



---

## *Spis treści*

---

Od Autorów .....	11
<b>Rozdział 1</b>	
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. Diagnostowanie układów i systemów w Cementowni „ODRA” S.A. ....	93
3.3. Klasyfikacja napędów .....	94
3.4. Monitoring układów napędowych .....	99
3.5. Przeciężenia i zakłócenia technologiczne układu napędzanego .....	99
3.6. Wprowadzenie systemu kontroli drgań układów napędowych .....	101

## Rozdział 4

Diagnostyka drganiowa maszyn i zespołów maszynowych .....	105
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
<b>Rozdział 5</b>		
	<b>Pomiary drgań względnych on-line .....</b>	<b>147</b>
<b>Rozdział 6</b>		
	<b>Monitoring drganiowy maszyn on-line .....</b>	<b>157</b>
6.1.	Przegląd systemów .....	157
6.2.	SKF Multilog On-line System IMx-S .....	158
6.3.	Oprogramowanie @plitude Observer .....	161
6.3.1.	Definiowanie kanałów oraz punktów pomiarowych .....	161
6.3.2.	Analiza danych .....	162
<b>Rozdział 7</b>		
	<b>Przykłady diagnostyki drganiowej i prądowej .....</b>	<b>169</b>

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
 <b>Rozdział 8</b>		
	<b>Izolacja uzwojeń silników elektrycznych.</b> .....	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
 <b>Rozdział 9</b>		
	<b>Badania stanu izolacji uzwojeń silników elektrycznych</b> .....	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
<b>Rozdział 10</b>	
<b>Ocena stanu izolacji uzwojeń silników elektrycznych WN na podstawie pomiarów wyładowań niezupełnych (wnz) . . . . .</b>	<b>231</b>
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
<b>Rozdział 11</b>	
<b>Autorska metoda oceny stanu izolacji stojanów silników WN . . . . .</b>	<b>251</b>
<b>Rozdział 12</b>	
<b>Uwagi i wnioski końcowe . . . . .</b>	<b>269</b>
<b>Literatura . . . . .</b>	<b>277</b>