



Zygmunt Rozewicz

## Północnoamerykański blackout<sup>1)</sup> 14 sierpnia 2003 Niektóre opinie, metodyka i pierwsze wyniki badań, refleksje krajowe

Awaria północnoamerykańskiego systemu energetycznego w dniu 14 sierpnia 2003 r. była jedną z największych awarii energetycznych, prawdopodobnie nie tylko w Ameryce Północnej. Dotknęła 60 milionów ludzi zamieszkałych na obszarze pozbawionym zasilania w energię elektryczną i wykazała słabości tego systemu energetycznego. Przyglądając się awarii już z pewnym dystansem i po przeczytaniu szeregu publikacji zarówno w prasie codziennej jak i technicznej, można uznać, iż prawdziwy jest pogląd, że awaria, która dotknęła olbrzymie obszary północno-wschodnich Stanów Zjednoczonych i Kanady, zaskoczyła polityków, ale nie zaskoczyła społeczności energetycznej USA [1].

Można dodać, że zaskoczyła także użytkowników (odbiorców) energii elektrycznej. Ale dla tych, którzy zajmowali się problematyką energetyczną i wiedzieli o pogarszających się warunkach pracy północnoamerykańskiego systemu energetycznego, problem był znany od ok. 10 lat. Można wymienić wiele poważnych wyłączeń, na pewno nie obejmujących tak dużych obszarów, ale dostatecznie częstych, by zaalarmowały odpowiedzialnych za pracę systemu. Aby nie być gołosłownym wspomnieć można o serii wyłączeń w lecie 1996 r., jakie nawiedziły zachodnie obszary Stanów Zjednoczonych, albo wyłączeń w Chicago i w Nowym Jorku, jakie wystąpiły w 1999 r. Można znaleźć też wiele publikacji omawiających to zagadnienie i sygnalizujących niebezpieczeństwo dużej awarii systemowej.

Po tegorocznym blackoutcie były Sekretarz Energii USA p. B. Richardson porównał system energetyczny Stanów Zjednoczonych z systemami energetycznymi krajów Trzeciego Świata. Oczywiście nie w aspekcie wielkości, liczby elementów systemu, jego mocy itp., ale w aspekcie zdolności do zapewnienia ciągłości zasilania. Wcześniej już (w 1997 r.) pojawiły się publikacje wskazujące doświadczenia rozwoju i stanu systemu energetycznego w b. ZSRR, jako przykład dla odpowiedzialnych za system energetyczny w USA. Pojawiały się wypowiedzi, że jest wiele biednych krajów z znacznie bardziej niezawodnym systemem energetycznym niż system USA i żaden lub niewiele bogatych krajów, których systemy doświadczałyby tak częstych i tak poważnych problemów.

<sup>1)</sup> Angielskie słowo „Blackout” piszemy jako spolszczone blackout, zgodnie z zapisem w *Uniwersalnym słowniku języka polskiego*, PWN, Warszawa 2003 (przyp. Redakcji).

Niektóre publikacje wskazują, że nawet opracowywane technologie pozwalające na lepsze zarządzanie systemem i przepływami energii nie były wdrażane bądź na skutek problemów finansowych, bądź problemów z odpowiednimi kadrami<sup>2)</sup>.

Wcześniejszych publikacji amerykańskich wskazujących na potencjalne zagrożenia jest wiele, ale dzisiaj warto przede wszystkim zająć się ostatnio zaistniałym blackoutem. Wiarogodnych przypuszczeń odnośnie do przyczyn jest również wiele, w zasadzie wszystkie sprowadzają się do podkreślania słabości systemu energetycznego, a zwłaszcza sieci przesyłowej.

Szczegółowy raport określający przyczyny awarii ukaże się prawdopodobnie za kilka lat, gdyż takiego czasu wymaga przeprowadzenie badań. Pierwszy raport, wstępny, już się pojawił i będzie tu omówiony.

Decyzje podjęte bezpośrednio po awarii wskazują na przyjęte ogólne zasady metodyki badań i chyba warte są przedstawienia.

Najwyższe czynniki odpowiedzialne za energetykę, a w szczególności Departament Energii USA oraz Ministerstwo Zasobów Naturalnych Kanady, podjęły decyzję o niezwłocznym powołaniu Zespołu Specjalistycznego (*Task Force*) mającego za cel ustalenie przyczyn awarii. W skład zespołu weszli, niezależnie od ekspertów, kierownicy bądź przewodniczący wszystkich najistotniejszych instytucji energetycznych obu krajów.

Współpracę z zespołem zadeklarowali: Północno-Amerykańska Rada Niezawodności Elektroenergetycznej (*North American Electric Reliability Council*) – NERC, Niezależny Operator Systemu oraz elektroenergetyczne przedsiębiorstwa użyteczności publicznej. Władze lokalne, prywatny sektor elektroenergetyczny i in. zostali poproszeni o współpracę. W szczególności Niezależny Operator Systemu i przedsiębiorstwa użyteczności publicznej będą dostarczać danych i przeprowadzać analizy dla każdej z grup roboczych Zespołu.

<sup>2)</sup> Warto tu wyrazić wątpliwość odnośnie do celowości wydawania swego czasu przez jedną z bardzo dużych polskich firm energetycznych olbrzymich pieniędzy na członkostwo w jednej z amerykańskich instytucji zajmującej się pośrednictwem w badaniach. W zamian otrzymała olbrzymie ilości papieru z dokumentacją. I uzyskując, po wydaniu też sporych pieniędzy na wdrożenia, minimalne efekty, jeśli w ogóle. Można obawiać się, że odbyło się to kosztem krajowych jednostek badawczo-rozwojowych i innych firm krajowych.



Program prac Zespołu obejmuje dwie fazy.

## Faza I – Określenie faktów, czyli odpowiedź na pytania

1. Co wywołało 14 sierpnia 2003 rozpadnięcie systemu przesyłowego, a w efekcie wyłączenia mocy i dlaczego?
2. Dlaczego system nie był w stanie przerwać (zatrzymać) rozwoju wyłączeń?
  - Grupa Robocza Systemu Energetycznego przeprowadzi pełną rekonstrukcję wydarzeń w celu identyfikacji przyczyn rozpadnięcia systemu;
  - Grupa Robocza Bezpieczeństwa przeprowadzi analizę wszystkich środków bezpieczeństwa, których zaawansowanie mogło doprowadzić do awarii;
  - Grupa Robocza Nuklearna zidentyfikuje wszystkie działania nuklearnych urządzeń wytwórczych, związane z zaistniałą awarią.

## Faza II – Zalecenia, czyli jak zapobiec takim wyłączeniom w przyszłości?

- Zespół przeanalizuje wszystkie informacje uzyskane w ramach fazy I – określenie faktów.
- Członkowie Zespołu lub ich przedstawiciele spotkają się z odpowiednimi władzami państwowymi i lokalnymi, by wysłuchać ich porad i zaleceń.
- Zespół będzie także oczekiwał związanych ze sprawą własnych wniosków od Niezależnego Operatora Systemu.

Po uzyskaniu potrzebnych informacji zespół opracuje raport, zawierający wyniki badań oraz wszelkie zalecenia, które będą zmierzać do zapobieżenia w przyszłości podobnym wyłączeniom w obu systemach (amerykańskim i kanadyjskim), jak i w połączonym systemie w całości.

Opublikowany 12 września pierwszy raport Zespołu *Task Force* zatytułowany jest: *Sekwencja wydarzeń związanych z wyłączeniem 14 sierpnia 2003 – wstępny przebieg wydarzeń* [2].

Raport nie ma na celu określenia przyczyn wydarzeń, zawiera jedynie przebieg fizycznych i elektrycznych zjawisk, jakie wydarzyły się w wąskim przedziale czasu przed i w trakcie kaskady wyłączeń, prowadzącej do blackoutu 14 sierpnia 2003 r.

Raport obejmuje wydarzenia, które rozpoczęły się w godzinach południowych i prezentuje fotografię rozwoju wydarzeń i sytuacji w systemie do godzin popołudniowych, wskazuje przede wszystkim na wydarzenia, jakie zaistniały w głównych układach przesyłowych (230 kV i wyżej) oraz w elektrowniach. Opublikowany raport nie podejmuje próby przedstawienia lub wyjaśnienia powiązań pomiędzy sekwencjami opisanych wydarzeń. Określenie tych powiązań wymagać będzie przeprowadzenia dodatkowych analiz.

Wyznaczony kierunek tych analiz rozszerza podane już ustalenia, co do metodyki badań i dlatego wart jest przytoczenia.

W szczególności przyjęto, że eksperci będą kontynuować analizę danych pochodzących:

- z tysięcy zdarzeń, jakie wydarzyły się na liniach przesyłowych w sieci 138 kV i niższych napięć w ciągu kilku godzin poprzedzających i w trakcie rozpadania się sieci,
- z setek wydarzeń odnoszących się do współdziałania elektrowni z siecią w tym okresie,
- ze stanu i eksploatacji systemu w godzinach przedpołudniowych; wiele wydarzyło się właśnie przed południem – włączając problemy z mocą bierną, z warunkami napięciowymi czy przepływami mocy – i późniejszy blackout może mieć związek z tymi wydarzeniami,
- z każdego działania podjętego lub nie podjętego przez operatorów przed lub w trakcie wyłączenia.

W raporcie podana jest sekwencja wydarzeń, a zatem czasy ich wystąpienia. Pojawiły się i do dziś istnieją trudności precyzyjnego określenia czasu zaistnienia niektórych wydarzeń, gdyż pewne komputery rejestrujące informacje były niewłaściwie ustawione albo czas w niektórych punktach nie był ustawiony wg czasu wzorcowego. W celu dokładnego określenia chwili (z dokładnością do sekund lub ułamków sekund) zaistnienia wydarzenia trzeba było weryfikować czas wykorzystując różne źródła. Jednak nawet do dziś czas zaistnienia niektórych wydarzeń nie jest znany z dokładnością do sekundy.

Jedną z cech charakterystycznych omawianego blackoutu były spadki napięć, jakie zaistniały w części systemu przesyłowego (w otoczeniu i wewnątrz północnego Ohio i wschodniego Michigan), związane z problemami rozptywu mocy biernej, pogłębiającymi się z wyłączeniami poszczególnych linii.

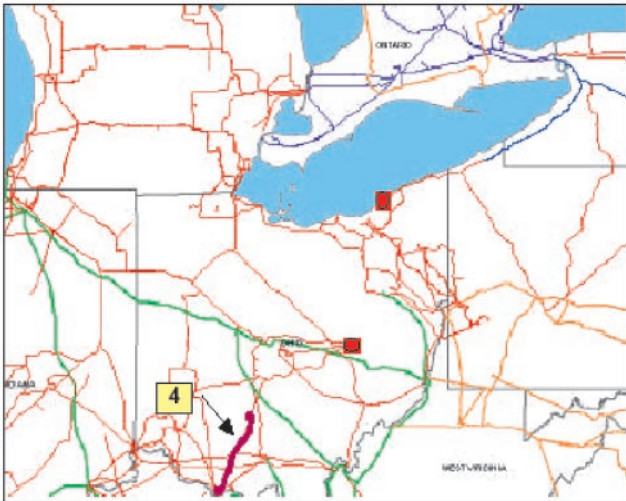
Większość wydarzeń odnoszących się do blackoutu zaistniała od godzin południowych czasu wschodnioamerykańskiego (EDT) do godziny 16.13. W raporcie opublikowano wiele map podających kolejność poszczególnych wyłączeń. W niniejszym artykule przytoczono tylko kilka z nich, głównie w celu przedstawienia sposobu prezentacji przez *Task Force* przebiegu zdarzeń, a także sądząc, że pozwolą lepiej zorientować się w rozwoju awarii. Załączono tylko mapę z początkowego okresu awarii (a ściślej nawet z okresu przed zasadniczymi wyłączeniami awaryjnymi) i mapy prezentujące końcowy stan systemu, gdy awaria praktycznie spowodowała już zaistnienie blackoutu.

Na rysunku 1 przedstawiono symbole wykorzystane w prezentowanych dalej mapach. Pojęcie „wyłączenie drogi przesyłu” oznacza, że nie ma żadnej możliwości przesyłania energii elektrycznej pomiędzy dwoma obszarami. Wyłączenie generatora oznacza, że maszyna została wyłączona z sieci i zaprzestala całkowicie wytwarzania energii elektrycznej.



Linie przesyłowe	Wydarzenia
765 kV	Wyłączenie linii
500 kV	Wyłączenie drogi przesyłu
345 kV	Wyłączenie generatora
230 kV	Numer wydarzenia

Rys. 1. Oznaczenia na mapach



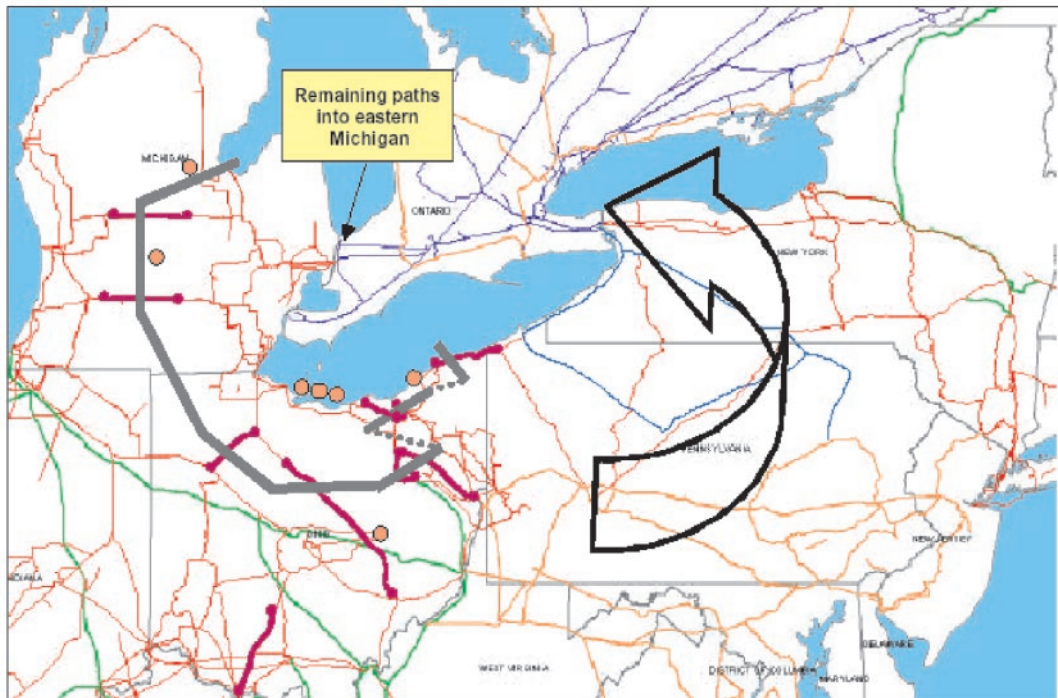
Rys. 2. Stan z godziny 14.07. Dwa generatory i jedna linia wyłączone

Za początek wydarzeń można przyjąć wypadnięcie o godz. 12.05 generatora 375 MW w *Elektrowni Conesville* położonej na północ od Detroit. O godz. 13.14 wypadł generator 785 MW w *Elektrowni Greenwood* położonej przy południowej części jeziora Huron. O godz. 13.57 generator ten został ponownie włączony do sieci, dlatego nie jest zaznaczony na mapie na rysunku 2.

O godz. 13.31 nastąpiło wypadnięcie generatora 597 MW w *Elektrowni Eastlake*, zlokalizowanej w północnym Ohio przy południowym brzegu jeziora Erie. Generator ten był przyłączony do sieci 345 kV i jego wypadnięcie spowodowało zmianę rozptyłu mocy w sieci przesyłowej.

O godz. 14.02 wyłączono linię 345 kV (wydarzenie 4 rys. 2), stanowiącą część drogi przesyłu mocy z południowo-zachodniego do północnego Ohio. Linię wyłączono wskutek pożaru zarośli pod fragmentem linii; obawiano się bowiem, że powstające wskutek pożaru gorące gazy mogą zjonizować powietrze i doprowadzić do zwarcia między przewodami linii.

Pomiędzy 15.05 a 15.41 samoczynnie wyłączyły się trzy linie 345 kV stanowiące część drogi przesyłu mocy ze wschodniego do północnego Ohio. Przyczyna wyłączenia jednej z nich nie jest znana do tej pory, jedna z kolei wyłączyła się wskutek zwarcia doziemnego spowodowanego zbliżeniem przewodów do drzew, natomiast przyczyny wyłączenia trzeciej też nie są znane, podobnie jak wcześniejsze w tym dniu dwukrotne jej wyłączenie i ponowne samoczynne załączenie.



Rys. 3. Godz. 16.10.38 Napis na rysunku: Pozostająca droga zasilania do wschodniego Michigan. Strzałką zaznaczony nowy, powstały w wyniku wyłączeń kierunek przepływu mocy



Rys. 4. Sytuacja z godz. 16.10.40–16.10.44  
(napis na rysunku: Istniejąca droga zasilania)

Wypadnięcie tych linii spowodowało istotną zmianę przepływów mocy, przepływy przejęły inne linie, włączając także linie 138 kV. Przeciążenie linii spowodowało spadki napięć, wskutek których wyłączono odbiory przemysłowe o mocy 600 MW (w zakładach wyłączyły się silniki wskutek spadku napięcia) i samoczynnie zostali wyłączeni odbiory przyłączeni bezpośrednio do sieci 138 i 69 kV. Kolejne dwie linie 345 kV wyłączyły się o godz. 15.45 i 16.06, po czym do godz. 16.10.38 nastąpiły dalsze „lawinowe” wyłączenia linii i generatorów (rys. 3). Wyłączyły się kilkanaście linii w sieci przesyłowej i kilkadziesiąt generatorów o różnych mocach (także bardzo dużych). Po tych wyłączeniach powiązania pomiędzy poszczególnymi obszarami były już bardzo słabe, a utrzymujące się wyspy dysponowały zbyt małą mocą, co powodowało spadek częstotliwości. Po przerwaniu połączeń wzdłuż południowego brzegu jeziora Erie moc poprzednio tam przepływająca zmieniła kierunek i przepływ mocy stanowił olbrzymią pętlę z Pensylwanii do Nowego Jorku, do Ontario i do Michigan (rys. 3).

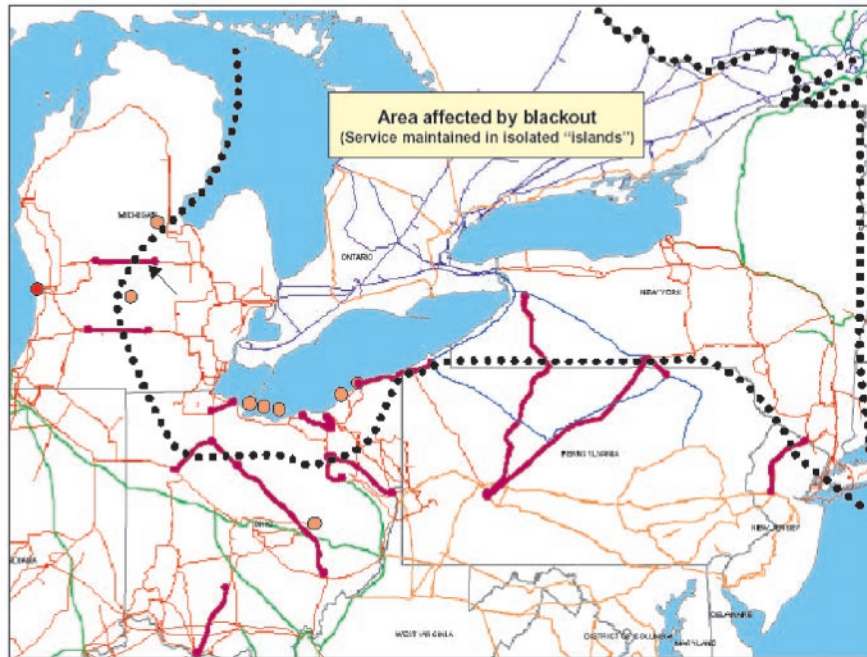
W ciągu czterech sekund pomiędzy 16.10.40 a 16.10.44 wypadły dwie linie 345 kV i dwie 230 kV pomiędzy Pensylwanią a Nowym Jorkiem, całkowicie rozcinając połączenie pomiędzy tymi obszarami (rys. 4 – liczby na rysunku odnoszą do pominiętych tu nazw linii) i powodując kolejną groźną zmianę w przepływach mocy. W tym samym czasie (godz. 16.10.41) wyłączyły się kolejne dwie linie 345 kV i dwa generatory: *Perry 1* (nuklearna jednostka) 1252 MW i *Avon Lake* 616 MW. W izolowanej wyspie Cleveland najpierw odbiory zostały wyłączone przez zabezpieczenie podczęstotliwościowe, a następnie wyłączone linie przesyłowe. O godz. 16.10.42 wyłączył się generator 820 MW, a w następnych trzech sekundach dwie linie 230 kV i linia 500 kV.

Pomiędzy godziną 16.10.46 a 16.10.55 przerwane zostało połączenie pomiędzy wschodnim a zachodnim Nowym Jorkiem. Część (w tym Nowa Anglia) stała się wyspą, w której energia wytwarzana i zapotrzebowana były niemal zbilansowane. W kolejnych sekundach nastąpiło wyłączenie linii powodujące odcięcie Ontario, a następnie utratę zasilania w tej kanadyjskiej prowincji. Można przyjąć, że o godz. 16.13 kaskada wyłączeń (lub sekwencja wydarzeń) została zakończona (rys. 5).

W czasie wyłączeń pozostało kilka izolowanych wysp, część z nich, mająca zbilansowane zapotrzebowanie z energią wytwarzaną pracowała bezprzerwowo, inne wyłączyły się po kilku minutach. W pracy utrzymała się także jedna stosunkowo duża wyspa o obciążeniu 5700 MW, przeważnie w zachodnim Nowym Jorku. Moc była tu dostarczana głównie przez elektrownie zlokalizowane na południu jeziora Ontario, także z elektrowni na Niagarze i St. Lawrence, jak również liniami 765 kV i linią prądu stałego z prowincji Quebec (Kanada). Ta wyspa została wykorzystana do odbudowy zasilania zarówno w Nowym Jorku jak i w Ontario (Kanada).

W konkluzjach do raportu *Task Force* zastrzega, iż interpretacja opisanych zdarzeń może ulec zmianie w trakcie dalszych badań. Jednocześnie zapowiada, że w następnym raporcie zaprezentuje bardziej szczegółowy przebieg wydarzeń i powiązania pomiędzy zdarzeniami.

Amerykańsko-kanadyjskie badania będą trwały jeszcze długo, ale dopiero ich wynik pozwoli na jednoznaczne ustalenie przyczyn i wniosków. Niewątpliwie już dzisiaj pojawiają się określone sugestie, a zwłaszcza w Polsce poszukuje się analogii z sytuacją krajową. Niech zatem wolno będzie napisać kilka zdań o warunkach krajowych i o tym czy w ogóle możemy mówić o analogiach.



Rys. 5. Obszar dotknięty blekautem (napięcie tylko w izolowanych wyspach)

Przede wszystkim jednak — stwierdzenie oczywiste: nikt nie jest w stanie zapewnić w jakimkolwiek systemie (nie tylko energetycznym) 100% niezawodności. Nie mniej jednak można sobie pozwolić na domniemanie, że krajowy system elektroenergetyczny nie jest narażony na tego rodzaju blekaut (oczywiście zachowując proporcje obszaru i mocy).

Po pierwsze — nie ma u nas przesyłów mocy na tak znaczne odległości jak w systemie USA — Kanada.

Po drugie — rozmieszczenie w kraju źródeł wytwarzania jest bardzo racjonalne, w pewnym sensie pokrywają one obszar kraju i są rozmieszczone (z nielicznymi wyjątkami) w pobliżu centrów zapotrzebowania.

Po trzecie — elektrownie systemowe (jeśli pominąć kwestię sprawności i stosowanego paliwa) są nowoczesne, wyposażone w stosowną automatykę.

Po czwarte — mamy nie tylko znaczną rezerwę mocy (to jest mniej istotne przy zakłóceniach), ale mamy także spory zapas mocy regulacyjnej.

Po piąte wreszcie istnieje świadomość, co do potrzeby pewnych uzupełnień sieci przesyłowej, a zwłaszcza połączeń transgranicznych, które będą musiały być w stosunkowo niedługim czasie zrealizowane.

Jednak najistotniejsze i to powinno być powiedziane przede wszystkim — jest, że instytucja odpowiedzialna za pracę systemu elektroenergetycznego, *PSE SA*, podjęła i prowadzi działania, zapewniające wysoką niezawodność systemu i szybką odbudowę zasilania w przypadku, gdyby jednak nastąpiły poważne zaburzenia.

Podkreślić należy, że prace te (np. przystosowanie obiektów do odbudowy zasilania, uruchomienia innych czy przygotowanie obiektów i obszarów do pracy wyspowej) *PSE SA* wykonuje wykorzystując krajowych wykonawców, uzyskując odpowiednie efekty, a jednocześnie umożliwiając rozwój i instytucji, i ich pracowników. W porównaniu z występującymi w poprzednim okresie przypadkami płacenia instytucjom zagranicznym bez odpowiednich efektów, jest to istotna zmiana jakościowa. I mówiąc o niezawodności systemu, trochę w nawiązaniu do systemu północnoamerykańskiego, warto o tych pozytywnych faktach wspomnieć.

## LITERATURA

- [1] Big Blackout Surprised Politicians, But Not the Power Community. *IEEE Spectrum* nr 9, 2003
- [2] Initial Blackout Timeline. August 14, 2003 Outage Sequence of Events. U.S./Canada Power Outage Task Force. 12.2003

