



Spis treści

Od Autorów	11
Rozdział 1	
Wstęp	17
1.1. Rys historyczny rozwoju przemysłu cementowego w Polsce	17
1.2. Produkcja cementu	22
1.3. Eksploatacja maszyn	24
1.4. Utrzymanie ruchu maszyn i urządzeń	28
1.5. Diagnostyka eksploatacyjna maszyn w przemyśle	30
1.6. Symptomy uszkodzeń – zagadnienia ogólne	35
1.7. Kryteria oceny stanu dynamicznego maszyn, wartości graniczne pracy maszyn	35
1.7.1. Ocena drganiowa maszyn	36
1.7.2. Kryteria oceny stanu drganiowego maszyn, wartości graniczne pracy maszyn	36
1.7.3. Podział maszyn na grupy dynamiczne	40
1.8. Rodzaje uszkodzeń i ich statystyka	43
1.9. Cyberbezpieczeństwo w zakładzie przemysłowym	47
1.9.1. Uwagi ogólne	47
1.9.2. Systemy sterowania i automatyki	48
1.9.3. Przykłady ataków cybernetycznych	51
1.9.4. Krajowe uregulowania prawne	52

Rozdział 2

Procedury naprawcze w Cementowni „ODRA” S.A.

– zmiany w wyposażeniu elektrycznym układów napędowych oraz inne procedury naprawcze	55
2.1. Wprowadzenie	55
2.2. Modernizacja wyposażenia pól zasilających silniki 6 kV	56
2.3. Zmiany w układach rozruchowych silników pierścieniowych	60
2.4. Ulepszenia w układach przeniesienia napędu	63
2.5. Zmiany dotyczące fundamentów i konstrukcji wsporczych	64
2.6. Modernizacja montażu i kontroli ustawienia silnika	65
2.7. Zastosowanie wyważarki dynamicznej on-line	66
2.8. Usprawnienia podyktowane warunkami pracy – wysoką temperaturą	69
2.9. Ulepszenia dotyczące stacji olejowych	70
2.10. Wprowadzenie systemu informatycznego, monitoring układów napędowych za pomocą systemu CEMAT PCS7 Siemens [326] ...	71
2.11. Sposoby obserwacji on-line układów napędowych	72
2.12. Budowa systemu sterowania opartego na systemie CEMAT PCS7 Siemens	76
2.13. Komunikacja ProfibusDP sterowników PLC oparta na sieciach światłowodowych	87

Rozdział 3

Diagnostyka eksploatacyjna elektrycznych napędów

przemysłowych – badania własne	91
3.1. O pomiarach drgań – wprowadzenie	91
3.2. Diagnozowanie układów i systemów w Cementowni „ODRA” S.A.	93
3.3. Klasyfikacja napędów	94
3.4. Monitoring układów napędowych	99
3.5. Przeciżenia i zakłócenia technologiczne układu napędzanego	99
3.6. Wprowadzenie systemu kontroli drgań układów napędowych	101

Rozdział 4

Diagnostyka drganiowa maszyn i zespołów maszynowych

4.1. Wprowadzenie	105
4.2. Niewyważenie wirników	108
4.2.1. Przyczyny niewyważenia	108
4.2.2. Charakterystyka składowych drgań	108
4.2.3. Przygotowanie zespołu maszynowego do pomiarów	111

4.3.	Niewspółosiowość maszyn	112
4.3.1.	Typy niewspółosiowości	112
4.3.2.	Charakterystyka składowych drgań	114
4.3.3.	Osiowanie urządzeń	115
4.4.	Defekty łożysk tocznych	121
4.4.1.	Przyczyny defektów łożysk i fazy ich degradacji	121
4.4.2.	Osluchiwanie łożyska	122
4.4.3.	Kontrola temperatury łożysk	123
4.4.4.	Obserwacja wzrokowa	124
4.4.5.	Pomiar współczynnika szczytu	124
4.4.6.	Analiza widmowa drgań	125
4.4.7.	Metoda analizy obwiedni	126
4.5.	Defekty łożysk ślizgowych	129
4.6.	Luzy, odkształcenia mechaniczne i wadliwe mocowanie maszyn ...	130
4.7.	Wadliwa współpraca kół zębatych	132
4.7.1.	Przyczyny defektów	132
4.7.2.	Charakterystyka składowych drgań	133
4.8.	Defekty napędów pasowych	134
4.8.1.	Przyczyny defektów	134
4.8.2.	Charakterystyka składowych drgań	135
4.9.	Drgania maszyn elektrycznych	135
4.9.1.	Przyczyny drgań maszyn elektrycznych	135
4.9.2.	Charakterystyka składowych drgań	136
4.9.3.	Wnioski z badań	139
4.10.	Rezonanse	141
4.11.	Pęknięcie wału	145
4.12.	Przycieranie wału	145

Rozdział 5

Pomiary drgań względnych on-line	147
--	-----

Rozdział 6

Monitoring drganiowy maszyn on-line	157
---	-----

6.1.	Przegląd systemów	157
6.2.	SKF Multilog On-line System IMx-S	158
6.3.	Oprogramowanie @ptitude Observer	161
6.3.1.	Definiowanie kanałów oraz punktów pomiarowych	161
6.3.2.	Analiza danych	162

Rozdział 7

Przykłady diagnostyki drganiowej i prądowej	169
---	-----

7.1.	Wentylator młyna surowca nr 051 – uszkodzone łożysko toczne ...	169
7.2.	Luz w zabudowie panewek łożyska ślizgowego silnika SYUe-148/01, 6 kV, 1000 kW	173
7.3.	Przekładnia młyna cementu	174
7.4.	Uszkodzenie łożyska baryłkowego w przykładowym silniku	176
7.5.	Próba ruchowa wentylatora do obsługi pieca w jednej z cementowni	177
	7.5.1. Próba ruchowa	178
	7.5.2. Wyważanie	178
7.6.	Rezonans konstrukcji wsporczej pod napędem wentylatora powietrza	179
7.7.	Uszkodzony wirnik wentylatora powietrza	181
7.8.	Wykorzystanie wizualizacji drgań do diagnostyki zespołu maszynowego wentylatora powietrza	182
7.9.	Monitoring młyna cementu	184
7.10.	Drgania łożyska zewnętrznego wentylatora powietrza gorącego ...	187
7.11.	Rezonans stropu wywołany pracą taśmociągów	190
	7.11.1. Przykład	192
7.12.	Diagnostyka prądowa klatki silnika pompy wody	194

Rozdział 8

Izolacja uzwojeń silników elektrycznych.	197
8.1. Wprowadzenie	197
8.2. Współczesne rodzaje izolacji silników elektrycznych	199
8.2.1. Izolacja termoutwardzalna Resin Rich	201
8.2.2. Izolacja VPI	202
8.3. Przyczyny występowania uszkodzeń izolacji uzwojeń silników elektrycznych	204

Rozdział 9

Badania stanu izolacji uzwojeń silników elektrycznych	209
9.1. Próba napięciowa izolacji	209
9.2. Próba izolacji zwojów	211
9.2.1. Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń off-line (poza eksploatacją)	211
9.2.2. Metody prof. Tadeusza Glinki wykorzystujące pomiary napięciem stałym	215
9.2.3. Metoda prof. Tadeusza Glinki i zespołu do oceny izolacji zwojowej	220
9.3. Metoda na podstawie pomiarów PI, C, SV, DD – test Meggera . . .	220

9.3.1. Badanie napięciem narastającym schodkowo – SV (Step Voltage)	223
9.3.2. Metoda uderzeń napięciowych, test Bakera	225
9.3.3. Ocena stanu izolacji na podstawie pomiarów wyładowań niezupełnych	227
Rozdział 10	
Ocena stanu izolacji uzwojeń silników elektrycznych WN na podstawie pomiarów wyładowań niezupełnych (wnz)	231
10.1. Model wyładowań niezupełnych w systemie izolacyjnym	231
10.2. Typowe źródła defektów w izolacji maszyn elektrycznych	236
10.3. Pomiary wyładowań niezupełnych w warunkach przemysłowych przy wykorzystaniu aparatury amerykańskiej typu InsulGard firmy Eaton Cutler-Hammer – badania własne	238
10.4. Przykładowa aplikacja – układ do pomiaru on-line wyładowań niezupełnych InsulGard firmy EATON dla napędu młyna surowca	241
10.5. Pomiary wyładowań niezupełnych on-line w warunkach przemysłowych przy wykorzystaniu aparatury rosyjskiej typu R-500 firmy Vibrocenter – badania własne	243
Rozdział 11	
Autorska metoda oceny stanu izolacji stojanów silników WN	251
Rozdział 12	
Uwagi i wnioski końcowe	269
Literatura	277