Prof. dr hab. inż. Jacek Malko
IASE Wrocław

W poszukiwaniu genezy i remediów wielkich awarii

Perspektywa amerykańska

Wielkie awarie systemowe ostatnich miesięcy (których seria zapoczątkowana została sierpniowym blekkautem wschodniego wybrzeża Ameryki Płn. i miała swą kontynuację w Wielkiej Brytanii, Hiszpanii i Włoszech), uzyskały szeroki rozgłos medialny, budząc zaniepokojenie opinii publicznej. Podobnie jak zupełnie odmienny w genezie i przebiegu kryzys kalifornijski lat 2000/2001, nowe ewidentne przypadki naruszenia bezpieczeństwa energetycznego newralgicznych obszarów wielu krajów skłaniają do wnikliwej analizy przyczyn, przebiegu i skutków tych niepokojących zjawisk. Nie sięgając w przeszłość nader odległą (np. wielka awaria nowojorska 1965 roku) rozważania rozpocząć warto od dwudniowej (2/3 lipca 1996 r.) awarii systemu Zachodu USA. Wnikliwe dochodzenia, przeprowadzone pod egidą Departamentu Energii (US DOE) i zamknięte raportem dla prezydenta USA [1] zawierały ważną konkluzję:

„Departament (Energii) stwierdził, że incydent był możliwy do zapobieżenia i w uzgodnieniu z sektorem (elektroenergetycznym) podjęto działania dla wzmocnienia niezawodności narodowego systemu elektroenergetycznego (...). Aktywnie dokonano przeglądu wielkich awarii i przeanalizowano istniejące federalne regulacje odnośnie niezawodności pod kątem możliwych zmian zgodnych z ewolucją elektroenergetyki i utworzono zespół zadaniowy dla zbadania technicznych i politycznych problemów niezawodności."

Stwierdzono ponadto, iż Departament Energii, Północnoamerykańska Rada Niezawodności Energetyki (NERC) oraz Rada Koordynacyjna Systemów Zachodnich (WSCC) podjęły „wszelkie działania, mające na celu zapewnienie przewidywalności, położenie większego nacisku na zagadnienia bezpieczeństwa, poprawienie przepływu informacji, rozszerzenie analizy zagrożeń bezpieczeństwa i zwiększenie gotowości operatora systemu" [1]. W odróżnieniu od przypadku kalifornijskiego (też prowadzącego zresztą do wyłączeń odbiorców [2]) naruszenie bilansu podaży i popytu nastąpiło po stronie przesyłu:

„Awaria została zapoczątkowana (...) zwarciem doziemnym linii przesyłowej, powodującym samoczynne odłączenie linii. Zabezpieczenia w linii równoległej niewłaściwie zinterpretowały zwarcie i spowodowały odłączenie i tej linii. Wypadnięcie dwóch linii pobudziło automatyczną procedurę wyłączenia dwóch wielkich generatorów w pobliskiej elektrowni, pracujących na dwie odłączone linie, gdyż w przypadku braku takiego działania przeciążeniu uległyby pozostałe linie przesyłowe. Wielki System Zachodu jest zaprojektowany i eksploatowany w sposób umożliwiający zneutralizowanie takiego następstwa zdarzeń bez kaskadowego efektu awarii lokalnej. Jednakże w tym przypadku początkowe zdarzenie rozprzestrzeniło się w postaci sekwencji zdarzeń w całym systemie przesyłowym Zachodu, powodując przerwę w dostawach energii dla ponad miliona odbiorców w czternastu stanach" [1].

Ogólnie optymistyczny i uspakajający ton raportu dla Prezydenta nie uśpił czujności elektroenergetyków amerykańskich. Już wcześniejsze prace zespołu wybitnych reprezentantów tego środowiska (np. [3]) analizowały wnikliwie anatomię awarii katastrofalnej z punktu widzenia strategii automatyki prewencyjnej.

Inna praca [4] z roku 2000 na podstawie oceny skutków procesu restrukturyzacji wyrażała obawy czy wprowadzony system zarządzania siecią przesyłową (Niezależni Operatorzy Systemu ISO, funkcjonujący na zasadzie non-profit i ukierunkowane na zysk Regionalne Organizacje Przesyłu RTO) może być efektywny w obliczu nowych wyzwań technicznych i kadrowych.

„Restrukturyzacja elektroenergetyki amerykańskiej nastąpiła w czasie, gdy jej elementy fizyczne i ludzkie są granicznie obciążone. Bez względu na to czy mówimy o mocy zainstalowanej w generacji, czy przesyle, o sieci dystrybucyjnej czy automatyce zabezpieczeniowej, o personelu eksploatacyjnym czy inżynierach odpowiedzialnych za rozwiązania koncepcyjne obraz jest taki sam: zbyt mało środków dla spełnienia wymagań przez system skonstruowany dla radykalnie odmiennych uwarunkowań" [4].

Zasadniczym wnioskiem stało się stwierdzenie, że zmiany legislacyjne nie nadążają za procesem ustrojowych przemian sektora i konsekwencje w zakresie pogorszenia niezawodności i bezpieczeństwa dostaw energii stają się coraz bardziej nieuchronne.

Sygnalizowane zagrożenia zostały poważniej potraktowane przez nową administrację prezydenta Busha: wiceprezydent Cheney powołał między innymi grupę zadaniową w celu dokonania oceny stanu i propozycji działań w obszarze infrastruktury przesyłowej.

Raport, ogłoszony w maju 2002 roku [5], wsparty analizami Departamentu Energii z roku 2003 [6] doprowadził do istotnych konkluzji, że niezawodna i dostępna energia elektryczna warunkowana jest:

- większą pewnością regulatora o tym, kto odpowiada za utrzymywanie i modernizację elementów sieci przesyłowej,
- identyfikacją i usuwaniem ograniczeń zdolności przesyłowych,
- budową nowych linii przesyłowych,

- maksymalizacją wykorzystania istniejącej infrastruktury przesyłowej,
- opracowaniem nowych zaawansowanych technologii przesyłu i materiałów,
- pobudzeniem tendencji do racjonalnego użytkowania energii elektrycznej,
- egzekwowaniem prawnych zobowiązań w zakresie niezawodności,
- ścisłym przypisaniem odpowiedzialności za stan i pracę sieci przesyłowej.

Dokumenty [5, 6] zwracają również uwagę na „czynnik ludzki" – konieczność inwestowania w kadry elektroenergetyki na wszystkich poziomach kompetencji i odpowiedzialności.

Jakby w przewidywaniu wielkiej awarii z sierpnia 2003 roku, przewyższającej znacząco efekty lipca 1996 (doniesienia prasowe mówiły o pozbawieniu zasilania obszaru, zamieszkałego przez przeszło 50 mln mieszkańców), w dwumiesięczniku *IEEE Power and Energy* (Sept./Oct. 2003) ukazał się artykuł, analizujący wielkie awarie systemowe [7]. Artykuł cytuje poprzednie prace autorów z lat 1986–2001, w tym fundamentalną rozprawę o anatomii katastrofalnych awarii systemowych z roku 1996 [3].

Podstawowa teza sformułowana jest następująco: „Podczas gdy żaden system nie może być zbudowany w sposób całkowicie zabezpieczający przed awariami katastrofalnymi, staranne zaprojektowanie infrastruktur nadrzędnych może uczynić systemy elektroenergetyczne przyszłości mniej czułymi na takie skrajne wydarzenia". Wiele doniesień o niedawnej awarii na Wschodnim Wybrzeżu USA zdaje się potwierdzać nawet w szczegółach zawartą w [7] diagnozę. Zbyt wcześnie jednak na konkluzje ostateczne: dopiero szczegółowa analiza ogromnego zasobu zarejestrowanych danych umożliwi ocenę sekwencji zdarzeń, prowadzących do kaskadowej awarii katastrofalnej.

„Ale już bezpośrednio po tym fakcie stało się dostatecznie oczywistym, że problem miał swój początek w liniach przesyłowych, znajdujących się pod operatorskim nadzorem spółki dystrybucyjnej *Ohio*. Wyraźnie zawiódł system ostrzegania, tak że ani samo przedsiębiorstwo, ani regionalny organ regulujący, ani też operatorzy systemów sąsiednich nie otrzymali dostatecznie klarownej informacji o powstaniu i rozwoju zaburzenia. Co więcej, niektóre systemy sąsiadujące z gridem *Ohio* (np. *PJM Interconnection*), nie otrzymawszy ostrzeżenia rozpoczęły działania chroniące własne sieci, podczas gdy inne systemy oczekiwały biernie na rozwój sytuacji. Jest to wyraźny sygnał, że krajowy system regulacji regionalnych sieci przesyłowych wymaga pilnego zdiagnozowania i wszczęcia akcji korygujących" [8].

Pierwotną przyczynę obecnych problemów zdefiniowano już jednak dostatecznie dawno. Liczne dokumenty rządowe (np. [5] i [6]) alarmowały o niedostatecznym poziomie inwestowania w sieci przesyłowe. „W ostatnim dziesięcioleciu zapotrzebowanie na energię elektryczną w USA wzrosło o 30%, ale zdolności przesyłowe w sieciach najwyższych napięć zwiększyły się jedynie o 15%" [9]. Co więcej: liberalizacja sektora zaskutkowała znaczną i nieprzewidywalną zmiennością przepływów w liniach, powodując zmienne w czasie i przestrzeni ograniczenia przesyłowe. Powodem spadku zainteresowania inwestorów aktywnością w budownictwo sieciowe (wg danych *ABB Power Systems* inwestycje sieciowe w początkach lat 80. wyniosły ok. 5 mld USD/rok), zaś około roku 2000 spadły do 2 mld/rok [9]) jest nowe otoczenie regulacyjne. Podsektor przesyłu, traktowany jako obszar monopolu naturalnego, podlega silnej regulacji, a Federalna Komisja Regulacji Energetyki (FERC) wprowadziła ograniczenia dla raty zwrotu do 11%, co skutecznie zniechęciło potencjalnych inwestorów, poszukujących korzystniejszych warunków lokowania kapitału.

Taka sytuacja oznacza w istocie, iż nie jest odpowiednio doceniana wartość inwestycji sieciowych: „zbyt mało uwagi poświęca się działaniom mogącym zwiększyć bezpieczeństwo pracy sieci. Przykładowo doskonale wiadomo, że mogą zdarzyć się w sieci najwyższych napięć zdarzenia typu *lawina napięć*, lecz brak zachęt do instalowania układów, które mogą temu zapobiec. Za opłacalne uważa się zwiększanie zdolności przesyłowych, lecz nie zwiększanie bezpieczeństwa" [9].

Wybór krytycznych obszarów, w których konieczne jest podjęcie zdecydowanych działań, jest zadaniem podstawowym i pilnym, dla uniknięcia w przyszłości powtórnej lekcji blekautów [10]. Działania takie muszą koncentrować się na obszarze sieci przesyłowych. Hasło „uzdrowić grid" [11] wyznacza sferę aktywności do natychmiastowego podjęcia.

W ocenie wielu amerykańskich ekspertów i polityków federalny regulator (FERC) „winien nadać moc prawną narodowej polityce bezpieczeństwa, obejmującej zarządzanie operatorskie siecią przesyłową, przyrost zdolności przesyłowych i strategię inwestowania. Komisja winna nakłonić właścicieli sieci do przyłączenia się do Regionalnych Organizacji Przesyłu (RTO), odpowiedzialnych za wdrażanie polityki" [11]. W opinii Instytutu Badawczego Elektroenergetyki (EPRI) istnieją już gotowe rozwiązania techniczne, realizujące opisaną w [7] ideę przekształcenia *kruchej* struktury systemu elektroenergetycznego w strukturę *podatną*. Układy rozcinające i tłumiące zaburzenia są już konkretną ofertą komercyjną ze strony przemysłu i nie ma przeszkód natury technicznej do ich szerokiego zastosowania.

Rozbudowane sieci komunikacyjne (łącznie z GPS) umożliwiają rozległe monitorowanie stanu elementów systemu i podejmowanie przez operatora natychmiastowych działań z wykorzystaniem zasad sterowania predyktywnego. Instytut EPRI przeprowadził komputerowe analizy symulacyjne techniki, określanej jako *adaptacyjne tworzenie struktury wyspowej* („adaptative islanding"). Ten skuteczny sposób ograniczenia *efektu domina* w rozwoju awarii katastrofalnej uzyska zdolność operacyjną w ciągu najbliższych pięciu lat [11].

Jednakże nawet konsekwentna i na adekwatną skalę dokonana modernizacja techniczna musi być połączona z odpowiednimi zmianami w obszarze kompetencji regulatora/operatora sieci przesyłowej. W ostatnim dziesięcioleciu sieć przesyłowa stała się rodzajem systemu transportu towaru masowego, w którym swobodnie kontraktowana energia jest przesyłana w coraz większym wolumenie i na coraz większe odległości. W tych nowych warunkach dotychczasowa polityka nadzoru sieci ze strony organów regionalnych (stanowych) okazała się nieodpowiednia.

Zmiany zapoczątkowane za prezydentury Clintona (i kontynuowane przez administrację Busha) nadały większe kompetencje regulatorowi federalnemu, ograniczając uprawnienia organów stanowych. Zadziałała swoista reguła wahadła w poglądach na restrukturyzację sektora energii elektrycznej: „może okazać się bolesne przyjęcie do wiadomości gorzkiego wniosku, że konkurencyjność w elektroenergetyce nie jest równoznaczna z deregulacją i że przynajmniej na poziomie wielkich regionalnych struktur przesyłowych restrukturyzacja wymaga silniejszej i głębiej niż dotychczas sięgającej ingerencji regulatora" [8].

Bieżące informacje, pozwalające śledzić postęp analiz poawaryjnych w USA, są dostępne m.in. na stronie internetowej IEEE [12].

Nauki dla Polski

Opinia publiczna została zaniepokojona nowym w powszechnym odczuciu zjawiskiem zagrożenia bezpieczeństwa energetycznego. Nieodległe geograficznie blekauty w Skandynawii i Włoszech rodzą pytanie o możliwość awarii katastrofalnej systemu w Polsce.

Ważnym elementem debaty w tej sprawie jest treść materiałów warszawskiej konferencji z listopada 2003 [13]. Wieloaspektowość problemu bezpieczeństwa została silnie zaakcentowana w wystąpieniach prezentujących poglądy KDM – Operatora Systemu Przesyłowego oraz grupy wytwórców energii elektrycznej (KPE) – i przedstawiona na tle analizy największych awarii systemowych. Materiały te (wraz z wnioskami Konferencji) są dostępne na stronie internetowej Izby Gospodarczej Energetyki i Ochrony Środowiska [13].

Rzeczowy wykaz działań, niezbędnych dla skutecznej prewencji i likwidacji skutków ewentualnej awarii systemowej świadczy o gotowości środowiska elektroenergetyków do podjęcia wyzwań, wynikających z realiów rynku energii. Jednakże niezbędna jest wola polityczna, aby świadomość zagrożeń i sposobów ich uniknięcia znalazła swoje odbicie w narodowej strategii bezpieczeństwa energetycznego.

Jest to problem, dostrzeżony także w USA: bezpośrednio po sierpniowym blekaucie artykuł redakcyjny w *Spectrum,* prestiżowym miesięczniku IEEE, zatytułowano znamiennie „Wielki blackout zaskakuje polityków, ale nie społeczność energetyków" [14]. Stwierdzenie to udokumentowano obszerną listą ekspertyz, raportów i propozycji, których zlekceważenie nieuchronnie prowadziło do katastrofy. Całkowita eliminacja zdarzenia losowego nie jest możliwa; rozważania na ten temat zamknąć można wymownym cytowaniem ze Scientific American: „Żaden ekspert w dziedzinie sieci elektroenergetycznych nie oczekuje całkowitego wyeliminowania blekautów. Jeżeli prawdziwa jest teoria chaosu dla struktur sieciowych, prawdopodobieństwo wielkich awarii lawinowych jest nieodłączną cechą systemów, działających w warunkach znacznych obciążeń lub silnie wzajemnie powiązanych. Z każdym krokiem zwiększenia niezawodności systemu krok następny będzie bardziej kosztowny. Tak więc racjonalnie jest mieć zawsze pod ręką sprawną latarkę na baterie" [11].

LITERATURA

[1] U.S. Department of Energy: The Electric Power Outages in the Western United States, July 2-3, 1996. DOE/PO-050, Washington, August 1996

[2] Makowich L.J.: Prepared testimony for the Oversight Hearing. California Electricity Crisis and Implications for the West US. Senate Committee on Energy and Environment. Washington 2001

[3] Tarmlonglak S., Horowitz S.H., Phadke A.G., Thorp J.S.: Anatomy of power system blackouts: Preventive relaying strategies. *IEEE Trans – Power Delivery*, Vol. 11, No 2, Apr. 1996

[4] Sweet W: Restructuring the thin-stretched grid. *IEEE Spectrum* Vol. 37, Nr 6, June 2000

[5] Energy Task Force: Ten National Transmission Grid Study, Washington, May 2002

[6] US Department of Energy: "Grid 2030 – A National Vision for Electricity Second 100 Years". DOE Report, Washington Aug. 2003

[7] Horowitz S.H., Phadke A.G.: Boosting Immunity to Blackouts. *IEEE Power & Energy* Vol. 1, No 5, Sept./Oct. 2003

[8] Sweet W.: Tighter Regional Regulation Needed of Power Grids. *IEEE Spectrum*, Vol. 40, Nr 10, Oct. 2003

[9] Green S.: Getting regulation Right. Pow. Eng. Int. Vol. 11, ss. 8, Sept. 2003

[10] Doyle R.: Energy Crunch – Avoiding future shortages demands crucial choices now. Scien. Amer. July 2003

[11] Minkel J.R.: Healing the Grid. Scien. Amer. Nov. 2003

[12] www.spectrum.ieee.org/WEBONLY/special/aug03/blackout.html.

[13] Izba Gospodarcza Energetyki i Ochrony Środowiska: Materiały Konferencji „Bezpieczeństwo energetyczne Polski ..." www.igeos.prv.pl

[14] Edit.: Big Blackout Surprises Politicians, But Not the Power Community: *IEEE Spectrum* Vol. 40, Nr 9, Sept. 2003

❑