

Zygmunt MACIEJEWSKI*

Bezpieczeństwo elektroenergetyczne — uwagi ogólne

STRESZCZENIE. W pracy zwrócono uwagę na istotne czynniki wpływające na bezpieczeństwo energetyczne ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa elektroenergetycznego kraju. Przedstawiono zależności umożliwiające ilościową ocenę stanu tego bezpieczeństwa. Wymieniono przedsięwzięcia, które są podejmowane w celu ograniczenia możliwości wystąpienia „blackoutu” w krajowym systemie elektroenergetycznym.

SŁOWA KLUCZOWE: bezpieczeństwo, energia, system elektroenergetyczny, energia elektryczna, awaria

Wprowadzenie

Na ogół, w praktyce jak również w wielu pracach i publikacjach, bezpieczeństwo energetyczne kraju jest ograniczone do zabezpieczenia dostaw w sposób niezawodny odpowiednich ilości nośników energii pierwotnej. Pomija się natomiast zagadnienia dotyczące ich przetwarzania na końcowe nośniki energii i przesył ich do odbiorców. W tej krótkiej publikacji zwraca się uwagę na bezpieczeństwo elektroenergetyczne kraju związane z przetwarzaniem nośników energii pierwotnej na energię elektryczną i jej dostawę do odbiorców.

* Dr hab. inż., prof. PR — Zakład Elektrotechniki i Energetyki, Wydział Transportu, Politechnika Radomska, Radom; e-mail: zygmuntm@ask33.net

Recenzent: prof. dr hab. inż. Roman NEY

Pojęcia podstawowe

W przyjętym przez Radę Ministrów RP w dniu 4 stycznia 2005 roku dokumencie „Polityka energetyczna Polski do 2025 roku” [1], bezpieczeństwo energetyczne jest zdefiniowane „**jako stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię, w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy minimalizacji negatywnego oddziaływania sektora energii na środowisko i warunki życia społeczeństwa**”.

Zgodnie z przyjętą definicją poziom bezpieczeństwa energetycznego zależy od:

- ✧ stopnia zrównoważenia popytu i podaży na paliwa i energię,
- ✧ zróżnicowania struktury nośników energii tworzących krajowy bilans paliwowy,
- ✧ stopnia zdywersyfikowania źródeł dostaw przy akceptowalnym poziomie kosztów oraz przewidywanych potrzebach,
- ✧ stanu technicznego i sprawności urządzeń i instalacji, w których następuje przemiana energetyczna nośników energii oraz systemów transportu, przesyłu i dystrybucji paliw i energii,
- ✧ stanów zapasów paliw w ilości zapewniającej utrzymanie ciągłości dostaw do odbiorców,
- ✧ uwarunkowań ekonomicznych funkcjonowania przedsiębiorstw energetycznych i ich wyników finansowych,
- ✧ kondycji ekonomiczno-finansowych użytkowników paliw i energii, gospodarstw domowych i przedsiębiorstw,
- ✧ stanu lokalnego bezpieczeństwa energetycznego w zakresie zaspokojenia potrzeb energetycznych na poziomie społeczności lokalnych.

Dla zapewnienia wymaganego poziomu bezpieczeństwa energetycznego kraju wymienione wyżej warunki powinny być ilościowo i jakościowo określone. Do chwili obecnej brak jest tego typu opracowań. Brakuje również ilościowego określenia stanu bezpieczeństwa energetycznego kraju jak również prognozy poprawy tego bezpieczeństwa w okresach krótko-, średnio- i długoterminowych.

Dla gospodarstw domowych jak i przedsiębiorstw **bezpieczeństwo energetyczne kraju jest zagwarantowane, gdy są zapewnione wszystkie potrzeby wymagane przez każdego odbiorcę odnośnie ilości i ciągłości oraz jakości dostarczanych nośników energii**. Określając stan bezpieczeństwa energetycznego kraju oraz podejmując działania zmierzające do jego poprawy, należy zatem znać wymagania poszczególnych odbiorców dotyczących ilości oraz ciągłości i jakości dostarczanych nośników energii.

Ciągłość dostarczania i jakość dostarczanych nośników energii do odbiorców są pojęciami różnymi. Ciągłość dostarczania (jakość dostarczania) jest charakteryzowana przez niezawodność dostarczania nośników energii do odbiorcy, natomiast jakość dostarczanych nośników energii jest charakteryzowana przez wartości parametrów nośników energii dostarczanych do odbiorcy.

Dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego odbiorców musi być zagwarantowane globalne bezpieczeństwo energetyczne kraju.

Globalne bezpieczeństwo energetyczne kraju jest zagwarantowane, gdy są dostępne w odpowiedniej ilości i jakości pierwotne nośniki energii dla uzyskania końcowych nośników energii. Oznacza to, że musi być zagwarantowane również bezpieczeństwo przetwarzania pierwotnych nośników energii na końcowe nośniki oraz bezpieczeństwo przesyłu i dostawy tych nośników energii do odbiorców.

Podstawowe nośniki energii pierwotnej wykorzystywane w gospodarce krajowej to: węgiel kamienny, węgiel brunatny, gaz ziemny, ropa naftowa oraz energia wodna. Są to nośniki energii, których dostępność w wymaganej ilości, ciągłości i jakości stanowi o globalnym bezpieczeństwie energetycznym kraju.

Decydujący wpływ na bezpieczeństwo energetyczne kraju mają jednak końcowe nośniki energii dostarczane do odbiorców drogą sieciową. Są to: energia elektryczna, gaz i ciepło. Wśród tych nośników najważniejsza jest energia elektryczna, której nagła (nieplanowa) przerwa w dostawach do odbiorców indywidualnych jak i przemysłowych, powoduje wielomiliardowe, liczone w USD, straty gospodarcze. Wskazują na to liczne awarie systemowe, które miały miejsce w kraju i na świecie. Awarie te uświadomiły jak wielkie negatywne skutki ekonomiczne, gospodarcze i społeczne powoduje brak dostawy do odbiorców energii elektrycznej. Należy uznać, że przerwa w dostawach pozostałych końcowych nośników energii nie powoduje tak dotkliwych skutków jak brak dostawy energii elektrycznej.

Przyczyny zestawionych w tabeli 1 elektroenergetycznych awarii systemowych, które spowodowały wielkie straty gospodarcze i społeczne, były rozmaite. W wielu jednak przypadkach awarie te były spowodowane niedoinwestowaniem sieci przesyłowych, sieci dystrybucyjnych i rozdzielczych, niedostatkami systemów wspomagania dyspozytorskiego, błędami popełnianymi przez dyspozycje mocy w zakresie prognozowania zapotrzebowania na moc i energię elektryczną oraz sterowania pracą systemów elektroenergetycznych.

Bezpieczeństwo elektroenergetyczne

Bezpieczeństwo odbiorców energii elektrycznej jest określane przez:

- ✧ liczbę przerw w zasilaniu,
- ✧ maksymalny czas trwania jednej przerwy w zasilaniu,
- ✧ wartości parametrów dostarczanej energii elektrycznej.

Określenie wartości liczbowych wymienionych wskaźników dla poszczególnych grup odbiorców zasilanych przez poszczególne spółki dystrybucyjne oraz dla odbiorców zasilanych bezpośrednio z sieci przesyłowej 400 i 220 kV w skali roku stanowi o rzeczywistym stanie bezpieczeństwa elektroenergetycznego kraju. Obecnie nie są znane wartości liczbowe tych wskaźników. Konieczne jest zatem wyznaczenie osiąganych oraz określenie dla odpowiednich okresów czasowych wartości tych wielkości dla uzyskania wymaganego poziomu bezpieczeństwa elektroenergetycznego kraju. Stanowiąc to powinno, obok znajomości realnych prognoz wzrostu zapotrzebowania na moc i energię elektryczną, bardzo ważne informacje stanowiące podstawę do podjęcia decyzji o rozbudowie źródeł wytwarzania

TABELA 1. Wykaz niektórych dużych elektroenergetycznych awarii systemowych

TABLE 1. List of some big blackout of power systems

L.p.	Data	Miejsce	Ograniczona [MW]
1	9.11.1965	USA (pół.-wsch.)	20 000
2	07.1972	Polska (Dolny Śląsk)	3 500
3	13.07.1977	USA (Nowy Jork)	6 000
4	1978	Francja	28 000
5	5.08.1981	Wielka Brytania	1 900
6	27.12.1983	Szwecja	11 400
7	8.01.1987	Polska (pół.-wsch)	920
8	24.08.1994	Włochy	2 000
9	2.07.1996	USA, Kanada, Meksyk	11 850
10	10.08.1996	USA, Kanada, Meksyk	28 000
11	6—7.01.1998	Kanada (Quebec)	2 000
12	25.06.1998	USA, Kanada	950
13	24.08.1998	USA (rejon Nowego Jorku)	10 280
14	26—28.12.1999	Francja	Brak danych
15	3.02.2003	Algieria	4 200
16	2.08.2003	Portugalia	550
17	14.08.2003	USA, Kanada	61 000
18	26.08.2003	USA (Waszyngton)	Brak danych
19	28.08.2003	Wielka Brytania (Londyn)	800
20	2.09.2003	Meksyk	Brak danych
21	23.09. 2003	Szwecja, Dania	Brak danych
22	28.09.2003	Włochy	Brak danych

Źródło: [3]

energii elektrycznej oraz o rozbudowie i modernizacji sieci przesyłowych 400 i 220 kV, sieci dystrybucyjnych 110 kV, sieci rozdzielczych 15 kV oraz sieci niskich napięć 400/231 V.

Do oceny ciągłości dostaw energii elektrycznej do odbiorców, a zatem do oceny stanu bezpieczeństwa elektroenergetycznego jest zalecane przez CIGRE [2] stosowanie tzw. wskaźników systemowych. Są to:

- ✧ Średnia liczba nieplanowych przerw w zasilaniu energią elektryczną przypadająca na jednego odbiorcę w ciągu roku (*System Average Interruption Frequency Index — SAIFI*).

$$K_1 = \frac{n}{l} \quad (1)$$

gdzie: n — liczba wszystkich przerw nieplanowanych w ciągu roku w dostawie energii elektrycznej do odbiorców,
 l — całkowita liczba odbiorców energii elektrycznej przyłączonych do sieci.

✧ Średnia liczba nieplanowanych przerw w zasilaniu przypadająca na jednego odbiorcę energii elektrycznej dotkniętego wyłączeniami w ciągu roku (*Customer Average Interruption Frequency Index — CAIFI*).

$$K_2 = \frac{n}{l_w} \quad (2)$$

gdzie: l_w — liczba odbiorców energii elektrycznej przyłączonych do sieci dotkniętych przerwami w zasilaniu.

✧ Całkowity czas trwania przerw w zasilaniu energią elektryczną przypadający średnio na jednego odbiorcę w ciągu roku (*System Average Interruption Duration Index — SAIDI*).

$$K_3 = \frac{t}{l} \quad (3)$$

gdzie: t — roczna suma czasu trwania wszystkich przerw w zasilaniu odbiorców.

✧ Średni czas trwania przerwy w zasilaniu energią elektryczną przypadający na jednego odbiorcę w ciągu roku (*Customer Average Interruption Duration Index — CAIDI*).

$$K_4 = \frac{t}{n} \quad (4)$$

✧ Dyspozycyjność zasilania odbiorców energii elektrycznej wyrażona jako stosunek czasu dostępności zasilania do wymaganego czasu zasilania (*Average Service Availability Index — ASAI*).

$$K_5 = \frac{l \cdot 8760 - t}{l \cdot 8760} \quad (5)$$

gdzie: 8760 — liczba godzin w ciągu roku ($24 \cdot 365 = 8760$)

✧ Niedyspozycyjność zasilania odbiorców energii elektrycznej wyrażona jako stosunek czasu niedostępności zasilania do wymaganego czasu zasilania (*Average Service Unavailability Index — ASUI*).

$$K_6 = \frac{t}{l \cdot 8760} \quad (6)$$

lub

$$K_6 = 1 - K_5 \quad (7)$$

✧ Średnia roczna ilość energii elektrycznej niedostarczonej wyrażona jako stosunek energii niedostarczonej odbiorcom w ciągu roku do liczby odbiorców przyłączonych do sieci (*Average Energy Not Supplied — AENS*)

$$K_7 = \frac{E_n}{l} \quad (8)$$

gdzie: E_n — energia elektryczna niedostarczona odbiorcom przyłączonym do sieci w ciągu roku.

✧ Jakość zasilania odbiorców energią elektryczną i jakość obsługi odbiorców rozumiane jako:

Jakość zasilania = niezawodność zasilania + Jakość napięcia

Jakość obsługi = Jakość zasilania + Relacje z odbiorcą.

Znajomość wartości liczbowych powyższych wskaźników systemowych krajowego systemu elektroenergetycznego (1)—(8) jest konieczna do określenia niezawodności dostawy energii elektrycznej do odbiorców. A zatem dla prawidłowej oceny bezpieczeństwa elektroenergetycznego kraju podjęcie badań i prac z tego zakresu należy uznać za konieczne i celowe.

Awaria napięciowa krajowego systemu elektroenergetycznego, która miała miejsce w dniu 26 czerwca 2006 roku, zwraca uwagę na wiele trudnych problemów, które należy rozwiązać dla zapewnienia bezpieczeństwa elektroenergetycznego kraju. Dotyczy to szczególnie niezbędnej rozbudowy i gruntownej modernizacji krajowej sieci przesyłowej.

Według danych statystycznych [4], na koniec 2005 roku długości krajowych linii elektroenergetycznych były następujące:

- ✧ linie elektroenergetyczne najwyższych napięć: 750, 400, 220 kV — 13 100 km,
- ✧ linie elektroenergetyczne wysokich napięć 110 kV — 32 400 km,
- ✧ linie średnich napięć — 295 800 km.

Wynika stąd, że średnia długość linii w km przypadająca na km² powierzchni kraju odpowiednio wynosi:

- ✧ linie elektroenergetyczne najwyższych napięć — 0,042,
- ✧ linie elektroenergetyczne wysokich napięć — 0,103,
- ✧ linie elektroenergetyczne średnich napięć — 0,948.

Oznacza to, że gęstość rozkładu krajowych linii elektroenergetycznych, przy średniej gęstości zaludnienia wynoszącej około 122 os/km², jest stosunkowo mała. Stan taki obniża znacznie poziom bezpieczeństwa elektroenergetycznego kraju.

Zgodnie z danymi statystycznymi zawartymi w [4], przy mocy zainstalowanej wynoszącej 35 448 MW, moc osiągalna krajowego systemu elektroenergetycznego na koniec 2005 roku wyniosła 34 897 MW. W świetle wspomnianej awarii z dnia 26 czerwca 2006 roku, podczas której maksymalne zapotrzebowanie mocy nie przekraczało 19 000 MW, moc osiągalna krajowego systemu elektroenergetycznego podawana w statystykach jest znacznie zawyżona, tzn. nie mająca pokrycia w rzeczywistości. Takie dane dają błędną informację o stanie bezpieczeństwa elektroenergetycznego kraju.

Uwagi końcowe

W dotychczasowych opracowaniach i dyskusjach na temat bezpieczeństwa energetycznego państwa ograniczano się głównie do problemu zapewnienia ciągłości i niezawodności dostaw z zagranicy gazu i ropy, których pozyskanie z krajowych źródeł nie pokrywa zapotrzebowania na te nośniki. Niedoceniane zatem były zagadnienia dotyczące pewności i niezawodności przetwarzania nośników energii pierwotnej na nośniki końcowe oraz ich przesyłu, dystrybucji i rozdziału do odbiorców. Są to czynniki mające bezpośrednio decydujący wpływ na stan bezpieczeństwa energetycznego państwa.

Bezpieczeństwo energetyczne kraju zależy głównie od bezpieczeństwa elektroenergetycznego. Wynika to z następujących faktów:

- ✧ nośniki energii końcowej dostarczane odbiorcom takie jak gaz, ciepło, mogą być z pełnym powodzeniem zastąpione energią elektryczną, natomiast energia elektryczna na poziomie odbiorcy praktycznie nie może być zastąpiona innymi nośnikami energii,
- ✧ straty ekonomiczno-gospodarcze i społeczne powodowane przerwami w dostawie energii elektrycznej są zdecydowanie wyższe niż przerwy w dostawie innych nośników energii,
- ✧ przerwy w dostawie energii elektrycznej powodowane całkowitym lub częściowym „blackoutem” krajowego systemu elektroenergetycznego zagrażają bezpieczeństwu państwa jako całości.

Uwzględniając stan krajowych źródeł wytwarzania energii elektrycznej oraz ograniczone możliwości przesyłowe krajowych sieci elektroenergetycznych, a także biorąc pod uwagę dotychczasowe wieloletnie doświadczenia eksploatacyjne amerykańskich i europejskich systemów elektroenergetycznych (tab. 1), prawdopodobieństwo wystąpienia „blackoutu” w krajowym systemie elektroenergetycznym należy uznać za wielce prawdopodobne.

W celu ograniczenia możliwości wystąpienia „blackoutu” w krajowym systemie elektroenergetycznym został opracowany plan obrony [3], który w zależności od stanu pracy systemu podlega stałej aktualizacji. Podstawowymi elementami tego planu są:

- ✧ układy samoczynnego częstotliwościowego odciążania (SCO); urządzenie wyłączające samoczynnie fragmenty sieci rozdzielczej w przypadku spadku częstotliwości,
- ✧ układy tzw. automatów sieciowych; urządzenie dzielące, przeciwkołysaniowo-odciążające, umożliwiające na samoczynne ograniczanie zagrożeń w przypadku wystąpienia krytycznych awarii sieciowych, które są zainstalowane w rozdzielniach przyelektrow-

nianych elektrowni systemowych; układy te powodują samoczynne zniżenie pracy elektrowni w przypadku awaryjnej utraty możliwości wyprowadzenia z niej do systemu elektroenergetycznego pełnej mocy,

- ✧ regulacja pierwotna; układy szybkiej regulacji mocy na blokach energetycznych sterowane wartością lokalnie mierzonej częstotliwości,
- ✧ ograniczenia awaryjne i katastrofalne realizowane przez ręczne wyłączenia części odbiorców przyłączonych do sieci rozdzielczej,
- ✧ ograniczenia deficytowe; wprowadzanie ograniczeń poboru mocy przez odbiorców zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów.

W przypadku wystąpienia „blackoutu” są przygotowane plany i środki odbudowy pracy systemu elektroenergetycznego. Podstawowymi elementami tego planu są:

- ✧ generalne zasady postępowania przy odbudowie systemu,
- ✧ obszarowe scenariusze zawierające wykaz dostępnych źródeł energii elektrycznej zdolnej do samostartu,
- ✧ stałe utrzymywanie kilku źródeł energii elektrycznej zdolnych do samostartu,
- ✧ przystosowanie jednostek wytwórczych energii elektrycznej do pracy samodzielnej,
- ✧ zapewnienie zasilania potrzeb własnych stacji elektroenergetycznych oraz łączności w przypadku długotrwałego „blackoutu”.

Możliwość wystąpienia „blackoutu” w krajowym systemie elektroenergetycznym, oraz wielkość strat gospodarczych z tym związanych nie jest w pełni doceniane przez decydentów i społeczeństwo. Świadczy o tym brak determinacji przy pozyskiwaniu terenów pod budowę nowych linii przesyłowych niezbędnych dla bezpieczeństwa elektroenergetycznego kraju oraz innych obiektów energetycznych. Jako przykład może służyć ponad 15-letni okres budowy linii przesyłowej 400 kV w relacji Rogowiec (el. Bełchatów) — Ostrów — Plewiska (Poznań), niezmiernie ważnej dla zachowania bezpieczeństwa pracy oraz równoległej współpracy krajowego systemu elektroenergetycznego z systemami elektroenergetycznymi krajów Europy Zachodniej — UCTE (*Union for the Coordination of Transmission of Electricity*).

Bezpieczeństwo energetyczne kraju, a także bezpieczeństwo elektroenergetyczne są określane na podstawie subiektywnej oceny stanu pewności pozyskania pierwotnych nośników energii jak i możliwości ich przetworzenia na końcowe nośniki oraz dostawy do odbiorców. Należy dążyć do dokonania ilościowej, a więc obiektywnej oceny stanu bezpieczeństwa energetycznego wykorzystując do tego celu zależności (1)—(8), które są zalecane przez Międzynarodowy Kongres Wielkich Sieci Elektroenergetycznych CIGRE.

Literatura

- [1] Ministerstwo Gospodarki i Pracy, Zespół do Spraw Polityki Energetycznej: Polityka Energetyczna Polski do 2025 roku. Warszawa 2005, s. 56.
- [2] MACIEJEWSKI Z. i in. — Quality of Supply — Customer Requirements. Working Group 37—28, CIGRE, Paryż 2001, s. 38.

- [3] Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A., Departament Usług Operatorskich: Raport na temat stanu zagrożenia ciągłości pracy krajowego systemu elektroenergetycznego w Polsce. PSE S.A., Biuletyn Miesięczny, Warszawa 2003, nr 10.
- [4] Ministerstwo Gospodarki, Agencja Rynku Energii S.A.: Elektroenergetyka Polska w 2005 roku. Warszawa, maj 2006.

Zygmunt MACIEJEWSKI

Security of the Power System — general remarks

Abstract

In the paper the attention is drawn to some essential factors which have an influence on security of the general country energy system with taking security of the power system into special consideration. The relations which make possible quantitative estimate of the state of security are presented. There are given the list of ventures which are undertaken to constrain possibility of appearance of blackout at the country power system.

KEY WORDS: security, energy, power system, electricity, blackout