>111</b>
6.1 Wstęp	111
6.2 Sprzęgło adaptacyjne w skali laboratoryjnej	111
6.2.1 Założenia do projektu	111
6.2.2 Dodatkowy mimośród	112
6.2.3 Budowa sprzęgła adaptacyjnego	113
6.3 Opis stanowiska eksperymentalnego	114
6.3.1 Tunel aerodynamiczny	114
6.3.2 Modelowa turbina wiatrowa	116
6.3.3 Łopaty	117
6.4 Układ pomiarowo-kontrolny	121
6.4.1 Układ tensometrów	121
6.4.2 Układ regulacji sztywności sprzęgła	123
6.5 Wyniki testów	124
6.5.1 Wstęp	124
6.5.2 Obrót łopaty na skutek wysprzęglenia	125
6.5.3 Obciążenia zmierzone w nasadzie łopaty	127
6.5.4 Porównanie z wynikami symulacji numerycznych	130
6.6 Podsumowanie i wnioski	133
<b>7. Zakończenie</b>	<b>135</b>
<b>A. Teoria pasowa</b>	<b>137</b>
<b>B. Teoria strumienia śmigłowego</b>	<b>141</b>
<b>C. Teoria strumieniowa elementu łopaty</b>	<b>147</b>
<b>Summary</b>	<b>151</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>153</b>