

Statystyka uszkodzeń w elektrowniach zawodowych

Sławomir Szymaniec


Wstęp

Analizy awaryjności bloków energetycznych, systemu elektroenergetycznego mają bardzo duże znaczenie dla funkcjonowania danego kraju. Poważne awarie systemu zasilania pozbawiają energii elektrycznej miliony ludzi, dezorganizują życie społeczne i gospodarcze w danym kraju, wywołując gigantyczne straty finansowe. Przykładem niech będą: *blackout* w 1965 roku w północno-wschodniej części USA i w Kanadzie, który pozbawił energii elektrycznej około 30 mln. ludzi, awarie w Kalifornii w latach 2000/2001, kolejne *blackouty* w USA, Wielkiej Brytanii, Włoszech, Niemczech potwierdziły wagę niezawodności systemu elektroenergetycznego [4].

Szczególne znaczenie dla pracy systemu elektroenergetycznego kraju ma niezawodność dużych bloków energetycznych ≥ 120 MW [4]. Dlatego Agencja Rynku Energii SA prowadzi ocenę awaryjności i dyspozycyjności bloków energetycznych dużej mocy. Wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne umożliwiają dokonanie stosownej oceny. Obliczenia wykonuje się za odpowiedni okres pracy dla bloków energetycznych, o mocach jednostkowych co najmniej 120 MW, w elektrowniach ciepłych i dla dużych bloków ciepłowniczych. 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, do remontu kapitalnego, średniego, bieżącego, awaryjnego. Następnie wyliczane są wskaźniki: remontów planowych, dyspozycyjności, awaryjności, stopnia wykorzystania mocy zainstalowanej, stopnia

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 .

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

 **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 .

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

użytkowania mocy osiągalnej, udziału czasu awarii w czasie kalendarzowym, wykorzystania czasu kalendarzowego oraz średniego czasu ruchu.

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 SA system gromadzenia i przetwarzania danych o awaryjności bloków energetycznych o mocach 120–500 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, 4]. 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, 4].

W pierwszej kolejności obliczane są następujące wielkości [3, 4]:

- 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 – liczbą 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, 4]:

- Wskaźnik dyspozycyjności *AF*:

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

$AF = (\text{czas pracy} + \text{czas postojów w rezerwie} / \text{czas okresu}) \times 100$

- Udział czasu awarii w czasie kalendarzowym *FOF*:

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

$FOF = (\text{czas postojów awaryjnych} / \text{czas okresu}) \times 100$

- Wskaźnik awaryjności *FOR*:

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

$FOR = (\text{czas postojów awaryjnych} / \text{czas pracy} + \text{czas postojów awaryjnych}) \times 100$

- Wskaźnik wykorzystania mocy zainstalowanej *GCF*:

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

$GCF = (\text{wyprodukowana energia elektryczna} / \text{czas okresu} \times \text{moc zainstalowana}) \times 100$

- Wskaźnik użytkowania mocy osiągalnej *GOF*:

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

$GOF = (\text{wyprodukowana energia elektryczna} / \text{czas pracy} \times \text{moc osiągalna}) \times 100$

- Wskaźnik remontów planowych *SOF*:

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

$SOF = (\text{czas postojów w remoncie: kapitalnym, średnim, bieżącym} / \text{czas okresu}) \times 100$

- Wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego *SF*:

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

$SF = (\text{czas pracy} / \text{czas okresu}) \times 100$

- Średni czas ruchu (obliczeniowy) *ART*:

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

Tabela 1. Wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne bloków energetycznych w latach 2011–2013 [4]

Grupy bloków	Wskaźniki							
	AF	FOF	FOR	GCF	GOF	SOF	SF	ART
	%							
Węgiel brunatny - bloki kondensacyjne (33 bloki)								
	82,2	4,3	5,4	67,7	86,5	13,6	75,5	331,6
120–199 MW (5 bloków)	84,6	1,9	2,8	60,8	91,6	13,4	66,4	291,0
200–299 MW (14 bloków)	80,7	7,6	9,4	60,4	81,2	11,7	73,2	292,0
300–499 MW (13 bloków)	82,4	1,8	2,2	71,5	88,5	15,8	80,7	389,0
>500 MW (1 blok)	88,6	1,6	1,8	79,5	90,1	9,8	88,2	374,0
Biomasa - bloki kondensacyjne (1 blok)								
	84,9	2,9	4,2	51,4	74,6	12,2	66,3	208,5
120–199 MW (14 bloków)	87,5	3,0	5,6	37,5	70,6	9,5	51,4	170,3
220–299 MW (45 bloków)	84,4	2,8	3,8	54,4	75,3	12,8	70,7	211,8
300–499 MW (5 bloków)	81,7	3,3	4,4	55,0	74,9	15,0	72,1	260,6
>500 MW (2 bloki)	85,6	3,4	5,7	43,3	73,3	11,0	55,9	306,4
Węgiel kamienny - bloki ciepłownicze (8 bloków)								
120–199 MW	74,4	3,5	5,4	49,2	80,2	23,1	61,7	349,8
RAZEM BLOKI KONDENSACYJNE I CIEPŁOWNICZE (108)								
	83,3	3,4	4,7	57,8	79,7	13,3	68,9	245,8
120–199 MW (27 bloków)	83,2	2,9	4,9	47,3	78,8	13,8	57,1	224,7
200–299 MW (60 bloków)	83,5	4,0	5,3	55,8	76,7	12,5	71,3	227,0
300–499 MW (18 bloków)	82,2	2,2	2,8	66,8	84,8	15,6	78,3	350,7
>500 MW (3 bloki)	86,4	2,9	4,3	56,9	81,2	10,7	64,5	327,9

$ART = \text{czas pracy} / \text{liczba postojów ogółem}$.

Utrzymywany w Agencji Rynku Energii SA system gromadzenia i przetwarzania danych o awaryjności bloków energetycznych o mocach 120–858 MW obejmuje 108 bloków energetycznych (do niedawna 113) 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 – tabela 1 [4].

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 [1, 3]. 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,

Tabela 2. 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
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

Tabela 3. Awaryjność, dyspozycyjność, czas awarii i remontów w jednej z krajowych elektrowni dla bloków 1-8 [1, 3], c.d.

Rok	Wyszczególnienie	Blok	1	2	3	4	5	6	7	8
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

warunkowanych stanem maszyny. W latach 1992–1994 zainstalowano system ciągłego monitorowania i diagnostyki dla maszyn krytycznych – tabela 2 i 3. 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 wdrażaniem diagnostyki w utrzymaniu ruchu zespołów maszynowych. Po zainstalowaniu systemu monitorowania i diagnostyki wskaźnik awaryjności nie przekroczył 1,7%.

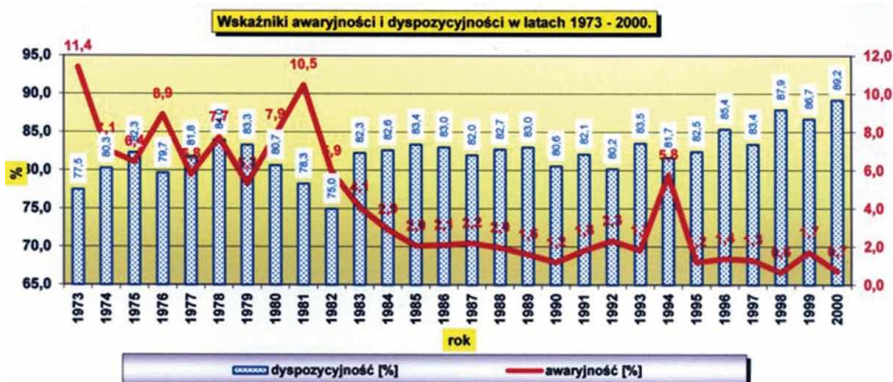
Na rys. 1 przedstawiono wskaźniki awaryjności i dyspozycyjności poszczególnych bloków w latach 1973–2000. Na rys. 2–4 przedstawiono czas pracy i różnego rodzaju postoje bloków oraz porównanie czasów postojów bloków w remoncie bieżącym ze wskaźnikiem awaryjności.

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 4.

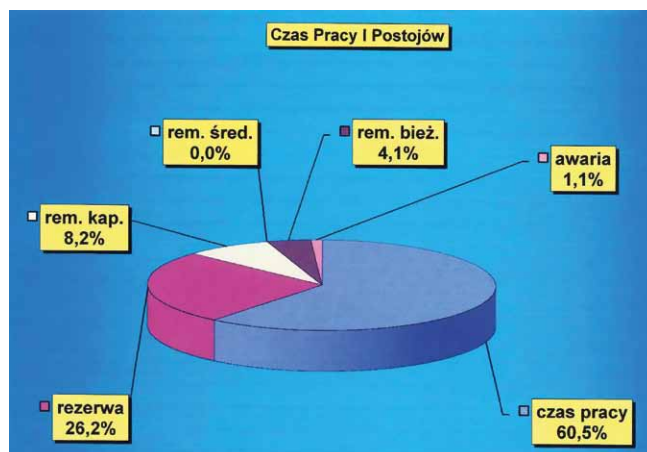
Z przedstawionego zestawienia widać, że ogólna ilość awarii silników WN maleje, a liczba awarii elektrycznych jest zdecydowanie mniejsza od liczby awarii mechanicznych. Autor uważa, że w większości krajowych zakładów przemysłowych jest podobnie [5]. Analizując szczegółowo przyczyny awarii i nieoczekiwanych, nieplanowanych postojów napędów z silnikami indukcyjnymi klatkowymi WN, w oparciu o własne doświadczenia i obserwacje, autor ustalił następującą listę przyczyn [5]:

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

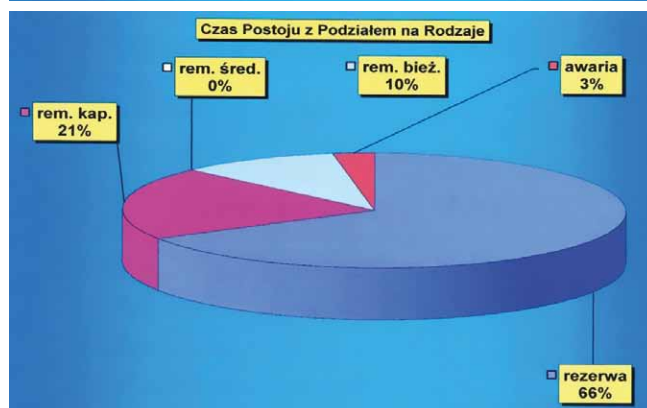


Rys. 1. Wskaźniki awaryjności i dyspozycyjności jednej z krajowych elektrowni w latach 1973–2000 [1]

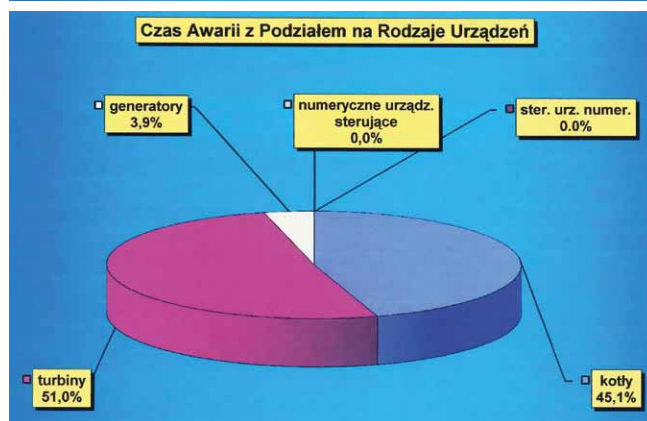
Rys. 2. Czas pracy i postojów jednej z krajowych elektrowni [3]

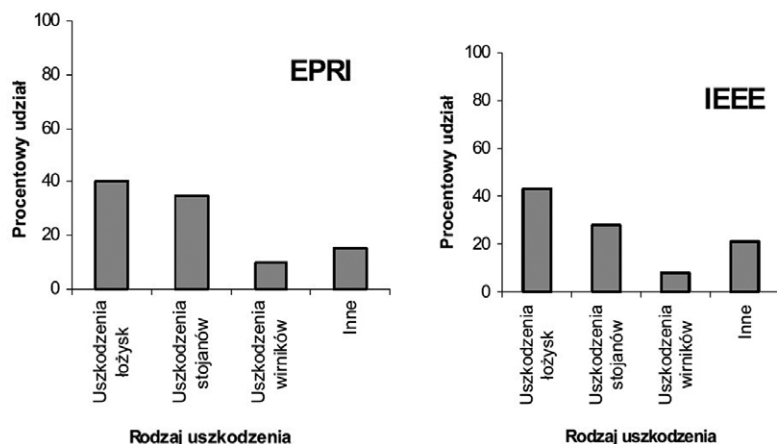


Rys. 3. Czas postoju z podziałem na rodzaje w jednej z krajowych elektrowni [3]



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





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

Tabela 4. 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

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].

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 wdrażaniem 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, Opole 2013, Studia i Monografie, zeszyt nr 344.
- [4] PASKA J.: *Niezawodność bloków energetycznych w Polsce i na świecie*. *Acta Energetica*. Power Engineering Quarterly, nr 3, rok 2015, str. 66–70.
- [5] SZYMANIEC S.: *Badania, eksploatacja i diagnostyka zespołów maszynowych z silnikami indukcyjnymi klatkowymi*. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej Opole 2013, Studia i Monografie, zeszyt nr 333.

prof. dr hab. inż. Sławomir Szymaniec
Politechnika Opolska;
Wydział Elektrotechniki, Automatyki
i Informatyki;
Katedra Elektrowni i Systemów
Pomiarowych;
e-mail: s.szymaniec@po.opole.pl

artykuł recenzowany