

Sławomir Szymaniec
Politechnika Opolska, Opole

STATYSTYKA USZKODZEŃ W ELEKTROWNIACH ZAWODOWYCH

STATISTICS OF FAILURES IN ELECTRIC POWER STATION

Streszczenie: Niezawodność dużych bloków energetycznych zawsze miała i nadal ma duże znaczenie dla pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. W artykule przedstawiono definicje podstawowych wskaźników niezawodności bloków energetycznych, stosowanych w Polsce i na świecie. W pierwszej kolejności są obliczane liczby i czasy trwania wyróżnionych stanów: (T_p , T_r , T_{kp} , T_s , T_b , T_a , T_k , L_r , L_{kp} , L_s , L_b , L_a , L_w) gdzie: T_p – czas pracy bloku lub grupy bloków w rozpatrywanym okresie, T_r – czas postojów bloku lub grupy bloków w rezerwie w rozpatrywanym okresie, T_{kp} – czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie kapitalnym, T_s – czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie średnim, T_b – czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie bieżącym, T_a – czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie awaryjnym, T_k – czas okresu, za który wykonywane są obliczenia (wartość ta jest w systemie obliczana, ale służy tylko do obliczenia wskaźników, nie jest więc nigdzie drukowana), L_r – liczba postojów w rezerwie, L_{kp} – liczba postojów w remoncie kapitalnym, L_s – liczba postojów w remoncie średnim, L_b – liczba postojów w remoncie bieżącym, L_a – liczba postojów w remoncie awaryjnym, L_w – liczba wszystkich postojów. Na podstawie wyżej wymienionych wielkości są obliczane następujące wskaźniki: wskaźnik dyspozycyjności AF , udział czasu awarii w czasie kalendarzowym FOF , wskaźnik awaryjności FOR , wskaźnik wykorzystania mocy zainstalowanej GCF , wskaźnik użytkowania mocy osiągalnej GOF , wskaźnik remontów planowych SOF , wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego SF , średni czas ruchu ART .

Abstract: The reliability of large power units has always had and continues to have a significant meaning to the operation of the Polish Power System. This paper presents definitions of the basic indices of power unit reliability used in Poland and in the world. First, numbers and the duration of specific states are calculated: (T_p , T_r , T_{kp} , T_s , T_b , T_a , T_k , L_r , L_{kp} , L_s , L_b , L_a , L_w) where: T_p – run (service) time of the power unit or a group of power units within the analysed period of time, T_r – outage on stand-by time of the power unit or a group of power units within the analysed period of time, T_{kp} – outage during a general overhaul time of the power unit or a group of power units, T_s – outage during a medium-scale overhaul time of the power unit or a group of power units, T_b – outage during routine maintenance time of the power unit or a group of power units, T_a – outage during emergency repairs time of the power unit or a group of power units, T_k – time to which the calculations apply (this value is calculated by the system but is only used to calculate indices and is not printed anywhere), L_r – number of outages on stand-by, L_{kp} – number of outages during a general overhaul, L_s – number of outages during a medium-scale overhaul, L_b – number of outages during routine maintenance, L_a – number of outages during emergency repairs, and L_w – number of all outages. Based on the above-mentioned values, the following indices are calculated: availability index AF , share of the outage time in the calendar time FOF , failure index FOR , utilisation index of the capacity installed GCF , utilisation index of the achievable capacity GOF , index of scheduled overhauls SOF , utilisation factor of the calendar time SF , average run time ART .

Słowa kluczowe: eksploatacja, zespół maszynowy, stan techniczny, diagnostyka, monitorowanie, niezawodność, bloki energetyczne, wskaźniki niezawodności

Keywords: exploitation, machine units, technical condition, diagnostic, monitoring, reliability, power units, reliability indices

1. Wstęp

Współcześnie w krajowej elektroenergetyce poza Głównym Urzędem Statystycznym praktycznie nie funkcjonują dobrowolne, centralne systemy gromadzenia i przetwarzania danych technicznych i ekonomicznych [3]. Wyjątkiem w tym zakresie jest utrzymywany w Agencji Rynku Energii S.A. system gromadzenia

i przetwarzania danych o awaryjności bloków energetycznych o mocach $120 \div 500$ MW. System ten obejmuje 113 bloków energetycznych o łącznej mocy stanowiącej ok. 2/3 zdolności wytwórczej krajowego systemu elektroenergetycznego. Z analizy statystyki awaryjności krajowych bloków energetycznych wynika,

że następuje systematyczna poprawa wskaźników niezawodności jednostek wytwórczych w elektrowniach z blokami o mocy zainstalowanej od 120 do 500 MW [3]. Najniższą awaryjność FOR (3) odnotowano dla bloków o zainstalowanej mocy 360 MW, najwyższą dla bloków o mocy 200 MW na węgiel brunatny i dla dwóch bloków o mocy 500 MW. Najwyższą dyspozycyjność AF (1) osiągnęły nowoczesne bloki o mocy 360 MW, zaś najniższą odnotowano dla bloków o mocy 200 MW na węgiel brunatny i dla bloków o mocy 500 MW, które od początku sprawiały duże problemy eksploatacyjne.

Krajowe bloki energetyczne, za wyjątkiem bloków o mocy zainstalowanej 500 MW, mają zbliżoną do zachodnich dyspozycyjność AF (1) i czasami niższą awaryjność FOR (3) i FOF (2), wyższy wskaźnik remontów planowych SOF (6), co potwierdza **znaczenie właściwej diagnostyki technicznej i optymalizacji remontów dla ograniczenia czasu postoju bloku energetycznego.**

2. Wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne krajowych bloków

Wskaźniki eksploatacyjne umożliwiają przeprowadzenie oceny awaryjności, dyspozycyjności i niezawodności krajowych bloków energetycznych [3]. Obliczenia wykonuje się dla bloków energetycznych, o mocach jednostkowych, co najmniej 120 MW, w elektrowniach ciepłych i dla dużych bloków ciepłowniczych za odpowiedni okres pracy. Dla każdego bloku oraz dla grupy bloków obliczane są następujące parametry: czas ruchu, czas postoju w rezerwie, czas postoju w remoncie (kapitalnym, średnim, bieżącym, awaryjnym), liczba odstawień do (rezerwy, remontu kapitalnego, średniego, bieżącego, awaryjnego), z których wyliczane są następujące wskaźniki: remontów planowych, dyspozycyjności, awaryjności, stopnia wykorzystania mocy zainstalowanej, stopnia użytkowania mocy osiągalnej, udziału czasu awarii w czasie kalendarzowym, wykorzystania czasu kalendarzowego oraz średniego czasu ruchu.

W pierwszej kolejności obliczane są następujące wielkości:

- T_p – czas pracy bloku lub grupy bloków w rozpatrywanym okresie,
- T_r – czas postojów bloku lub grupy bloków w rezerwie w rozpatrywanym okresie,
- T_{kp} – czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie kapitalnym,

- T_s – czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie średnim,
- T_b – czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie bieżącym,
- T_a – czas postojów bloku lub grupy bloków w remoncie awaryjnym,
- T_k – czas okresu, za który wykonywane są obliczenia (miesięcznie, kwartalnie, rocznie),
- L_r – liczba postojów w rezerwie,
- L_{kp} – liczba postojów w remoncie kapitalnym,
- L_s – liczba postojów w remoncie średnim,
- L_b – liczba postojów w remoncie bieżącym,
- L_a – liczba postojów w remoncie awaryjnym,
- L_w – liczba wszystkich postojów.

Do obliczeń wykorzystujemy ponadto poniższe dane:

- A_n – wyprodukowana energia elektryczna,
- P_z – moc zainstalowana,
- P_{os} – moc osiągalna.

Na podstawie wyżej wymienionych wielkości obliczane są następujące wskaźniki [3]:

- **Wskaźnik dyspozycyjności AF:**

$$AF = \frac{T_p + T_r}{T_k} 100 \quad (1)$$

AF = (czas pracy + czas postojów w rezerwie / czas okresu) * 100

- **Udział czasu awarii w czasie kalendarzowym FOF:**

$$FOF = \frac{T_a}{T_k} 100 \quad (2)$$

FOF = (czas postojów awaryjnych / czas okresu) * 100

- **Wskaźnik awaryjności FOR:**

$$FOR = \frac{T_a}{T_p + T_a} 100 \quad (3)$$

FOR = (czas postojów awaryjnych / czas pracy + czas postojów awaryjnych) * 100

- **Wskaźnik wykorzystania mocy zainstalowanej GCF:**

$$GCF = \frac{A_n}{T_k P_z} 100 \quad (4)$$

GCF = (wyprodukowana energia elektryczna / czas okresu * moc zainstalowana) * 100

- **Wskaźnik użytkowania mocy osiągalnej GOF:**

$$GOF = \frac{A_n}{T_p P_{os}} 100 \quad (5)$$

GOF = (wyprodukowana energia elektryczna / czas pracy * moc osiągalna) * 100

- **Wskaźnik remontów planowych SOF:**

$$SOF = \frac{T_{kp} + T_s + T_b}{T_k} 100 \quad (6)$$

SOF = (czas postojów w remoncie: kapitalnym, średnim, bieżącym / czas okresu) * 100

- **Wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego SF:**

$$SF = \frac{T_p}{T_k} 100 \quad (7)$$

SF = (czas pracy / czas okresu) * 100,

- **Średni czas ruchu (obliczeniowy) ART:**

$$ART = \frac{T_p}{L_w} \quad (8)$$

ART = czas pracy/liczba postojów ogółem.

Tabela 1. Awaryjność, dyspozycyjność, czas awarii i remontów w jednej z krajowych elektrowni dla bloków 1 – 8 [1]

| Rok | Wyszczególnienie | Bloki | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|
| 1973 | Czas remontów | h | 788 | 284 | 174 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Czas awarii | h | 1 400 | 392 | 240 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Awaryjność | % | 10,0 | 15,7 | 8,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Dyspozycyjność | % | 75,0 | 82,3 | 76,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1974 | Czas remontów | h | 1 288 | 1 433 | 1 232 | 711 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Czas awarii | h | 703 | 266 | 279 | 860 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Awaryjność | % | 9,3 | 3,6 | 3,7 | 11,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Dyspozycyjność | % | 77,3 | 80,0 | 82,7 | 80,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1975 | Czas remontów | h | 1 599 | 783 | 1 062 | 760 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Czas awarii | h | 474 | 406 | 363 | 737 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Awaryjność | % | 6,7 | 5,1 | 4,7 | 9,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Dyspozycyjność | % | 76,3 | 86,4 | 83,7 | 82,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1976 | Czas remontów | h | 744 | 1 750 | 1 683 | 226 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Czas awarii | h | 425 | 551 | 724 | 1 046 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Awaryjność | % | 5,3 | 7,8 | 10,2 | 12,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Dyspozycyjność | % | 86,7 | 73,8 | 72,6 | 85,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 1977 | Czas remontów | h | 1 551 | 736 | 640 | 1 676 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Czas awarii | h | 863 | 369 | 367 | 160 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Awaryjność | % | 12,0 | 4,6 | 4,5 | 2,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | Dyspozycyjność | % | 72,4 | 87,4 | 88,5 | 79,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

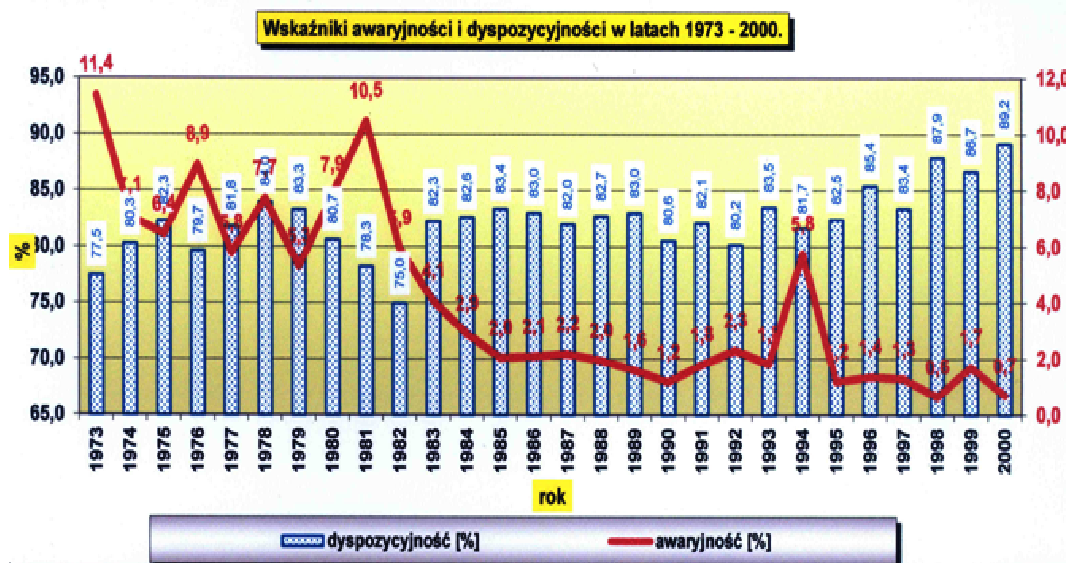
3. Analiza awaryjności maszyn w krajowych elektrowniach

W jednej z krajowych elektrowni przeanalizowano awaryjność, dyspozycyjność, czasy awarii i remontów zespołów maszynowych od 1973 do 2000 roku [167]. Poszczególne bloki energetyczne, każdy po 200 MW zostały przekazane do eksploatacji w latach 1972-1978. Analizowany okres ruchu elektrowni - 28 lat, charakteryzuje się wdrażaniem diagnostyki zespołów maszynowych w utrzymaniu ruchu maszyn i stopniowym odchodzeniem od prowadzenia remontów zapobiegawczych warunkowanych czasem na rzecz remontów warunkowanych stanem maszyny. W latach 1992 – 1994 zainstalowano system ciągłego monitorowania i diagnostyki dla maszyn krytycznych. - tabela 1 i 2, W pierwszych latach uruchamiania poszczególnych bloków energetycznych wskaźnik awaryjności był stosunkowo wysoki (do 11,4%). Wiązało się to z okresem opanowywania technologii ruchu bloków. Po tym okresie następuje spadek awaryjności spowodowany stopniowym wdrożeniem diagnostyki w utrzymaniu ruchu zespołów maszynowych. Po zainstalowaniu systemu monitorowania i diagnostyki wskaźnik awaryjności nie przekroczył 1,7%.

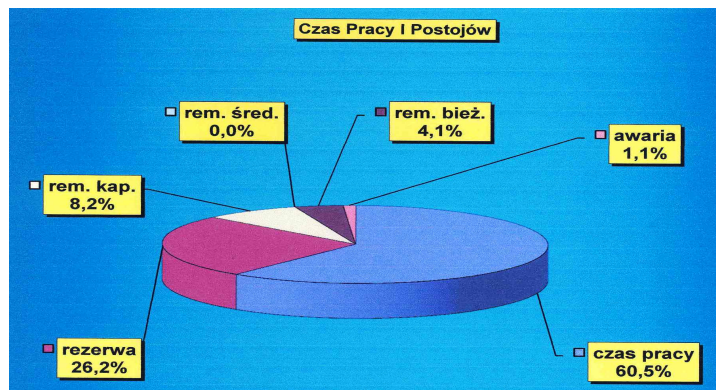
| | | | | | | | | | | |
|------|----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1978 | Czas remontów | h | 940 | 686 | 738 | 402 | 464 | 532 | 489 | 0 |
| | Czas awarii | h | 648 | 304 | 695 | 872 | 418 | 475 | 0 | 0 |
| | Awaryjność | % | 8,3 | 3,8 | 8,7 | 10,4 | 6,0 | 11,9 | 0,0 | 0,0 |
| | Dyspozycyjność | % | 81,9 | 88,7 | 83,6 | 85,5 | 87,0 | 77,7 | 66,7 | 100,0 |
| 1979 | Czas remontów | h | 1 342 | 1 577 | 737 | 1 296 | 893 | 725 | 359 | 1 504 |
| | Czas awarii | h | 393 | 77 | 288 | 596 | 330 | 506 | 537 | 514 |
| | Awaryjność | % | 5,4 | 1,1 | 3,7 | 8,1 | 4,2 | 6,3 | 6,4 | 7,1 |
| | Dyspozycyjność | % | 80,2 | 81,1 | 88,3 | 78,4 | 86,0 | 85,9 | 89,8 | 77,0 |
| 1980 | Czas remontów | h | 872 | 649 | 1 308 | 827 | 1 372 | 1 637 | 880 | 1 340 |
| | Czas awarii | h | 1 204 | 582 | 338 | 476 | 450 | 476 | 535 | 634 |
| | Awaryjność | % | 15,3 | 7,4 | 4,7 | 6,2 | 6,3 | 6,7 | 7,0 | 8,7 |
| | Dyspozycyjność | % | 76,4 | 86,0 | 81,3 | 85,2 | 79,3 | 75,9 | 83,9 | 77,5 |
| 1998 | Czas remontów | h | 1 255 | 3 187 | 592 | 384 | 1 407 | 164 | 290 | 877 |
| | Czas awarii | h | 12 | 48 | 137 | 5 | 22 | 53 | 18 | 9 |
| | Awaryjność | % | 0,2 | 1,1 | 1,9 | 0,1 | 0,5 | 1,4 | 0,2 | 0,1 |
| | Dyspozycyjność | % | 85,5 | 63,1 | 91,7 | 95,6 | 83,7 | 97,5 | 96,5 | 89,9 |
| 1999 | Czas remontów | h | 377 | 508 | 3 086 | 297 | 465 | 2 932 | 328 | 572 |
| | Czas awarii | h | 29 | 54 | 51 | 107 | 19 | 9 | 178 | 297 |
| | Awaryjność | % | 0,4 | 0,7 | 1,0 | 1,6 | 0,8 | 0,3 | 2,9 | 4,9 |
| | Dyspozycyjność | % | 95,4 | 93,6 | 64,2 | 95,4 | 94,5 | 66,4 | 94,2 | 90,1 |
| 2000 | Czas remontów | h | 621 | 252 | 182 | 795 | 2 947 | 478 | 1 521 | 506 |
| | Czas awarii | h | 12 | 13 | 5 | 0 | 55 | 39 | 9 | 167 |
| | Awaryjność | % | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,0 | 2,4 | 1,0 | 0,1 | 2,2 |
| | Dyspozycyjność | % | 92,8 | 97,0 | 97,9 | 91,0 | 65,8 | 94,1 | 82,6 | 92,3 |

Na rys. 1 przedstawiono wskaźniki awaryjności i dyspozycyjności poszczególnych bloków w latach 1973–2000. Na rys. 2÷4 przedstawio-

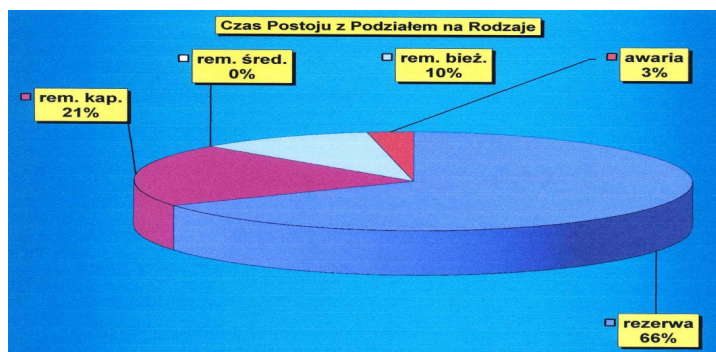
no czas pracy i różnego rodzaju postoje bloków oraz porównanie czasów postojów bloków w remoncie bieżącym ze wskaźnikiem awaryjności.



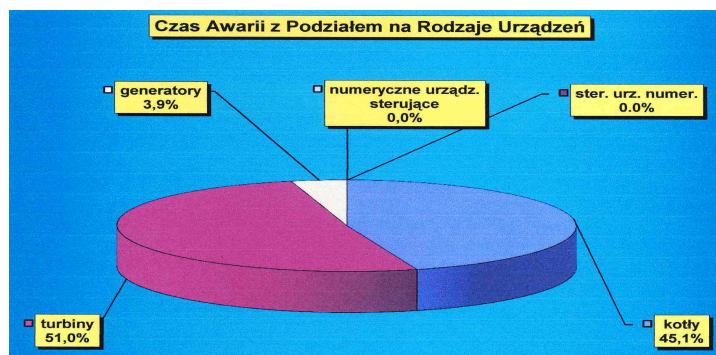
Rys. 1. Wskaźniki awaryjności i dyspozycyjności jednej z krajowych elektrowni w latach 1973 – 2000 [1]



Rys. 2. Czas pracy i postojów jednej z krajowych elektrowni [3]



Rys. 3. Czas postoju z podziałem na rodzaje w jednej z krajowych elektrowni [3]



Rys. 4. Czas awarii z podziałem na rodzaje urządzeń w jednej z krajowych elektrowni [3]

4. Awaryjność maszyn potrzeb własnych

Statystyka awaryjności maszyn elektrycznych potrzeb własnych, w tym napędów z silnikami indukcyjnymi klatkowymi WN, w jednej z krajowych elektrowni przedstawia się następująco - tabela 3.

Tabela 3. Ilość awarii silników klatkowych WN w przykładowej krajowej elektrowni

| Rok | Liczba awarii ogółem | Liczba awarii mechanicznych | Liczba awarii elektrycznych |
|------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1994 | 44 | 27 | 17 |
| 1995 | 37 | 25 | 12 |

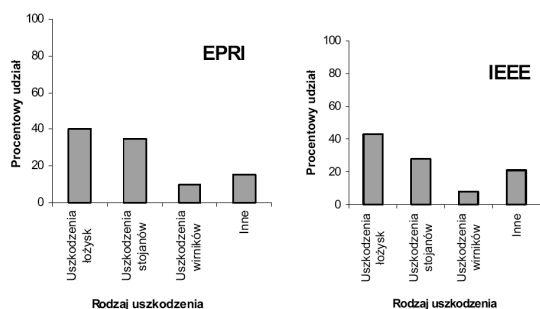
| | | | |
|-----------|------------|-----------|-----------|
| 1996 | 30 | 21 | 9 |
| 1997 | 37 | 23 | 14 |
| 1998 | 31 | 21 | 10 |
| 1999 | 33 | 20 | 13 |
| 2000 | 29 | 18 | 11 |
| 2001 | 23 | 16 | 7 |
| 2002 | 27 | 18 | 9 |
| 2003 | 27 | 19 | 8 |
| 2004-2007 | średnio 12 | średnio 8 | średnio 4 |
| 2008-2009 | średnio 12 | średnio 5 | średnio 3 |
| 2010-2012 | średnio 12 | średnio 3 | średnio 2 |

Z przedstawionego zestawienia widać, że ogólna ilość awarii silników WN maleje, a liczba awarii elektrycznych jest zdecydowanie mniejsza od liczby awarii mechanicznych. Autor uważa, że w większości krajowych zakładów przemysłowych jest podobnie [4]. Analizując szczegółowo przyczyny awarii i nieoczekiwanych, nieplanowanych postojów napędów z silnikami indukcyjnymi klatkowymi WN, w oparciu o własne doświadczenia i obserwacje, autor ustalił następującą listę przyczyn [4]:

- stan łożysk,
- izolacja uzwojeń silników,
- niewyważenie, nieosiowość i luzy związane z ruchem wirnika,
- rezonanse,
- niesymetria szczeliny pomiędzy stojanem, a wirnikiem,
- uzwojenie klatkowe wirnika,
- stan konstrukcji wsporczych, fundamentów i mocowania.

Listę podano w kolejności, od przyczyn najczęściej występujących do tych, które występują najrzadziej.

Według dwóch niezależnych amerykańskich źródeł IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) i EPRI (Electric Power Research Institute), łożyska toczne należą do najczęstszych, poważnych przyczyn awarii silników indukcyjnych. Zestawienie uszkodzeń silników indukcyjnych ilustruje rys. 5 [2].



Rys. 5. Najczęściej występujące uszkodzenia silników indukcyjnych według dwóch niezależnych amerykańskich źródeł [2]

5. Uwagi końcowe

Wskaźniki eksploatacyjne umożliwiają przeprowadzenie oceny awaryjności, dyspozycyjności i niezawodności krajowych bloków energetycznych oraz napędów potrzeb własnych. Autor stwierdza spadek awaryjności zespołów maszynowych w krajowej energetyce spowodowany stopniowym wdrożeniem diagnostyki i monitoringu w utrzymaniu ruchu zespołów maszynowych. Ilość awarii elektrycznych jest zdecydowanie mniejsza od liczby awarii mechanicznych.

Literatura

- [1]. *Materiały udostępnione przez jedną z elektrowni.*
- [2]. Stone G.C., Boulter E.A., Culbert I., Dhirani H.: *Electrical insulation for rotating machines*. IEEE PRESS series on Power Engineering, USA, 2004.
- [3]. Dwojak J., Szymaniec S.: *Diagnostyka eksploatacyjna zespołów maszynowych w energetyce*. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej 2013, Opole, Studia i Monografie, zeszyt nr 344.
- [4]. Szymaniec S.: *Badania, eksploatacja i diagnostyka zespołów maszynowych z silnikami indukcyjnymi klatkowymi*. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej 2013, Opole, Studia i Monografie, zeszyt nr 333.

Autor

prof. dr hab. inż. Sławomir Szymaniec
Politechnika Opolska.

Wydział Elektrotechniki, Automatyki
i Informatyki

Katedra Elektrowni i Systemów Pomiarowych
45-758 Opole ul. Prószkowska 76

s.szymaniec@po.opole.pl