

NIEZAWODNOŚĆ BLOKÓW ENERGETYCZNYCH W POLSCE I NA ŚWIECIE

Józef PASKA

1. Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Elektrowni i Gospodarki Elektroenergetycznej
tel.: 22 234 58 64; e-mail: Jozef.Paska@ien.pw.edu.pl

Streszczenie: Jednym z podsystemów systemu elektroenergetycznego jest podsystem wytwórczy, złożony z bloków energetycznych, których niezawodność determinuje w dużym stopniu niezawodność systemu elektroenergetycznego i pewność zasilania energią elektryczną odbiorców.

W artykule przedstawiono definicje podstawowych wskaźniki niezawodności bloków energetycznych, stosowane w Polsce i na świecie. Dokonano porównania i analizy ich wartości na podstawie danych publikowanych przez Agencję Rynku Energii (Polska), GADS (NERC – Północnoamerykańska Rada ds. Niezawodności w Elektroenergetyce) i WEC (Światowa Rada Energetyczna). Zasygnalizowano również niedostatki i brak jednolitego krajowego systemu zbierania i przetwarzania danych o awaryjności urządzeń elektroenergetycznych.

Słowa kluczowe: niezawodność, bloki energetyczne, wskaźniki niezawodności.

1. WSTĘP

Badanie awaryjności urządzeń elektroenergetycznych ma bardzo bogatą tradycję.

Niezawodność dużych (≥ 120 MW) bloków energetycznych zawsze miała, i nadal ma, duże znaczenie dla pracy krajowego systemu elektroenergetycznego [5–9]. Próbę wdrożenia w elektrowniach systemu gromadzenia i przetwarzania danych o awaryjności (o nazwie SENE) podjęto pod koniec lat siedemdziesiątych XX wieku. Elektrownie jednak zgodnie odrzuciły system ze względu na ogromną ilość wprowadzanych do niego informacji. Drugą przyczyną niechęci elektrowni do systemu był ówczesny sprzęt komputerowy, który wymagał wypełniania bardzo nie lubianych formularzy.

Ukazanie się w 1987 r. „Instrukcji badania zakłóceń w elektrowniach i sieciach elektroenergetycznych” [3] dało podstawy do opracowania nowego systemu komputerowego o nazwie „AWARYJNOŚĆ” – odmiennego dla sieci elektroenergetycznych i dla elektrowni.

System badania awarii w elektrowniach został wdrożony od 1 stycznia 1989, na trzech poziomach struktury organizacyjnej elektroenergetyki: w elektrowniach; w okręgach energetycznych; w Centrum Informatyki Energetyki, działającym w imieniu Wspólnoty Energetyki i Węgla Brunatnego.

System dla wszystkich elektrowni działał tylko jeden rok, do czasu decentralizacji elektroenergetyki. Część blokowa systemu działa do dzisiaj. W zamian za dane oraz finansowanie bazy elektrownie otrzymują w wybranych przez siebie cyklach: zestawienia zbiorcze, wszelkie inne informacje pochodzące z bogatego zbioru oraz nowe wersje oprogramowania systemu.

Blackout, który miał miejsce w 1965 r. w północno-wschodniej części USA i w Kanadzie pozbawił elektryczno-

ści ok. 30 mln ludzi. W konsekwencji tego faktu utworzono NERC (ang. *North American Electric Reliability Corporation*) – Północno-Amerykańską Radę/Korporację ds. Niezawodności Urządzeń Elektrycznych. Demonopolizacja i deregulacja elektroenergetyki przyniosły ze sobą zagrożenie niezawodności dostarczania energii elektrycznej. Lekcja kalifornijska lat 2000/2001 i kolejne *blackouty* w USA, Wielkiej Brytanii, Włoszech potwierdziły wagę niezawodności systemu elektroenergetycznego.

Północno-Amerykańska Korporacja ds. Niezawodności Urządzeń Elektrycznych prowadzi System Danych o Dyspozycyjności Jednostek Wytwórczych (GADS – *Generating Availability Data System*) w imieniu wszystkich amerykańskich firm energetycznych oraz kanadyjskich i innych członków NERC, uczestniczących w tym przedsięwzięciu. Uczestnictwo w GADS jest dobrowolne a uczestnicy reprezentują prawie 90% mocy zainstalowanej w Ameryce Północnej [1–2, 10].

Opracowana przez NERC instrukcja zgłaszania danych zawiera procedury i formaty przedkładania informacji na potrzeby systemu GADS. Mają one na celu ujednoczenie zgłaszania informacji o konstrukcji bloku, postojach i pracy z obniżoną mocą oraz wybranych informacji ogólnych na temat osiągnięć bloku. Wszystkie wymagania i definicje oparto na normie 762 ANSI/IEEE „*Definitions for Reporting Electrical Generating Unit Reliability, Availability and Productivity*”.

Dostarczanie danych przy użyciu aktualnego formularza GADS rozpoczęło się w roku 1982, zastępując procedury będące w użyciu od początku lat sześćdziesiątych. Forma rejestracji danych dla GADS zapewnia opis typów i przyczyn postojów oraz pracy z obniżoną mocą, zarówno dla całego bloku, jak i dla elementu, który uległ awarii. Można to jeszcze uzupełnić poprzez opis typu i charakteru awarii, bezpośredniej przyczyny awarii i czynników, które się do niej przyczyniły oraz przedsięwziętych działań zaradczych. Informacja o osiągnięciach obejmuje informacje o wartościach mocy bloku, wytworzonej energii, charakterystyce obciążenia bloku oraz opis zużytych paliw. Wszyscy uczestnicy otrzymują roczne publikacje GADS oraz instrukcję przekazywania danych. Roczne publikacje są też dostępne dla firm energetycznych nie zrzeszonych w NERC i osób zainteresowanych.

2. WSKAŹNIKI OBLICZANE W SYSTEMACH AWARYJNOŚĆ I GADS

W Agencji Rynku Energii SA (dawniej Centrum Informatyki Energetyki) dokonuje się oceny awaryjności i dyspozycyjności bloków energetycznych dużej mocy (o mocach ≥ 120 MW) w elektrowniach ciepłych I dużych bloków

ciepłowniczych (w EC Siekierki i EC Kraków-Łęg) za odpowiedni okres [4, 9, 12]. Dla każdego bloku oraz grup bloków o mocy jednostkowej należącej do określonego przedziału są obliczane odpowiednie parametry niezawodnościowe i eksploatacyjne.

W pierwszej kolejności są obliczane liczby i czasy trwania wyróżnionych stanów:

$$\langle T_p, T_r, T_{kp}, T_s, T_b, T_a, T_k, L_r, L_{kp}, L_s, L_b, L_a, L_w \rangle$$

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,

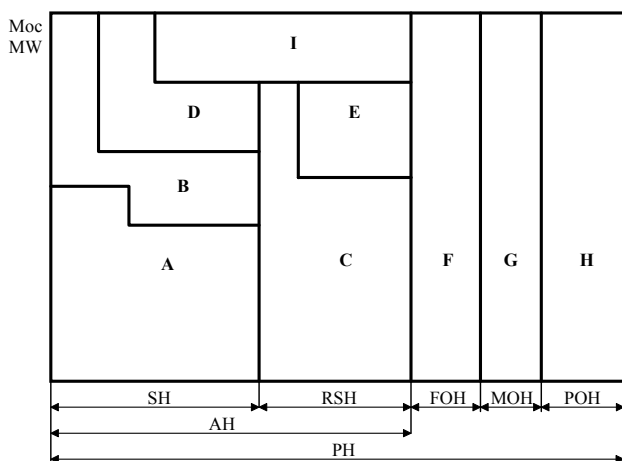
L_b – liczba postojów w remoncie bieżącym,

L_a – liczba postojów w remoncie awaryjnym,

L_w – liczba wszystkich postojów.

Na podstawie wyżej wymienionych wielkości są obliczane następujące wskaźniki [4]:

- 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 (obliczeniowy) ART.



Rys. 1. Ilustracja wielkości wykorzystywanych przy obliczaniu wskaźników niezawodnościowych bloku energetycznego w systemie GADS:

SH – czas pracy; RSH – czas odstawienia do rezerwy; FOH – czas postoju wymuszonego; MOH – czas postoju na obsługę techniczną; POH – czas postoju planowanego; AH – czas dyspozycyjności; PH – czas okresu; I – trwałe ubytki mocy (wady układu technologicznego); D – praca bloku z obniżoną mocą ze względu na czynniki zewnętrzne (np.: wzrost temperatury w naturalnych zbiornikach wody chłodzącej); B – praca bloku z obniżoną mocą ze względu na to, że dana elektrownia musi współpracować w systemie z innymi jednostkami (konieczność podążania za obciążeniami); A – praca bloku, rzeczywiste wytwarzanie energii; E – ten obszar przedstawia obniżenie mocy będącej w rezerwie, ze względu na te same czynniki co w D; C – moc pozostająca w rezerwie; F – postój wymuszony; G – postój na obsługę techniczną; H – postój planowany

Ilustrację podejścia i wielkości występujących w systemie GADS stanowi rysunek 1, przedstawiający moc w funkcji czasu. Całkowitą wysokością wykresu jest moc osiągalna netto (NMC), zaś jego całkowitą szerokość stanowi czas okresu (PH). Zatem, całkowite pole powierzchni, $Y = NMC \times PH$, stanowi łączną energię, jaką można byłoby wytworzyć w danym okresie, gdyby blok pracował nieprzerwanie z maksymalną mocą.

Na podstawie wartości czasu trwania różnych stanów bloku, poziomów mocy oraz ilości energii można obliczyć wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne bloku. Niektóre z tych wskaźników są obliczane w oparciu o godziny rozpatrywanego okresu.

Pole Y dzieli się na kilka segmentów pionowych. Segmenty obejmujące czas dyspozycyjności podzielono jeszcze na sekcje w celu pokazania energii związanej z poszczególnymi poziomami obniżek mocy. Wskaźniki bloku można wyrazić jako procentowe części powierzchni całkowitej z rysunku 1.

W systemie GADS obecnie oblicza się dla bloków energetycznych 17 wskaźników „bezpośrednich” i 7 wskaźników „ważonych” (tylko dla grup bloków). Są to: ART (*Average Run Time*), SR (*Starting Reliability*), NCF (*Net Capacity Factor*), NOF (*Net Output Factor*), SF (*Service Factor*), AF (*Availability Factor*), EAF (*Equivalent Availability Factor*), FOR (*Forced Outage Rate*), EFOR (*Equivalent Forced Outage Rate*), EFORd (*Equivalent Forced Outage Rate demand*), SOF (*Scheduled Outage Factor*), FOF (*Forced Outage Factor*), UOF (*Unplanned Outage Factor*), EUOF (*Equivalent Unplanned Outage Factor*), EUOR (*Equivalent Unplanned Outage Rate*), POF (*Planned Outage Factor*), MOF (*Maintenance Outage Factor*); WSF (*Weighted Service Factor*), WAF (*Weighted Availability Factor*), WEAf (*Weighted Equivalent Availability Factor*), WFOR (*Weighted Forced Outage Factor*), WEFOR (*Weighted Equivalent Forced Outage Rate*), WSOF (*Weighted Scheduled Outage Factor*), WFOF (*Weighted Forced Outage Factor*).

W charakterze „wagi” wykorzystuje się moc osiągalną netto (NMC – *Net Maximum Capacity*) a na szczególną uwagę zasługują wskaźniki SR, EAF, EFOR, nie obliczane w systemie „AWARYJNOŚĆ”, w których (EAF, EFOR) uwzględnia się też ubytki mocy (planned, sezonowe, awaryjne).

3. WARTOŚCI WSKAŹNIKÓW NIEZAWODNOŚCI KRAJOWYCH BŁOKÓW ENERGETYCZNYCH W OSTATNICH LATACH

W Agencji Rynku Energii SA (dawniej Centrum Informatyki Energetyki) dokonuje się oceny awaryjności i dyspozycyjności bloków energetycznych dużej mocy (o mocach ≥ 120 MW) w elektrowniach ciepłych i dużych bloków ciepłowniczych (w EC Siekierki i EC Kraków-Łęg) za odpowiedni okres [4, 9, 12]. Dla każdego bloku oraz grup bloków o mocy jednostkowej należącej do określonego przedziału są obliczane odpowiednie parametry niezawodnościowe i eksploatacyjne.

W tabeli 1 przedstawiono zbiorcze zestawienie parametrów niezawodnościowych i eksploatacyjnych krajowych bloków energetycznych z lat 2011–2013.

Tablica 1. Parametry 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	398,0
> 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)								
200–299 MW	83,4	4,5	5,5	74,6	97,3	12,1	76,7	222,4
Węgiel kamienny – bloki kondensacyjne (66 bloków)								
	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
200–299 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	73,4	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

Z tablicy 1 wynika, że najniższą awaryjność (FOR) w analizowanym okresie miał blok 858 MW na węgiel brunatny, najwyższą zaś bloki o mocy 120÷199 MW na węgiel kamienny. Najwyższą dyspozycyjność (AF) osiągnął nowoczesny blok 858 MW, natomiast najniższą – bloki o mocy 300÷499 MW na węgiel kamienny.

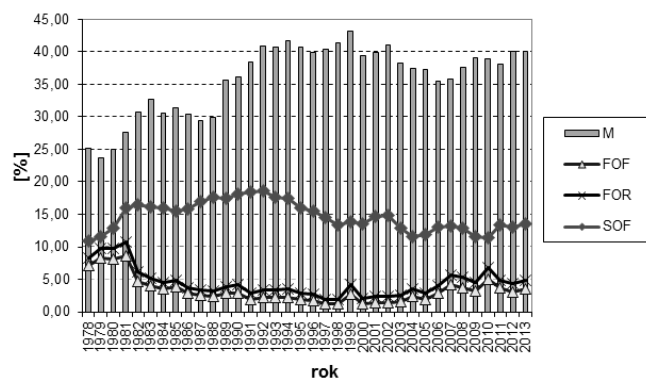
Na rysunku 2 przedstawiono zmiany wybranych wskaźników niezawodności bloków kondensacyjnych na tle marginesu mocy w krajowym SEE w latach 1978–2013.

Margines mocy z rys. 2 został zdefiniowany jako:

$$M = \frac{P_{os} - Z_s}{P_{os}} \times 100,$$

gdzie: P_{os} – średnia roczna moc osiągalna energetyki zawodowej w szczycie wieczornym dni roboczych,

Z_s – średnie roczne zapotrzebowanie na moc w szczycie wieczornym (z dni roboczych).



Rys. 2. Zmiany marginesu mocy i wybranych wskaźników niezawodności bloków kondensacyjnych w latach 1978–2013

Do 1980 roku średni roczny margines mocy nie przekraczał 25%. Oznacza to, że zimą, margines ten spadał w krytycznych dniach nawet poniżej 10%. W szczycie zapotrzebowania na moc elektryczną dochodziło do przeciążeń bloków kondensacyjnych. W godzinach poza szczytem obciążenia część bloków odstawiano do rezerwy lub napraw bieżących. Taki tryb pracy miał niekorzystny wpływ na stan techniczny urządzeń. Dodatkowo sytuację pogarszał brak źródeł szczytowych w krajowym systemie elektroenergetycznym. Ciągły brak mocy w systemie powodował również to, że brakowało czasu na właściwe wykonanie remontów planowych. W tej sytuacji wskaźnik awaryjności (FOR) był wówczas bliski 10%, a średni czas ruchu bloku, od postoju do postoju (ART), wynosił około 171 godz.

Po roku 2000 margines mocy osiągalnej waha się pomiędzy 35% a 40% i deficyty mocy powodujące ograniczenia są mało prawdopodobne. Sytuacja może się pogorszyć w związku z przewidywanymi wycofaniami z eksploatacji „starych” (długo eksploatowanych) jednostek wytwórczych przy jednoczesnym braku inwestycji w nowe bloki energetyczne. Niemniej jednak począwszy od roku 2005 da się zaobserwować wzrost wartości wskaźników FOR i FOF do poziomu z lat przed transformacją gospodarki, przy stabilizacji wskaźnika SOF na poziomie 12÷14%.

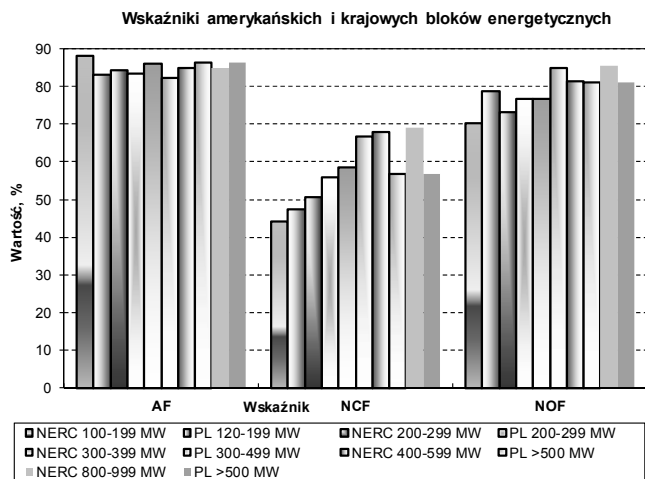
4. PORÓWNANIE WSKAŹNIKÓW KRAJOWYCH I AMERYKAŃSKICH BLOKÓW ENERGETYCZNYCH

Zestawiono wskaźniki amerykańskich, węglowych bloków energetycznych (z systemu GADS) z lat 2009–2013, mające swoje odpowiedniki w systemie „AWARYJNOŚĆ”, i na rysunkach 3 i 4 porównano ich wartości z wartościami dla krajowych bloków energetycznych z tabeli 1 (bloki kondensacyjne i ciepłownicze).

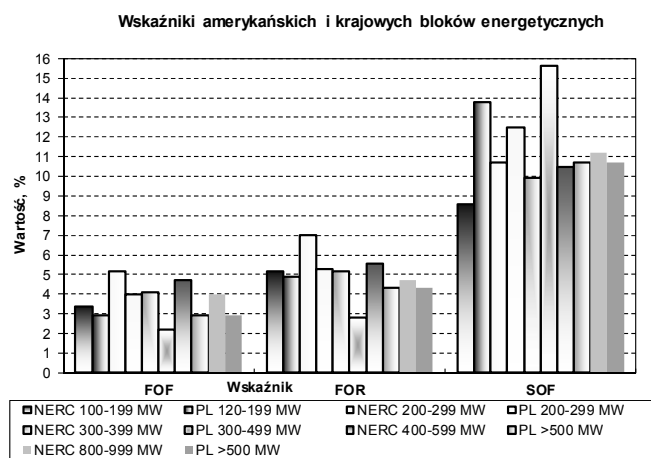
Krajowe bloki energetyczne mają:

- zbliżoną do amerykańskich dyspozycyjność AF, podobny poziom wykorzystania mocy zainstalowanej NCF i osiągalnej NOF;
- zbliżoną awaryjność FOR (poza blokami 300÷499 MW i > 500 MW) oraz FOF (poza blokami 300÷499 MW);
- wyższy wskaźnik remontów planowych SOF;
- niższy średni czas ruchu ART.

Warto podkreślić, że statystyką krajową jest objęta znacznie mniejsza liczba bloków, zestaw wyznaczanych wskaźników też jest mniej liczny.



Rys. 3. Wskaźniki AF, NCF i NOF amerykańskich (NERC) i krajowych (PL) bloków energetycznych



Rys. 4. Wskaźniki FOF, FOR i SOF amerykańskich (NERC) i krajowych (PL) bloków energetycznych

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z analizy statystyki awaryjności krajowych bloków energetycznych wynika, że w latach 1982–2000 systematycznie poprawiały się wskaźniki niezawodności jednostek wytwórczych o mocach zainstalowanych ≥ 120 MW. Po roku 2000 trend ten się odwrócił i następuje pogarszanie się wskaźników awaryjności bloków energetycznych.

Najniższą awaryjność (FOR i FOF) w okresie trzech lat (2011–2013) miał blok 858 MW na węgiel brunatny, najwyższą zaś bloki o mocy 120–199 MW na węgiel kamienny.

RELIABILITY OF POWER GENERATING UNITS IN POLAND AND IN THE WORLD

One of the sub-systems of the electric power system is a generation subsystem, consisting of power generating units, the reliability of which largely determines the reliability of the power system and electric power supply reliability of the customers.

The article presents the definitions of basic indicators of reliability of power generating units used in Poland and abroad. A comparison and analysis of their values on the basis of data published by the Energy Market Agency (Poland), GADS (NERC – North American Electric Reliability Council) and WEC (World Energy Council) were done.

Also deficiencies and lack of a uniform national system of data collection and processing of electrical power equipment failures were indicated.

Keywords: reliability, power generating units, reliability indices

Najwyższą dyspozycyjność (AF) osiągnął nowoczesny blok 858 MW, natomiast najniższą – bloki o mocy 300–499 MW na węgiel kamienny.

Krajowe bloki energetyczne mają: zbliżoną do amerykańskich dyspozycyjność AF, podobny poziom wykorzystania mocy zainstalowanej NCF i osiągalnej NOF; zbliżoną awaryjność FOR (poza blokami 300–499 MW oraz >500 MW) i FOF (poza blokami 300–499 MW); wyższy wskaźnik remontów planowych SOF; niższy średni czas ruchu ART.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Generating Availability Data System. Data Reporting Instructions. North American Electric Reliability Corporation. Atlanta, January 1, 2015.
2. Generating Unit Statistical Brochure – 2009–2013. Generating Availability Data System (GADS). NERC. July 2014.
3. Instrukcja badania zakłóceń w elektrowniach i sieciach elektroenergetycznych. Część II. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki. Warszawa, 1987.
4. Katalog parametrów niezawodnościowych bloków energetycznych w latach 2011–2013. Agencja Rynku Energii SA. Warszawa, kwiecień 2014 r. (również wcześniejsze edycje).
5. Paska J.: Generation system reliability and its assessment. Archiwum Energetyki, Nr 1–2, 1999.
6. Paska J.: Niezawodność podsystemu wytwórczego systemu elektroenergetycznego. Prace Naukowe PW – Elektryka. Z. 120, 2002.
7. Paska J.: Reliability and Performance Indices of Power Generating Units in Poland. 8th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems – PMAAPS 2004. Aimes - Iowa, USA, September 12–16, 2004.
8. Paska J.: Niezawodność systemów elektroenergetycznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2005.
9. Paska J., Parciński G.: Wskaźniki niezawodnościowe i eksploatacyjne krajowych bloków energetycznych. Energetyka. Nr 12, 2001.
10. Paska J., Stodolski M., Bordziłowski A., Łukasiewicz J.: Ewidencja i analiza awaryjności jednostek wytwórczych w systemie elektroenergetycznym (SEE) za pomocą relacyjnej bazy danych. Elektroenergetyka – Technika, Ekonomia, Organizacja. Nr 1, 1996.
11. Performance of Generating Plant: New Metrics for Industry in Transition. World Energy Council, 2010.
12. Statystyka elektroenergetyki polskiej 2013. Agencja Rynku Energii SA. Warszawa 2014 (również wcześniejsze edycje).