

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
Spis ważniejszych oznaczeń	11
1. Wprowadzenie	13
1.1. Geneza tematu pracy	13
1.2. Rozrzut jako immanentna cecha Wszechświata	16
1.3. Sztuczna inteligencja jako metoda eksploracji danych	17
2. Analiza stanu wiedzy o trwałości zmęczeniowej łożysk tocznych	19
2.1. Rys historyczny rozwoju łożysk tocznych	19
2.2. Aktualna procedura doboru łożysk tocznych	21
2.2.1. Etapy projektowania węzła łożyskowego	21
2.2.2. Terminologia norm łożyskowych	22
2.2.3. Równanie trwałości nominalnej i modyfikowanej	24
2.3. Powierzchniowa trwałość zmęczeniowa (PTZ)	26
2.3.1. Zjawisko zmęczenia powierzchniowego	26
2.3.2. Hipotezy inicjacji pittingu	28
2.3.3. Mechanizmy towarzyszące dekohezji zmęczeniowej	30
2.3.4. Opis matematyczny powierzchniowej trwałości zmęczeniowej	32
2.4. Rozrzut PTZ w świetle aktualnych teorii	37
2.4.1. Miara rozrzutu powierzchniowej trwałości zmęczeniowej	37
2.4.2. Model Lundberga i Palmgren	40
2.4.3. Model Ioannidesa i Harris	41
2.4.4. Model mikrogeometryczny SKF 2010	42
2.5. Podsumowanie analizy piśmiennictwa	43
3. Sformułowanie problematyki badawczej	47
3.1. Cel i zakres pracy	47
3.2. Zadania badawcze	48
4. Aplikacja metod sztucznej inteligencji do problematyki powierzchniowej trwałości zmęczeniowej	51
4.1. Metodologia eksploracji danych dotyczących PTZ	51
4.1.1. Modelowanie systemowe jako sposób organizacji wiedzy	51
4.1.2. Sztuczna inteligencja	53
4.1.3. Problematyka PTZ w ujęciu metod eksploracji danych	54
4.1.4. Strategia eksploracji danych dotyczących PTZ	57
4.2. Zrozumienie uwarunkowań badawczych i wyników badań	58
4.2.1. Środowiska przetwarzania informacji ziarnistych	58
4.2.2. Analiza przedziałowa	58
4.2.3. Semantyka a matematyka – zmienna lingwistyczna	59
4.2.4. Teoria zbiorów rozmytych	60
4.2.5. Teoria zbiorów przybliżonych	61
4.3. Przygotowanie danych (preanaliza)	64
4.3.1. Eliminacja wyników wątpliwych	64
4.3.2. Transformacja danych	65
4.3.3. Redukcja wymiaru	66

4.4. Modelowanie	67
4.4.1. Statystyczne systemy uczące się	67
4.4.2. Reguły decyzyjne	70
4.4.3. Drzewa decyzyjne	71
4.4.4. Sieci neuronowe	72
4.4.5. Algorytmy genetyczne i immunologiczne	73
4.5. Ewaluacja modelu	74
4.5.1. Jakość estymacji parametrów regresji	74
4.5.2. Ocena trafności klasyfikacji	76
4.5.3. Sekwencyjna eliminacja atrybutów	76
4.6. Algorytmy eksploracji danych dotyczących PTZ	77
4.6.1. Ocena przydatności sztucznej inteligencji do analizy zagadnień PTZ	77
4.6.2. Algorytm generowania modelu PTZ	79
4.6.3. Algorytm generowanie modelu rozrzutu PTZ	82
4.6.4. Algorytm identyfikacji determinant rozrzutu PTZ	82
5. Identyfikacja determinant rozrzutu powierzchniowej trwałości zmęczeniowej	86
5.1. Metodyka badań powierzchniowej trwałości zmęczeniowej	86
5.1.1. Stanowiska do badań powierzchniowej trwałości zmęczeniowej	86
5.1.2. Badania pełne i skrócone	91
5.2. Opis matematyczny rozrzutu powierzchniowej trwałości zmęczeniowej	92
5.2.1. Estymacja przedziałowa rozrzutu PTZ	92
5.2.2. Estymacja rozrzutu trwałości na podstawie badań skróconych	99
5.3. Analiza konstrukcyjnych aspektów rozrzutu PTZ	100
5.3.1. Wpływ rodzaju łożyska i geometrii styku na rozrzut PTZ	100
5.3.2. Wpływ korekcji profilu bieżni na rozrzut PTZ	102
5.4. Analiza technologicznych aspektów rozrzutu PTZ	105
5.4.1. Wpływ właściwości materiału na rozrzut PTZ	105
5.4.2. Wpływ rozrzutu średnicy elementów tocznych na rozrzut PTZ	124
5.4.3. Wpływ struktury geometrycznej powierzchni na rozrzut PTZ	124
5.4.4. Kompleksowa ocena wpływu stanu technologicznej WW na PTZ	126
5.5. Analiza eksploatacyjnych aspektów rozrzutu PTZ	137
5.5.1. Transformacja technologicznej WW w eksploatacyjną	137
5.5.2. Wpływ czynników eksploatacyjnych na rozrzut PTZ	141
5.5.3. Badania wpływu rodzaju tarcia na rozrzut PTZ	143
6. Początkowy okres niezawodnej pracy węzłów tocznych (PONP)	153
6.1. Przesłanki wskazujące na istnienie początkowego okresu niezawodnej pracy	153
6.1.1. Zdefiniowanie pojęcia początkowego okresu niezawodnej pracy	153
6.1.2. Okres niezawodnej pracy a niezawodność w okresach gwarancyjnych	153
6.1.3. Okres niezawodnej pracy a graniczne obciążenie zmęczeniowe	154
6.1.4. Przesłanki literaturowe sugerujące istnienie PONP	155
6.1.5. Początkowy okres niezawodnej pracy w świetle ISO 281:2007	156
6.2. Opis matematyczny początkowego okresu niezawodnej pracy	159
6.2.1. Miara początkowego okresu niezawodnej pracy (M)	159
6.2.2. Estymacja przedziałowa parametru M	160
6.2.3. Estymacja parametru M na podstawie badań eksploatacyjnych	167
6.2.4. Implementacja matematycznego opisu PTZ (program ML-Weibull)	170

6.3. Analiza wpływu czynników konstrukcyjnych na PONP	172
6.3.1. Wpływ rodzaju łożyska i geometrii styku na PONP	172
6.3.2. Wpływ korekcji profilu bieżni na początkowy okres niezawodnej pracy	174
6.4. Analiza wpływu czynników technologicznych na PONP	176
6.4.1. Materiałowy aspekt początkowego okresu niezawodnej pracy	176
6.4.2. Badania wpływu dyspersji węglików na PONP	177
6.4.3. Badania wpływu wtrąceń niemetalicznych na PONP	178
6.4.4. Badania wpływu struktury geometrycznej na PONP	179
6.5. Analiza wpływu czynników eksploatacyjnych na PONP	180
6.5.1. Wpływ obciążenia na początkowy okres niezawodnej pracy	180
6.5.2. Badania wpływu smarowania na PONP	181
7. Propozycja modyfikacji procedury doboru łożysk tocznych	182
7.1. Uwzględnienie rozrzutu powierzchniowej trwałości zmęczeniowej	182
7.1.1. Opis zakresu zmiany procedury doboru ŁT	182
7.1.2. Wyznaczanie wartości parametru B	183
7.1.3. Wyznaczanie współczynnika niezawodności a_1 z uwzględnieniem parametru B	184
7.2. Wykorzystanie początkowego okresu niezawodnej pracy ŁT	186
7.2.1. Opis zakresu zmiany procedury doboru ŁT	186
7.2.2. Wyznaczanie wartości parametru M	186
7.2.3. Wyznaczenie zależności na współczynnik a_1 uwzględniającej parametry B i M	188
7.3. Rozwinięcie aparatu matematycznego opisującego PTZ	195
7.3.1. Miara rozrzutu PTZ R jako funkcja parametrów B i M	195
7.3.2. Miara PONP M jako funkcja parametrów A , B i E	196
7.3.3. Parametr B jako funkcja R i M	197
7.3.4. Współczynnik niezawodności a_1 jako funkcja R i M	197
7.4. Konsekwencje stosowania proponowanego sposobu obliczania trwałości	198
7.4.1. Porównanie wartości współczynników niezawodności	198
7.4.2. Porównanie obliczonej trwałości łożysk tocznych	200
8. Podsumowanie	204
8.1. Synteza rozważanych aspektów PTZ	204
8.1.1. Determinanty rozrzutu powierzchniowej trwałości zmęczeniowej	204
8.1.2. Czynniki wpływające na początkowy okres niezawodnej pracy	205
8.2. Zmodyfikowana procedura doboru łożysk tocznych	206
8.2.1. Algorytm obliczeń trwałości łożysk tocznych	206
8.2.2. Ograniczenia proponowanej modyfikacji procedury doboru ŁT	206
8.3. Zakończenie	208
8.3.1. Perspektywa dalszych badań	208
8.3.2. Konkluzja dotycząca algorytmów eksploracji danych	209
8.3.3. Możliwości poprawy jakości węzłów tocznych	209
8.3.4. Rozrzut potrzeb	210
Bibliografia	212
Streszczenie	229
Summary	230