

# **BEZPIECZEŃSTWO I POLITYKA**

**Tomasz ŁACHACZ**

Wyższa Szkoła Policji w Szczytnie  
Wydział Bezpieczeństwa Wewnętrznego

## **ENERGETYKA W DOKUMENTACH STRATEGICZNYCH Z ZAKRESU BEZPIECZEŃSTWA**

Energia jest ważnym tematem w stosunkach międzynarodowych, ponieważ dobro to warunkuje stabilny rozwój społeczeństwa i kreuje naszą przyszłość. Celem polityków, którzy mają na względzie interesy narodowe, powinno być dążenie państwa do niezależnego i racjonalnego dostępu do surowców energetycznych. Energetyka jest wspólnie kluczowym elementem bezpieczeństwa państwa. Jak zauważa Jan Swół: „Abstrakcyjność bezpieczeństwa, jako stanu realnej rzeczywistości, materializuje się w konfrontacji z zagrożeniami. W związku z tym, pełne analizowanie danego rodzaju bezpieczeństwa odbywać powinno się w kontekście jego przymiotnikowego określenia, które wyznacza różnorodne kryteria zależne od celu i przedmiotu badań”.<sup>1</sup>

Bezpieczeństwo energetyczne jest różnie definiowane. W polskich aktach prawnych, przez bezpieczeństwo dostaw paliw i energii rozumie się „zapewnienie stabilnych dostaw paliw i energii na poziomie gwarantującym zaspokojenie potrzeb krajowych i po akceptowanych przez gospodarkę i społeczeństwo cenach, przy założeniu optymalnego wykorzystania krajowych zasobów i surowców energetycznych oraz poprzez dywersyfikację źródeł i kierunków dostaw ropy naftowej, paliw ciekłych i gazowych”.<sup>2</sup> Ważne jest, aby dążąc do pokrycia zapotrzebowania na paliwa i energię, nie zaniechać troski o warunki życia społecznego. Bezpieczeństwo energetyczne można rozpatrywać w wymiarze: podmiotowym – jako zapewnienie pewności przetrwania państwa; przedmiotowym – jako pewność swobodnego rozwoju i zmiennym – uwzględniającym nowe wyzwania i zagrożenia.<sup>3</sup> Istotne jest wyznaczenie w państwie właściwej strategii w tym obszarze.

W artykule podjęto próbę odpowiedzi na pytanie: w jaki sposób kwestie energetyczne ukazywane są w dokumentach strategicznych z zakresu bezpieczeństwa? W tym celu analizie poddano: Strategię Bezpieczeństwa Narodowego Rzeczypospolitej Polskiej z 2014 roku, Koncepcję Strategiczną NATO z 2010 roku, Europejską Strategię Bezpieczeństwa z 2003 roku oraz sprawozdanie

---

<sup>1</sup> J. Swół, *Kryminalistyka dla bezpieczeństwa* (w:) K. Kraj (red.), *Bezpieczeństwo-zagadnienia*, [www.e-terroryzm.pl](http://www.e-terroryzm.pl), s. 38

<sup>2</sup> *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z 10 listopada 2009 r., Ministerstwo Gospodarki. Warszawa 2009, s. 8. W Ustawie z 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz.U., nr 54, poz. 348 z późn. zm., tekst jednolity) bezpieczeństwo energetyczne zdefiniowano jako: „stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska”.

<sup>3</sup> W. Kitler, *Bezpieczeństwo narodowe RP. Podstawowe kategorie. Uwarunkowania. System*. Warszawa 2011, s. 49, 52; Idem, *Wartości, potrzeby, cele i interesy jako podstawowe kategorie bezpieczeństwa narodowego* (w:) P. Sienkiewicz, M. Marszałek, H. Świeboda (red.), *Metodologia badań bezpieczeństwa narodowego*, t. 2. Warszawa 2011, s. 215

na temat jej wdrażania („Utrzymanie bezpieczeństwa w zmieniającym się świecie”), które przygotowano zostało w 2008 roku.<sup>4</sup>

Wspólną cechą analizowanych dokumentów jest ich strategiczne podejście do kwestii bezpieczeństwa. Określono w nich między innymi współczesne wyzwania i zagrożenia oraz niezbędne kierunki działań, jakie należy realizować w celu zapewnienia ładu i porządku międzynarodowego. Trzeba jednak nadmienić, że są to ogólne założenia w dziedzinie bezpieczeństwa, które uszczegóławiane są przez właściwe dokumenty z danego obszaru. Zasadniczą różnicą omawianych koncepcji jest perspektywa postrzegania: Sojuszu Północnoatlantyckiego, Unii Europejskiej oraz Rzeczypospolitej Polskiej. Nie bez znaczenia jest także fakt, że dokumenty były zatwierdzone w różnych okresach (w 2010, 2003, 2014 roku). Na przestrzeni ostatnich dziesięciu lat, charakter niektórych zagrożeń uległ przeobrażeniu, czego najlepszym przykładem jest terroryzm. W tym czasie zmieniło się także podejście do energetyki jako ważnego elementu bezpieczeństwa państwa.

Kwestie energetyczne rozpatrywane są w analizowanych dokumentach, w różnych wymiarach. W Strategii Bezpieczeństwa Narodowego RP określono cele strategiczne w dziedzinie bezpieczeństwa. Wymieniono wśród nich m.in. ochronę granic Polski, doskonalenie systemu bezpieczeństwa narodowego, czy też rozwój potencjału obronnego i ochronnego państwa. Za jeden z celów strategicznych naszego państwa uznano „zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego i bezpieczeństwa klimatycznego oraz ochrony środowiska...”.<sup>5</sup> Podkreślono ponadto, że energetyka jest jednym z kluczowych elementów bezpieczeństwa narodowego oraz wskazano główne czynniki bezpieczeństwa energetycznego. Należą do nich: dostęp do surowców energetycznych, dywersyfikacja źródeł i kierunków dostaw paliw oraz budowa nowych mocy w oparciu o zróżnicowane technologie wytwarzania, „które pozwolą na zrównoważenie krajowego popytu na energię”.<sup>6</sup> Co więcej zauważono, że polityka energetyczna Polski powinna koncentrować się na dalszym rozwoju infrastruktury wytwórczej, przesyłowej i magazynowej. Za ważny kierunek działań w państwie uznano inwestycje w nowoczesne, energooszczędne technologie i produkty. W polskiej strategii wielokrotnie ukazano, że bezpieczeństwo państwa zależy współcześnie nie tylko od potencjału militarnego, ale także od jego zasobów niemilitarnych, w tym energetycznych.

Z kolei w Koncepcji Strategicznej NATO z 2010 roku zwrócić uwagę należy na główne zadania i zasady Sojuszu, w kontekście omawianej problematyki. Wśród nich znajdują się hasła dotyczące obrony zbiorowej oraz bezpieczeństwa kooperatywnego. Pierwsze z nich zakłada, że członkowie Sojuszu będą w razie ataku udzielać sobie solidarnie pomocy, zgodnie z artykułem 5 Traktatu Waszyngtońskiego. „NATO będzie odstraszało i broniło przed groźbą agresji i przed wyłaniającymi się wyzwaniami bezpieczeństwa tam, gdzie zagrażają one

---

<sup>4</sup> *Utrzymanie bezpieczeństwa w zmieniającym się świecie*, sprawozdanie na temat wdrażania Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa poparte przez Radę Europejską 11-12 grudnia 2008. Luksemburg 2009

<sup>5</sup> *Strategia Bezpieczeństwa Narodowego Rzeczypospolitej Polskiej 2014*. Warszawa 2014, s. 12

<sup>6</sup> *Ibidem*, s. 15

fundamentalnemu bezpieczeństwu sojuszników i Sojuszu jako całości”.<sup>7</sup> Natomiast idea bezpieczeństwa kooperatywnego polega na zapewnieniu bezpieczeństwa międzynarodowego m.in. poprzez partnerstwo z właściwymi państwami i organizacjami. Punktem wyjścia jest przy tym założenie, że „zewnątrzna sytuacja polityczna i bezpieczeństwa wpływa na Sojusz i sam Sojusz może ją kształtować”.<sup>8</sup> Na podstawie przedstawionych zasad przyjąć należy, że w orbicie zainteresowania NATO są konflikty o surowce energetyczne, czy też zagrożenia dla kluczowej infrastruktury energetycznej. Potwierdzeniem tego może być chociażby deklaracja, że „NATO jest unikatowym i zasadniczym transatlantyckim forum konsultacji we wszystkich sprawach, które dotyczą terytorialnej integralności, politycznej niezależności i bezpieczeństwa wszystkich jego członków (...). Każda kwestia bezpieczeństwa, będąca przedmiotem zainteresowania któregokolwiek z członków, może być poddana pod rozwagę NATO w celu dzielenia się informacją, wymiany poglądów i tam, gdzie to właściwe, wypracowania wspólnego podejścia”.<sup>9</sup> Wynika z tego, że problemy związane z bezpieczeństwem energetycznym mogą być tematem konsultacji członków Sojuszu. Dobrym tego przykładem jest ostatni szczyt NATO w Warszawie, który odbył się w dniach 8-9 lipca 2016 roku. W rozmowach polityków<sup>10</sup> oraz w oficjalnym komunikacie ze szczytu pojawił się wątek energetyczny. Zauważono, że rozwój sytuacji w energetyce może mieć negatywny wpływ na stosunki polityczne państw i naruszać bezpieczeństwo członków Sojuszu. Zakomunikowano, że „NATO uważnie śledzi wpływ rozwoju sytuacji w energetyce na bezpieczeństwo i przywiązuje szczególną wagę do dywersyfikacji źródeł dostaw w regionie euroatlantyckim (...) będziemy dalej wzmacniać strategiczną czujność w tym zakresie (...) Będziemy konsultować i wymieniać się informacjami o sprawach bezpieczeństwa energetycznego, o szczególnym znaczeniu dla Sojuszników i Sojuszu, z perspektywą zapewnienia pełnowymiarowego opisu krajobrazu energetycznego, przy koncentracji na obszarach, w których NATO może wnieść wartość dodaną. Będziemy także kontynuować rozwój potencjału do wsparcia władz krajowych w obronie infrastruktury krytycznej, a także wzmacniania ich odporności na zakłócenia dostaw surowców, które mogłyby uderzyć w narodową i kolektywną obronę, w tym zagrożenia hybrydowe i cybernetyczne. W tym kontekście włączymy rozważania z zakresu bezpieczeństwa energetycznego do ćwiczeń, treningów i zaawansowanego planowania”.<sup>11</sup> Świadczy to o wzroście zainteresowania Sojuszu bezpieczeństwem energetycznym, ze względu na jego oddziaływanie na ład i porządek międzynarodowy. Pojawiło się to zresztą już

<sup>7</sup> *Koncepcja strategiczna obrony i bezpieczeństwa członków Organizacji Traktatu Północnoatlantyckiego, przyjęta przez szefów państw i rządów w Lizbonie 20 listopada 2010 roku*, [https://www.bbn.gov.pl/ftp/dok/01/koncepcja\\_strategiczna\\_nato\\_tlumaczenie.pdf](https://www.bbn.gov.pl/ftp/dok/01/koncepcja_strategiczna_nato_tlumaczenie.pdf), s. 2

<sup>8</sup> *Ibidem*

<sup>9</sup> *Ibidem*

<sup>10</sup> W ramach szczytu NATO prezydent Andrzej Duda spotkał się z prezydentem Stanów Zjednoczonych Barackiem Obamą, a tematem ich rozmowy było m.in. bezpieczeństwo energetyczne. Przywódcy krytycznie ocenili projekt NordStream2 jako przedsięwzięcie negatywnie wpływające na bezpieczeństwo energetyczne Europy, <http://www.polskieradio.pl/42/3167/Artykul/1641285,Szczyt-NATO-bedzie-wspolpraca-Polski-i-USA-dotyczaca-bezpieczenstwa-energetycznego> (pobrano 25.09.2016 r.)

<sup>11</sup> <http://biznesalert.pl/bezpieczenstwo-energetyczne-komunikacie-ze-szczytu-nato-warszawie/> (pobrano 25.09.2016 r.)

w koncepcji z 2010 roku, w której lakonicznie, aczkolwiek czytelnie zasygnalizowano potrzebę „rozwijania zdolności do wniesienia wkładu na rzecz bezpieczeństwa energetycznego, włączając w to ochronę krytycznej infrastruktury energetycznej, szlaków i linii tranzytowych, współpracę z partnerami i konsultacje wśród sojuszników na bazie ocen strategicznych i planowania ewentualnościowego”.<sup>12</sup>

W założeniach Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa z 2003 roku pojawiają się także odniesienia do bezpieczeństwa energetycznego. W dokumencie podkreślono, że Unia Europejska jest „globalnym graczem”, a „bezpieczeństwo jest podstawowym warunkiem rozwoju”.<sup>13</sup> Zauważono, że siła wspólnoty polega na wspólnym działaniu jej członków. „Sami możemy rozwiązać niewiele problemów. (...) Współpraca międzynarodowa jest koniecznością. Musimy dążyć do osiągnięcia naszych celów w drodze współpracy wielostronnej na forach organizacji międzynarodowych oraz przez partnerstwa z kluczowymi podmiotami”.<sup>14</sup> Ponadto, w dokumencie określono cele strategiczne Unii Europejskiej w zakresie bezpieczeństwa, w tym: przeciwdziałanie zagrożeniom, budowanie bezpieczeństwa w sąsiedztwie wspólnoty czy też porządku międzynarodowego, opartego na efektywnych stosunkach wielostronnych. Są one znaczące w kontekście omawianej problematyki, ponieważ interesem Unii Europejskiej jest m.in. promowanie dobrze zarządzanych krajów na wschód od wspólnoty. Odgrywają one bowiem ważną rolę na rynku energii, ze względu na swoje zasoby i położenie geograficzne. Poza tym w strategii zasygnalizowano potrzebę „rozszerzenia kontaktów ze światem arabskim”, co również związane jest z interesami energetycznymi wspólnoty. Wśród wymienionych celów strategicznych podkreślono, że „nasze bezpieczeństwo i dobrobyt są coraz bardziej uzależnione od systemu opartego na efektywnych stosunkach wielostronnych. Nasz cel to rozwój silniejszej społeczności międzynarodowej, dobrze funkcjonujące instytucje międzynarodowe oraz oparty na prawie porządek międzynarodowy”.<sup>15</sup> Podkreślono, że gwarancją porządku międzynarodowego i bezpieczeństwa w Europie jest wspieranie rządów państw demokratycznych. Konkretnie postulaty, dotyczące kwestii energetycznych, pojawiły się w sprawozdaniu z wdrażania Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa, z 2008 roku. Za konieczne uznano przede wszystkim ustanowienie polityki energetycznej Unii Europejskiej, ze względu na rosnące w tym zakresie potrzeby oraz niestabilne rządy w państwach, które dostarczają surowce. Zasugerowana polityka powinna łączyć zarówno aspekt wewnętrzny, jak i zewnętrzny. Poza tym, w sprawozdaniu zasygnalizowano potrzebę „większej dywersyfikacji paliw, źródeł dostaw oraz tras przesyłu (...)”.<sup>16</sup> Zwrócono przy tym uwagę na promowanie i wspieranie dobrych rządów oraz poszanowanie praworządności w państwach pochodzenia. W sprawozdaniu podkreślono także potrzebę promowania energii ze źródeł odnawialnych, technologie niskoemisyjne oraz efektywność energetyczną.

<sup>12</sup> *Koncepcja strategiczna obrony...*, op. cit., s. 4

<sup>13</sup> *Bezpieczna Europa w lepszym świecie. Europejska Strategia Bezpieczeństwa, 12 grudnia 2003 r.* Luksemburg 2009, s. 41

<sup>14</sup> *Ibidem*, s. 42

<sup>15</sup> *Ibidem*, s. 36

<sup>16</sup> *Utrzymanie bezpieczeństwa w zmieniającym się świecie...*, op. cit., s. 14

Zagrożenia i wyzwania są kolejnym ważnym obszarem, który omówiono w analizowanych strategiach. W dokumentach zwrócono uwagę na wzrost zapotrzebowania na energię, który może prowadzić do uzależnienia energetycznego. To rodzi niebezpieczeństwo wykorzystania surowców energetycznych do osiągania przez państwa celów politycznych. W Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa z 2003 roku zwrócono uwagę, że „Europa jest największym światowym importerem ropy naftowej i gazu. Około 50% zużywanej energii pochodzi z importu. Wartość ta wzrośnie do 70% w roku 2030. Większość importowanej energii pochodzi z Zatoki Perskiej, Rosji i Afryki Północnej”.<sup>17</sup> W sprawozdaniu z 2008 roku przedstawiono jeszcze większe obawy związane z uzależnieniem energetycznym. „Spadająca produkcja w obrębie Europy oznacza, że do roku 2030 do 75% naszej ropy i gazu trzeba będzie importować. Dostawy będą pochodzić z ograniczonej liczby krajów, z których wiele stoi w obliczu zagrożeń dla bezpieczeństwa, które wymagają odpowiedzialności i solidarności od wszystkich państw członkowskich”.<sup>18</sup> Podobne wyzwania zasygnalizowano w Koncepcji Strategicznej NATO oraz Strategii Bezpieczeństwa Narodowego RP. W koncepcji Sojuszu Północnoatlantyckiego zwrócono uwagę, że wzrastające potrzeby energetyczne w dalszym ciągu będą miały istotny wpływ na środowisko bezpieczeństwa oraz planowanie i operacje NATO. Podkreślono, że niektóre państwa NATO staną się bardziej zależne od zagranicznych dostawców energii, ale także ich sieci i dystrybucji.<sup>19</sup> Na problem ten zwrócono uwagę także w polskiej strategii. W wymiarze globalnym zauważono, że wraz ze światowym rozwojem bardzo dużym wyzwaniem staje się wzrost zapotrzebowania na żywność, wodę pitną i energię. Obok podstawowych dóbr dla człowieka, jakimi są woda i żywność, wymieniono także energię, co świadczy o jej znaczeniu we współczesnym świecie. Ponadto w dokumencie wskazano, że surowce energetyczne „występują często na obszarach niestabilnych politycznie, lub stają się narzędziami realizacji celów politycznych państw eksporterów”.<sup>20</sup> Omawiając wymiar regionalny w polskiej strategii zwrócono uwagę na zależność państw Unii Europejskiej od importu surowców energetycznych, zaś w kontekście naszego kraju podkreślono, że „wyzwaniem dla bezpieczeństwa narodowego jest uzależnienie krajowej gospodarki od dostaw surowców energetycznych z jednego źródła (...)”.<sup>21</sup>

We wszystkich analizowanych koncepcjach zwrócono uwagę na infrastrukturę energetyczną. W Strategii Bezpieczeństwa Narodowego RP podkreślono potrzebę rozwoju infrastruktury sieciowej i wytwórczej, w oparciu o paliwa węglowe, jądrowe i gazowe, w celu zapewnienia stabilności dostaw energii. Uznano, że polska polityka energetyczna „ukierunkowana jest na zapewnienie właściwego rozwoju infrastruktury wytwórczej, przesyłowej i magazynowej (...)”.<sup>22</sup> W części zatytułowanej „Obrona i odstraszanie” Koncepcji Strategicznej NATO z 2010 roku zadeklarowano, że Sojusz będzie podejmował działania w celu odstraszania i obrony przed zagrożeniami bezpieczeństwa państwa. W tym celu zdecydowano rozwijać zdolności NATO, m.in. w zakresie ochrony krytycznej infrastruktury

<sup>17</sup> *Bezpieczna Europa w lepszym świecie...*, op. cit., s. 30

<sup>18</sup> *Utrzymanie bezpieczeństwa w zmieniającym się świecie...*, op. cit., s. 14

<sup>19</sup> *Koncepcja strategiczna obrony...*, op. cit., s. 3

<sup>20</sup> *Strategia Bezpieczeństwa Narodowego Rzeczypospolitej Polskiej...*, op. cit., s. 19

<sup>21</sup> *Ibidem*, s. 26

<sup>22</sup> *Ibidem*, s. 15

energetycznej szlaków i linii tranzytowych. Ponadto zwrócono uwagę, że wszystkie państwa są coraz bardziej zależne od dróg tranzytowych, na których opiera się m.in. bezpieczeństwo energetyczne i dlatego wymagają one większych międzynarodowych wysiłków, aby zapewnić ich odporność na atak lub przerwanie.<sup>23</sup> Podobne spostrzeżenia zawarto w Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa z 2003 roku, wskazując na zależność Europy od wzajemnie powiązanej infrastruktury energetycznej oraz na jej podatność na różnego rodzaju ryzyka. Uwzględnienie w dokumentach strategicznych z zakresu bezpieczeństwa potrzeby ochrony infrastruktury energetycznej świadczy o istocie problemu. Współczesne zagrożenia związane z omawianą problematyką to nie tylko kwestia surowców, ale, jak się okazuje, także problem infrastruktury narażonej w coraz większym stopniu na różnego rodzaju ryzyka.

Bardzo ważny jest także polityczny wymiar omawianej problematyki oraz relacje między kluczowymi uczestnikami stosunków międzynarodowych. Ze względu na surowce energetyczne, szczególnie ważne wydają się relacje z Rosją. Sojusz Północnoatlantyczny w swojej koncepcji deklaruje politykę „otwartych drzwi”. „Drzwi do członkostwa NATO pozostają w pełni otwarte dla wszystkich europejskich demokracji, które podzielają wartość naszego Sojuszu, które są chętne i zdolne do przyjęcia odpowiedzialności i zobowiązań wynikających z członkostwa, i których włączenie może przyczynić się do wspólnego bezpieczeństwa i stabilności”.<sup>24</sup> Za ważne wartości w polityce NATO uznano dialog i współpracę z partnerami, które zagwarantować mają bezpieczeństwo. Podkreślono, że UE jest unikatowym i istotnym partnerem Sojuszu, a struktury uzupełniają się i wspólnie odgrywają ważną rolę we wspieraniu międzynarodowego pokoju i bezpieczeństwa.<sup>25</sup> W koncepcji zwrócono uwagę na współpracę NATO i Rosji, która przyczynia się do pokoju, stabilizacji i bezpieczeństwa. Podkreślono, że Sojusz nie stanowi zagrożenia dla Rosji, a ich bezpieczeństwo jest wzajemnie powiązane. Od Rosji oczekuje się jednak „silnego i konstruktywnego partnerstwa, opartego na wzajemnym zaufaniu, przejrzystości i przewidywalności”.<sup>26</sup> Wynika z tego jasno, że Sojusz Północnoatlantyczny jest gotowy współpracować z Rosją, w celu zagwarantowania bezpieczeństwa międzynarodowego (także energetycznego), ale na zasadzie zaufania i swego rodzaju równowagi. W polskim dokumencie strategicznym szczegółowo omówiono międzynarodową politykę bezpieczeństwa. Dużo uwagi poświęcono: Unii Europejskiej, NATO, Stanom Zjednoczonym i Rosji, które uznano za główne czynniki mające wpływ na bezpieczeństwo Europy. Pierwsza wspólnota ukazana została głównie przez pryzmat kwestii społeczno-gospodarczych. W polskiej strategii wyrażono poparcie dla rozwoju Wspólnej Polityki Bezpieczeństwa i Obrony Unii Europejskiej, wskazując ją jako istotny czynnik bezpieczeństwa Polski. Z kolei NATO bezdyskusyjnie uznano za gwaranta naszego bezpieczeństwa oraz „najważniejszą formę polityczno-wojskowej współpracy z sojusznikami”.<sup>27</sup> W kontekście omawianej problematyki warto także wspomnieć, w jaki sposób zostali przedstawieni globalni gracze, a mianowicie Stany Zjednoczone i Rosja. W polskiej strategii

<sup>23</sup> *Koncepcja strategiczna obrony...*, op. cit., s. 3

<sup>24</sup> *Ibidem*, s. 6

<sup>25</sup> *Ibidem*, s. 7

<sup>26</sup> *Ibidem*

<sup>27</sup> *Strategia Bezpieczeństwa Narodowego Rzeczypospolitej Polskiej...*, op. cit., s. 9

sformułowano, że „najważniejszym partnerem pozaeuropejskim Polski pozostają Stany Zjednoczone Ameryki”.<sup>28</sup> Podkreślono przy tym, że w naszym interesie ważne jest utrzymanie zaangażowania USA w sprawy bezpieczeństwa europejskiego za pośrednictwem NATO, czy też poprzez kontakty dwustronne. Poza tym zauważono, że „relacje Rosji z Zachodem pozostaną ważnym czynnikiem oddziałującym na bezpieczeństwo Polski, regionu i Europy”.<sup>29</sup> W związku z tym, Polska wyraziła gotowość współpracy z Rosją, jak również poparła jej partnerstwo ze strukturami europejskimi. Zaznaczono jednak, że powinno to odbywać się „w oparciu o pełne poszanowanie prawa międzynarodowego, w tym suwerenności i integralności terytorialnej państw, a także swobody wyboru własnej ścieżki rozwoju i sojuszy politycznych i wojskowych”.<sup>30</sup> Podobne konkluzje sformułowano w Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa oraz w sprawozdaniu z jej wdrażania. W dokumentach podkreślono, że w stosunkach Unii Europejskiej z Rosją istotny element stanowi energia. Rosja jest ważnym partnerem w kwestiach globalnych i kluczowym czynnikiem bezpieczeństwa w Europie. Partnerstwo Unii Europejskiej z Rosją „powinno opierać się na poszanowaniu wspólnych wartości, przede wszystkim praw człowieka, demokracji i praworządności oraz zasad gospodarki rynkowej, a także na wspólnych interesach i celach”.<sup>31</sup> Zwrócono uwagę, że w interesie Unii Europejskiej jest rozwijanie partnerstwa wschodniego, ze względu na bezpieczeństwo energetyczne. Ponadto przedstawiono, że „stosunki transatlantyckie mają kapitalne znaczenie (...), a celem Unii Europejskiej powinno być skuteczne i zrównoważone partnerstwo z USA”.<sup>32</sup> Potwierdzono to w sprawozdaniu z 2008 roku stwierdzając, że „dla Europy partnerstwo transatlantyckie pozostaje niezastąpionym fundamentem, opartym na wspólnej historii i odpowiedzialności. Unia Europejska i NATO muszą pogłębiać swoje partnerstwo strategiczne (...)”.<sup>33</sup> W kontekście bezpieczeństwa energetycznego zwrócono uwagę na potrzebę angażowania się w rozwój partnerstwa wschodniego oraz w Unię dla Śródziemnomorza, której jednym z celów są alternatywne źródła energii.

Na zakończenie warto odnieść się do kierunków proponowanych działań w zakresie energetyki, które zostały określone w analizowanych dokumentach. W sprawozdaniu z wdrażania Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa z 2008 roku zauważono, że coraz więcej państw zainteresowanych jest energią jądrową. W związku z tym pożądanym jest „wypracowanie pokojowych zastosowań energii jądrowej”.<sup>34</sup> Podkreślono, że ze względu na uzależnienie energetyczne Europy oraz liczne wyzwania w zakresie bezpieczeństwa, istotne jest wypracowanie polityki energetycznej Unii Europejskiej. Wyrażono także potrzebę „zunifikowania rynku energii o większej łączności wewnętrznej; (...) oraz opracowania metody radzenia sobie z kryzysem w przypadku tymczasowych przerw w dostawach”.<sup>35</sup>

---

<sup>28</sup> Ibidem

<sup>29</sup> Ibidem, s. 21

<sup>30</sup> Ibidem, s. 10

<sup>31</sup> *Utrzymanie bezpieczeństwa w zmieniającym się świecie...*, op. cit., s. 23

<sup>32</sup> *Bezpieczna Europa w lepszym świecie...*, op. cit., s. 42

<sup>33</sup> *Utrzymanie bezpieczeństwa w zmieniającym się świecie...*, op. cit., s. 9

<sup>34</sup> Ibidem, s. 12

<sup>35</sup> Ibidem, s. 14



W dokumencie zasygnalizowano także, że w polityce Unii Europejskiej należy uwzględnić trasy przesyłu przez Turcję i Ukrainę. Istotne jest także, aby w większym stopniu wspólnie z partnerami propagować energię ze źródeł odnawialnych, technologie niskoemisyjne, czy też efektywność energetyczną. W polskiej strategii pojawiło się wiele propozycji, a właściwie kierunków proponowanych działań, w celu zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego państwa. Jako szansę dla Polski wskazano budowę europejskiego rynku energii, zaś w kategoriach wyzwania ukazano „zapewnienie efektywnych warunków instytucjonalnych i prawnych dla poszukiwań i eksploatacji surowców ze złóż niekonwencjonalnych oraz dla rozwoju energetyki jądrowej”.<sup>36</sup> W celu zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego państwa postuluje się uruchomienie wydobycia surowców energetycznych z krajowych złóż niekonwencjonalnych. Poza tym „kluczowa jest liberalizacja rynku energii oraz tworzenie warunków dla realizacji inwestycji w sektorze energetycznym”.<sup>37</sup> Podkreślono także potrzebę integracji systemów energetycznych z państwami członkowskimi Unii Europejskiej, czy też zapewnienie stabilności dostaw. Wśród priorytetów w zakresie bezpieczeństwa energetycznego wymieniono m.in.: uruchomienie przemysłowego wydobycia gazu ziemnego ze złóż niekonwencjonalnych, rozbudowanie sieci przesyłowych oraz budowę regionalnego centrum dystrybucyjno-magazynowego gazu ziemnego na terytorium Polski.<sup>38</sup> Ponadto podkreślono potrzebę rozbudowy terminalu LNG oraz budowę regionalnego rynku gazu przy -wykorzystaniu potencjału Grupy Wyszehradzkiej. Zaproponowano także, aby zwiększyć zainteresowanie rejonem Morza Kaspijskiego w celu importu surowca. W dokumencie wspomniano również o potrzebie wykorzystania energetyki jądrowej, czy też konieczności międzyresortowej koordynacji w zakresie polityki energetycznej. Z kolei w Koncepcji Strategicznej NATO nie określono konkretnych rozwiązań w zakresie omawianej problematyki, ze względu na charakter Sojuszu.

Przeprowadzona analiza treści dokumentów strategicznych umożliwia sformułowanie wniosków w zakresie omawianej problematyki. Energetyka jest bardzo ważnym komponentem bezpieczeństwa międzynarodowego i państwa. Świadczy o tym uwzględnienie bezpieczeństwa energetycznego we wszystkich analizowanych dokumentach, które, co warto podkreślić, mają charakter strategiczny i ogólny. Polska, Unia Europejska, czy też Sojusz Północnoatlantycki, pomimo tego, że mają wspólne, ale także rozbieżne interesy, dostrzegają wagę bezpieczeństwa energetycznego we współczesnym świecie. Wraz ze wzrostem znaczenia energii nasilają się zagrożenia i wyzwania z tym związane. W powyższych koncepcjach, zgodnie zwraca się uwagę na problem uzależnienia energetycznego Europy, który może być wykorzystywany do osiągnięcia celów politycznych przez państwa i podmioty bogate w surowce. To może doprowadzić do destabilizacji struktur europejskich, a nawet konfliktów między państwami. Problematiczną kwestią dla wielu państw pozostaje dywersyfikacja surowców energetycznych i źródeł dostaw. Ponadto, zgodnie podkreślono, że zagrożenia i ryzyka związane z krytyczną infrastrukturą energetyczną zyskują na znaczeniu. To wymusza uwzględnienie w polityce międzynarodowej jej szczególnej ochrony,

<sup>36</sup> *Strategia Bezpieczeństwa Narodowego Rzeczypospolitej Polskiej...*, op. cit., s. 24

<sup>37</sup> *Ibidem*, s. 40

<sup>38</sup> *Ibidem*, s. 54

mając na uwadze chociażby możliwość wystąpienia tzw. wojny hybrydowej. Dla bezpieczeństwa energetycznego Polski i Europy nie bez znaczenia są także uwarunkowania polityczne. Rosja jest graczem, który odgrywa istotną rolę w zakresie energetyki. W związku z tym, Polska, Unia Europejska, czy też NATO muszą współpracować z Rosją, a ich celem powinno być zrównoważone partnerstwo, oparte na poszanowaniu wspólnych wartości. Wydaje się, że we współczesnym świecie, powiązanym różnymi interesami oraz wpływami politycznymi i gospodarczymi, „niemądre” jest marginalizowanie istotnego „gracza” na rynku energii, jakim jest Rosja. Odniesć należy się także do kierunków działań, o których wspomina się w dokumentach strategicznych. Wymienia się tu m.in. potrzebę stworzenia wspólnego, europejskiego rynku energii, rozwoju infrastruktury energetycznej, czy też zintensyfikowania działań na rzecz promowania energii ze źródeł odnawialnych, technologii niskoemisyjnych, czy też zwiększania efektywności energetycznej. Ważną kwestią do rozstrzygnięcia dla społeczności międzynarodowej pozostaje także bezpieczne „zagospodarowanie” energii jądrowej.

Przeprowadzoną analizę można podsumować wnioskiem, że świat ulega dynamicznym przeobrażeniom, w związku z czym polityka państw w zakresie bezpieczeństwa energetycznego powinna być przemyślana i perspektywiczna.

### **Streszczenie**

Energia jest ważnym czynnikiem rozwoju społeczeństwa i państwa. W artykule podjęto próbę odpowiedzi na pytanie: w jaki sposób energetyka ukazywana jest w dokumentach strategicznych z zakresu bezpieczeństwa. W tym celu analizie poddano: Strategię Bezpieczeństwa Narodowego RP z 2014 roku, Koncepcję Strategiczną NATO z 2010 roku, Europejską Strategię Bezpieczeństwa z 2003 roku oraz sprawozdanie z jej wdrażania. W artykule zwrócono uwagę m.in. na zagrożenia i wyzwania, krytyczną infrastrukturę energetyczną, strategiczne działania w analizowanym zakresie oraz relacje międzynarodowe.

**Słowa kluczowe:** zagrożenia, bezpieczeństwo energetyczne, strategia, infrastruktura krytyczna, Rosja

### **Summary**

Energy is an important factor in the development of society and the state. This article attempts to answer the question: how power is manifested in all strategic documents in the field of security. For this purpose analyzed: National Security Strategy of the Republic of Poland of 2014, the Strategic Concept of NATO in 2010, the European Security Strategy of 2003 and the report on its implementation. The article focuses on threats and challenges, critical energy infrastructure, strategic actions in the analyzed area and international relations.

**Key words:** threats, energy security, strategy, critical infrastructure, Russia

### **Bibliografia**

1. *Bezpieczna Europa w lepszym świecie. Europejska Strategia Bezpieczeństwa, 12 grudnia 2003 r.* Luksemburg 2009
2. <http://biznesalert.pl>
3. <http://www.polskieradio.pl>

4. Kitler W., *Bezpieczeństwo narodowe RP. Podstawowe kategorie. Uwarunkowania. System.* Warszawa 2011
5. *Koncepcja strategiczna obrony i bezpieczeństwa członków Organizacji Traktatu Północnoatlantyckiego, przyjęta przez szefów państw i rządów w Lizbonie 20 listopada 2010 roku*, [https://www.bbn.gov.pl/ftp/dok/01/koncepcja\\_strategiczna\\_nato\\_tlumaczenie.pdf](https://www.bbn.gov.pl/ftp/dok/01/koncepcja_strategiczna_nato_tlumaczenie.pdf)
6. *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z 10 listopada 2009 r., Ministerstwo Gospodarki. Warszawa 2009
7. *Strategia Bezpieczeństwa Narodowego Rzeczypospolitej Polskiej 2014.* Warszawa 2014
8. Swół J., *Kryminalistyka dla bezpieczeństwa*, (w:) K. Kraj (red.), *Bezpieczeństwo – zagadnienia*, [www.e-terrorizm.pl](http://www.e-terrorizm.pl)
9. Ustawa z 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz. U., nr 54, poz. 348 z późn. zm., tekst jednolity)
10. *Utrzymanie bezpieczeństwa w zmieniającym się świecie*, sprawozdanie na temat wdrażania Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa poparte przez Radę Europejską 11-12 grudnia 2008. Luksemburg 2009

**Jan ZYCH**

Uniwersytet im. Jan Kochanowskiego w Kielcach

Katedra Bezpieczeństwa Narodowego

**Cezary FÓRMANIAK**

## **ŹRÓDŁA BLACKOUTÓW W POLSCE Z PERSPEKTYWY ZARZĄDZANIA KRYZYSOWEGO**

### **Wprowadzenie w problematykę**

W ramach Krajowego Systemu Elektroenergetycznego ciągle doskonalone są metody identyfikacji zagrożeń dla tego systemu. Przygotowuje się różne plany obrony i odbudowy na wypadek wystąpienia różnego rodzaju awarii systemów elektroenergetycznych. Szczególnym rodzajem awarii rozpatrywanym w artykule jest awaria katastrofalna, określana także w oparciu o powszechnie stosowane zapożyczenie z literatury anglojęzycznej blackout. Pocięcie awaria katastrofalna (blackout) oznacza stan całkowitego zaniku napięcia w systemie elektroenergetycznym.

Według dokumentu „Prognozy zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku”,<sup>1</sup> krajowe zapotrzebowanie na energię elektryczną w Polsce wzrośnie do tego czasu o 30%, ze 152 do 217 TWh,<sup>2</sup> przy czym wzrost ten nastąpi głównie po 2020 roku. Szczegółowo objaśniona w dokumencie metodyka wykonania prognozy uwzględnia wiele czynników wynikających z energochłonności współczesnej gospodarki, nowych technologii stosowanych w produkcji energii, a także umacniającą tendencją do stosowania technologii energooszczędnych, tempo wzrostu PKB i wielu innych. Wątek ten stanowi drugi plan problematyki, którą opisano w tym artykule, nie mniej jednak zapoznanie się z nim jest istotne z punktu widzenia identyfikacji zagrożeń, które mogą doprowadzać do awarii katastrofalnej (blackout-u).

Zapotrzebowanie dzienne na energię elektryczną w Polsce sięga obecnie 25 000 MW (rysunek 1). Przy wzroście zapotrzebowania o wyżej zasygnalizowane 30% dzienne zapotrzebowanie będzie wynosić nawet 33 000 MW. Moc zainstalowana powinna być rezerwowo większa około x 1.5, czyli obecnie jest to 37 000 MW, a w 2030 roku będzie to około 49 000 MW, czyli więcej o 12 000 MW. Do tego czasu, z powodu wycofania z eksploatacji zestarzałych technicznie elektrowni moc ta będzie mniejsza o 16 000 MW.<sup>3</sup> Zatem do 2030 roku koniecznym będzie wyprodukowanie w Polsce dodatkowych 28 000 MW energii elektrycznej (12 000 MW + 16 000 MW = 28 000 MW).

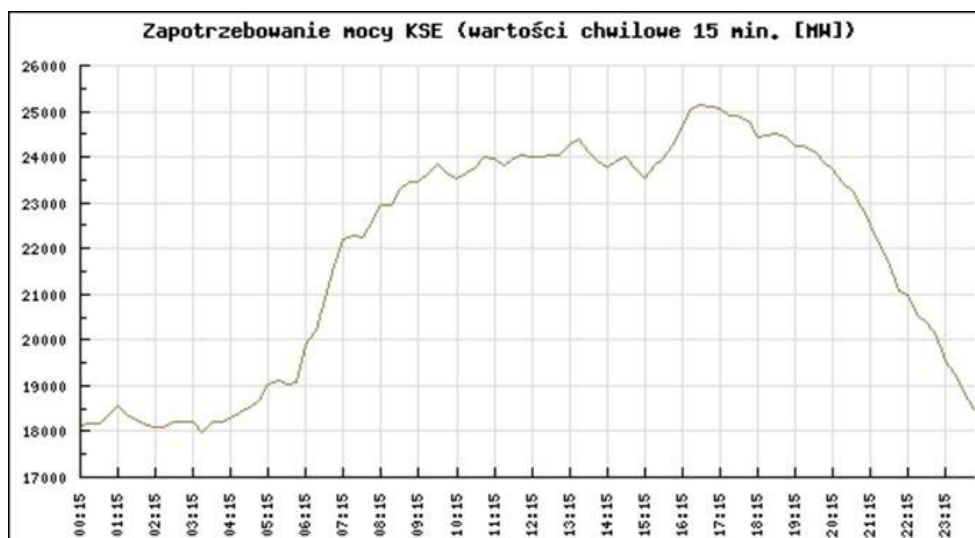
---

<sup>1</sup> Załącznik 2 do „Polityki Energetycznej Polski do 2030 roku”, pt. *Zapotrzebowanie na paliwa i energię do 2030 roku z 2009 roku*. Warszawa 2009

<sup>2</sup> Ibidem, s. 14

<sup>3</sup> Ibidem, s. 9

**Rysunek nr 1:** Zapotrzebowanie dzienne na energię elektryczną w Polsce 5 stycznia 2016 roku

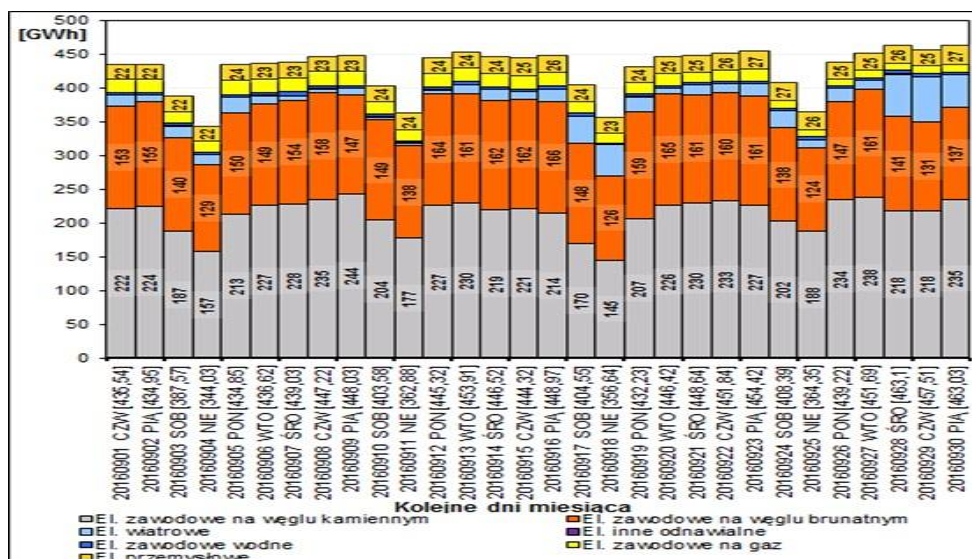


**Źródło:** Polskie Sieci Elektroenergetyczne, [www.pse.pl](http://www.pse.pl) (pobrano 20.10.2016 r.)

Gdyby przeprowadzić symulację wybudowania licznych mikroelektrowni o mocy 1 MW każda dla zabezpieczenia przyszłego zapotrzebowania na energię w Polsce, to należałoby wybudować 28 tys. mikroelektrowni, czyli średnio 1700 instalacji na każde województwo. Dla przykładu, Województwo Pomorskie ma powierzchnię ok. 18 000 km<sup>2</sup>. Zatem, uśredniając, w Województwie Pomorskim powinno powstać 10 mikroelektrowni (np. wiatrowych) na każdy 1 km<sup>2</sup>. Aby wyobrazić sobie skalę przedsięwzięcia, można przeliczyć powierzchnię województwa na boiska do piłki nożnej. Jedno tego typu boisko ma wymiary 71.5 m x 106.5m. Na 1 km<sup>2</sup> zmieszczą się więc 132 boiska, czyli należy wybudować średnio 0.08 mikroelektrowni na 1 boisko, czyli na każde 13 boisk należy wybudować jedną mikroelektrownię, czyli około 10 mikroelektrowni na każdy 1 km<sup>2</sup> powierzchni całego województwa.

Poniższej zaprezentowana analiza pozwala uzmysłowić sobie, że nawet ekstremalnie dynamiczny rozwój energetyki niekonwencjonalnej, opartej na tzw. odnawialnych źródłach energii (OZE), nie rozwiąże problemu rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce. Dochodzą dodatkowe problemy w funkcjonowaniu mikroelektrowni wiatrowych – przecież nie każdego dnia w roku wieje w całej Polsce wiatr. Pojawiają się więc nowe problemy dotyczące magazynowania i dystrybuowania energii. Co więcej, dyskutowany od wielu lat rozwój energetyki jądrowej w Polsce do chwili obecnej pozostawia wiele do życzenia. Nie jest budowana żadna elektrownia jądrowa, a struktura produkcji energii elektrycznej jest oparta w 88% na węglu kamiennym i brunatnym (rysunek nr 2).

**Rysunek nr 2:** Dobowa produkcja energii elektrycznej w elektrowniach krajowych we wrześniu 2016r. Wielkości brutto



**Źródło:** Polskie Sieci Elektroenergetyczne, [www.pse.pl](http://www.pse.pl) (pobrano 20.10.2016 r.)

Według jednego z czołowych krajowych ekspertów ds. energetyki Grzegorza Wiśniewskiego<sup>4</sup> największym problemem jest struktura wytwarzania energii przez Polskę, która obecnie produkuje 88% energii w elektrowniach ciepłych. Z tym wiąże się problem chłodzenia zasobów wodnych, szczególnie w okresie letnim, i dostępu w złych warunkach do zasobów wodnych na terenie Polski, która pod tym względem zajmuje jedno z ostatnich miejsc wśród krajów Unii Europejskiej.<sup>5</sup>

Według innego eksperta ds. energetyki prof. Krzysztofa Żmijewskiego:<sup>6</sup> „(...) infrastruktura energetyczna wymaga szybkiej odbudowy. Obecnie niektóre turbiny mają nawet 50 lat, a okres ich pracy został trzykrotnie przekroczony (...). Najwięcej inwestycji energetycznych – ponad 1000 MW rocznie – oddano do użytku w naszym kraju w latach 1971-75”.<sup>7</sup> Według K. Żmijewskiego, inwestycje energetyczne powinny się rozpocząć w 2011 roku, tymczasem większość inwestycji w energetykę zaplanowanych zostało na lata 2015-2018.

Nie dziwi zatem fakt, że służby zarządzania kryzysowego rozległą awarię zasilania w energię elektryczną, potocznie określaną jako blackout, postrzegają jako realne zagrożenie dla Polski. Odwołując się do ustawy o zarządzaniu

<sup>4</sup> Grzegorz Wiśniewski – prezes Instytutu Energetyki Odnawialnej

<sup>5</sup> <http://wpolityce.pl/polityka/261750-eksperci-alarmuja-w-calej-polsce-moze-zabraknac-pradu-nie-znamy-dnia-ani-godziny-zarty-sie-skonczyly> (pobrano 24.10.2016 r.)

<sup>6</sup> Prof. Krzysztof Żmijewski, ur. W 1949 r., zm. W 2015 r., profesor Politechniki Warszawskiej, w latach 2010-2015 członek Narodowej Rady Rozwoju przy Prezydencie RP, także sekretarz generalny Społecznej Rady Narodowego Programu Redukcji Emisji.

<sup>7</sup> "Ekspert: 70 procent elektrowni i sieci przesyłowych jest przestarzałe", Informacja PAP, z 22.02.2012

kryzysowym,<sup>8</sup> problemy z wytwarzaniem energii elektrycznej mogą spowodować zagrożenie dla bezpieczeństwa energetycznego kraju.<sup>9</sup>

### **Blackout – perspektywa służb zarządzania kryzysowego**

Zarządzanie kryzysowe (rozumiane w sensie normatywnym) to działalność organów administracji publicznej będąca elementem kierowania bezpieczeństwem narodowym, która polega na zapobieganiu sytuacjom kryzysowym, przygotowaniu do przejmowania nad nimi kontroli w drodze zaplanowanych działań, reagowaniu w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowych, usuwaniu ich skutków oraz odtwarzaniu zasobów i infrastruktury krytycznej.<sup>10</sup>

Analitycy zajmujący się problematyką zarządzania kryzysowego aktualnie nie podnoszą kwestii, czy blackout się wydarzy, ale: kiedy się wydarzy? Jaki będzie miał zasięg? Jak długo będzie trwał? Jakie spowoduje negatywne konsekwencje?

W wyniku zaistnienia jednej lub kilku wymienionych przesłanek dochodzi do przekroczenia dopuszczalnych wartości nominalnych parametrów technicznych pracy systemu (np. w sieci występują ponadnormatywne wartości częstotliwości lub napięcia). Prowadzi to następnie do automatycznego odłączenia od sieci jednostek wytwórczych i utraty napięcia na całym obszarze objętym zakłóceniem. Cechą charakterystyczną awarii systemowych jest ich kaskadowość. Niekiedy charakteryzując tę cechę, używa się pojęcia „efekt domina”. Po ustabilizowaniu się sytuacji realizowany jest plan odbudowy systemu. Odbudowa ta w wielu przypadkach może trwać od kilku godzin czy dni, do kilku miesięcy, a nawet lat.

Blackout powoduje wyłączenie wszystkich urządzeń elektrycznych, które nie posiadają awaryjnego zasilania. Gdy zabraknie prądu w sieci, przestaną działać urządzenia elektryczne, systemy oświetleniowe, elektryczne źródła ciepła etc. Dla wielu odbiorców nawet krótko trwający blackout może wywołać ogromne szkody. Jednak gdy przerwa w dostawach prądu trwa przez kilka dni lub nawet kilka tygodni, straty są kolosalne i trudne do oszacowania. Wiele planów radzenia sobie z tego typu awarią jest optymalizowanych w odniesieniu do liczby osób, którą dotkną skutki tego typu awarii. To oznacza, że im mniej osób skojarzonych z daną nitką zasilającą lub obszarem dotkniętym awarią katastrofą, tym niższy priorytet naprawy. Może się więc okazać, że w przypadku konkretnej awarii na większym obszarze, spowodowanej na przykład przez nietypowe warunki pogodowe lub celową działalność destrukcyjną (np. osadzającą się na przewodach szadź, kradzież przewodów, metali kolorowych przez tzw. złomiarzy), wielu odbiorców będzie bez prądu przez tygodnie.

Dość specyficznym przypadkiem wyłączenia zasilania jest tzw. rolling blackout, czyli konsekwentne i planowe wyłączanie na jakiś czas zasilania poszczególnych obiektów, ze względu na brak mocy wytwórczych. Wydaje się jednak, że tego typu zdarzenia możliwe są w odniesieniu do zakładów przemysłowych, a nie odbiorców indywidualnych.

<sup>8</sup> Ustawa z 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym, Dz. U. 2007 Nr 89, poz. 590 z późn. zm.

<sup>9</sup> Bezpieczeństwo energetyczne – to stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywnego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska; na podstawie Ustawy z 10 kwietnia 1997 r. *Prawo energetyczne*, art. 3 §16

<sup>10</sup> Ustawa z 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym, art. 2

Służby zarządzania kryzysowego analizują też kaskadowe wyłączenia prądu, które zdarzają się wtedy, gdy awarii ulegają przeciążone urządzenia wytwórcze. W Polsce odnotowano taki przypadek w czerwcu 2006 roku, gdy kolejne źródła prądu (bloki energetyczne) wyłączały się wskutek przeciążenia. Logiczną konsekwencją awarii jednego źródła jest pojawienie się zbyt wysokich obciążeń na kolejnych, co powoduje kaskadowe wyłączanie zasilania.

Oprócz zdarzeń pogodowych i celowej działalności destrukcyjnej człowieka, będących bezpośrednią przyczyną blackout-u, należy odnotować też przypadki, gdy wyłączenia prądu mogą być spowodowane przez awarie samych bloków energetycznych. Najczęściej są to awarie: kotła, turbiny, generatora, systemów pomocniczych, ale także awarie systemu przesyłowego, np. zerwane linie przesyłowe wysokiego napięcia, lub awarie systemu dystrybucyjnego, gdy uszkodzeniu ulegają linie niskiego napięcia i transformatory.

Jeszcze innym przypadkiem blackout-u są tzw. brownout-y, czyli obniżenie parametrów jakościowych prądu. Pod tym pojęciem należy rozumieć spadek napięcia w sieci, ale także spadek częstotliwości prądu. Spadek napięcia powoduje zmniejszenie poboru prądu w sieci, a w konsekwencji spadek zapotrzebowania na moc, czyli pozwala utrzymać zasilanie w razie przeciążenia sieci. Spadek częstotliwości jest w pewnym zakresie sytuacją normalną, przejściową, która pojawia się w momencie zwiększenia zapotrzebowania na prąd. Zakłada się, że systemy automatycznego sterowania tak zadziałają, że częstotliwość napięcia w sieci elektroenergetycznej powinna wrócić do normy, czyli do poziomu 50 Hz. Obniżenie tego parametru powoduje negatywne skutki: znaczne zmniejszenie mocy elektrycznych źródeł ciepła, takich jak grzejniki elektryczne – ich moc zależy od kwadratu napięcia, a więc spadek napięcia o 1% spowoduje spadek mocy o 2%, a spadek o 10% zmniejszy moc aż o 19%, spadek jasności świecenia żarówek – po pierwsze wskutek zmniejszenia ich mocy i ilości wytwarzanego ciepła, ale także wskutek spadku efektywności świecenia żarnika przy niższej temperaturze, nieregulowane zasilacze prądu stałego będą wytwarzać niższe napięcie, co może powodować awarie zasilanych nim urządzeń.<sup>11</sup>

Eksperti zajmujący się zarządzaniem kryzysowym i zgłębiający problematykę identyfikacji zagrożeń formułują opinie, że każda katastrofalna awaria systemowa typu blackout ma inne przyczyny i inny jest przebieg tego zjawiska, nie mniej jednak wyodrębniono pewien charakterystyczny schemat rozwoju tego typu awarii. Zazwyczaj blackout następuje w wyniku nałożenia się kilku przesłanek natury losowej lub deterministycznej:

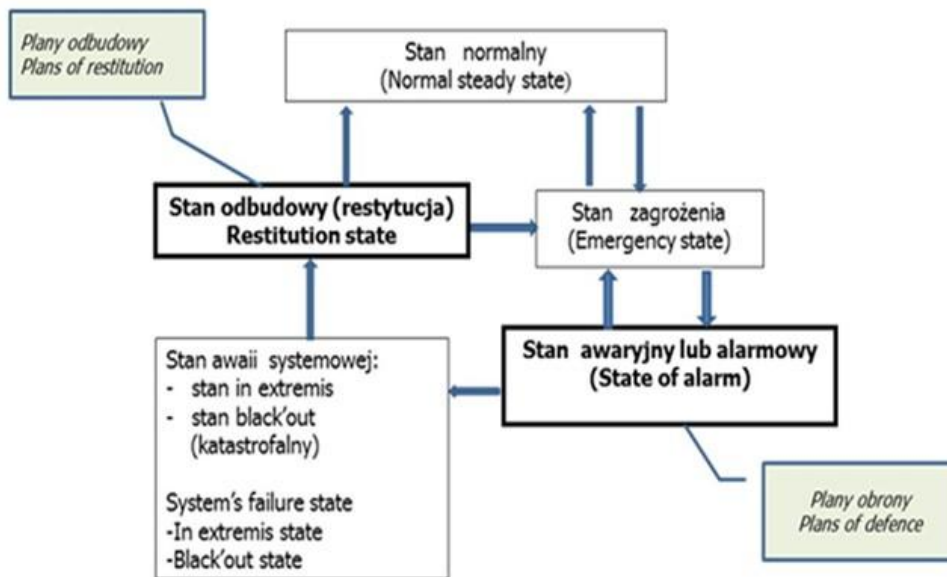
- awarie sieciowe,
- planowe bądź awaryjne wyłączenia bloków elektrowni,
- ekstremalne zjawiska atmosferyczne,
- celowa działalność destrukcyjna.

---

<sup>11</sup> [www.drewnozamiastbenzyny.pl/blackouty-i-brownouty-czyli-rodzaje-awarii-zasilania](http://www.drewnozamiastbenzyny.pl/blackouty-i-brownouty-czyli-rodzaje-awarii-zasilania) (pobrano 18.10.2016 r.), autor: Krzysztof Lis



**Rysunek nr 3:** Możliwe stany pracy systemu elektroenergetycznego



**Źródło:** <http://www.blackout.put.poznan.pl> (pobrano 20.10.2016 r.)

Na rysunku nr 3 pokazano możliwe stany pracy systemu elektroenergetycznego i zależności między tymi stanami. W wielu dyskusjach eksperckich słusznie argumentuje się, że pełna obrona przed blackout-em jest ekonomicznie nieuzasadniona i technicznie niemożliwa bez realizacji ogromnych inwestycji systemowych, których efekt i tak mógłby być wątpliwy.

W opinii służb zarządzania kryzysowego, możliwości oferowane przez operatorów sieci elektroenergetycznych nie są wystarczające, aby poradzić sobie z mocno wygórowanymi potrzebami systemu zarządzania kryzysowego (w przypadkach szczególnych, np. blackout wywołany atakiem terrorystycznym). W Polsce każdy z operatorów Krajowego Systemu Elektroenergetycznego sprzedający energię elektryczną wykorzystuje infrastrukturę, jaką uznał za uzasadnioną z punktu widzenia biznesowego. Tak więc w każdym zdarzeniu kryzysowym obsługiwanym przez Krajowy System Elektroenergetyczny zazwyczaj występuje oczywisty konflikt pomiędzy oczekiwaniami służb zarządzania kryzysowego a operatorem. Oczywiście ten dylemat wymaga rozstrzygnięcia, czy konstruktorzy i dostawcy energii elektrycznej mają wprowadzać mocno redundantne (nadmiarowe) rozwiązania czy tylko jako potencjalną opcję dodatkową (płatną extra dla administrujących infrastrukturą krytyczną), czy też zmiany powinni wprowadzać, nawet gdyby wiązały się z dodatkowymi inwestycjami uznawanymi za konieczne, a generujące zyski dopiero w odległym horyzoncie czasowym. Problem na dziś pozornie jest nieusuwalny, gdyż Krajowy System Elektroenergetyczny jest zestawiany i optymalizowany dla potrzeb i specyfiki użytkowników średnio obciążających ten system. Jest to tzw. „efekt Excela” – żyjemy w gospodarce konkurencyjnej, zatem takie rozwiązania generują największe zyski dla operatorów, a potrzeby i oczekiwania służb zarządzania

kryzysowego, szczególnie w fazie reagowania, są skrajnie inne, niż te stawiane standardowym systemom elektroenergetycznym.

Uzasadnionym wydaje się rozważenie i implementacja redundantnych systemów elektroenergetycznych zorientowanych na obiekty szczególnie ważne dla bezpieczeństwa i obiekty infrastruktury krytycznej. Jednak wśród ekspertów zajmujących się tą problematyką najpowszechniejsze są opinie, że lepiej skupić się na minimalizacji skutków blackout-ów, stosując lepszy monitoring, automatyki zabezpieczeniowe i systemowe oraz lepsze sterowanie i doskonalenie techniki odbudowy poawaryjnej (plany odbudowy).<sup>12</sup> W opinii autorów artykułu, ważne jest też proponowanie nowych, niestandardowych, bardziej wyrafinowanych niż dotychczasowe metod identyfikacji zagrożeń mogących doprowadzać do blackout-u.

W kolejnych częściach artykułu przedstawiono hipotetyczne scenariusze mogące doprowadzić do awarii katastrofalnej systemu elektroenergetycznego.

### **Metody projektowe w identyfikacji przyczyn blackout-u**

Nie sposób szczegółowo omówić wszystkie przypadki, które spowodowałyby blackout. Do głównych, najczęściej występujących przyczyn blackout-u zalicza się: ekstremalne warunki atmosferyczne, na przykład intensywne i długotrwałe opady śniegu, ekstremalne upały, silne wiatry. Poza zjawiskami atmosferycznymi negatywne skutki w dostawie energii elektrycznej, a nawet blackout może powodować zły stan techniczny linii energetycznych, systemów energetycznych, jak również deficyt energii oraz celowe, destrukcyjne działanie człowieka, np. poprzez przeprowadzenie ataku terrorystycznego.

Oba prezentowane scenariusze odwołują się do prawdziwych wydarzeń, które niedawno miały miejsce w Polsce (2008 i 2013 rok).

Pierwszy scenariusz, ukazujący techniczne przyczyny wystąpienia blackout-u, odwołuje się do zdarzenia, które miało miejsce w Szczecinie w 2008 roku. Chodzi o ekstremalnie duże opady śniegu, które spowodowały awarię systemów energetycznych. Kanwą tego scenariusza jest publikacja prof. dr. hab. inż. Gerharda Bartodzieja i dr. inż. Michała Tomaszewskiego z Politechniki Opolskiej.

Drugi scenariusz dotyczy pozatechnicznych aspektów identyfikacji przyczyn blackout-u, a konkretnie działania grupy z organizacji proekologicznej, ingerującej w stabilne działanie systemu elektroenergetycznego. Chodzi o Elektrownię Turów.

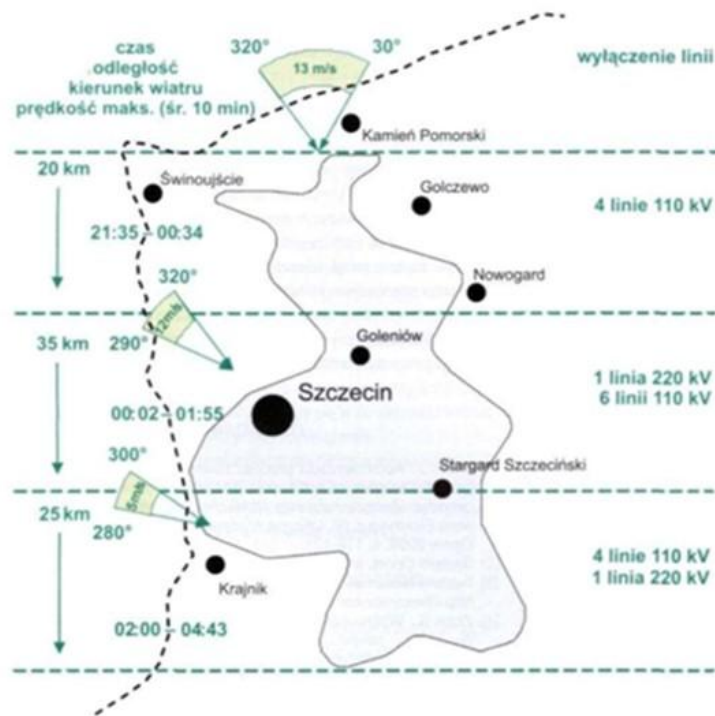
### **Scenariusz 1**

Awarię systemu elektroenergetycznego w rejonie aglomeracji szczecińskiej spowodowały ekstremalne opady, w szczególnych warunkach powodujące osadzanie się mokrego śniegu na przewodach linii i innych elementach. Takie zjawiska występują w Polsce na ograniczonym obszarze, kilkudziesięciu – kilkuset km<sup>2</sup>. Wartość strat bezpośrednich (zniszczona infrastruktura) i pośrednich (wskutek niedostarczonej energii) zależy od charakteru obszaru dotkniętego tym zjawiskiem. W przypadku aglomeracji szczecińskiej zjawisko dotknęło obszar, na którym występuje intensywna gospodarka. Na rysunku nr 4 przedstawiono obszar występowania największych uszkodzeń sieci.

---

<sup>12</sup> Ibidem

**Rysunek nr 4:** Strefy przestrzenno-czasowe podczas blackout-u w Szczecinie



**Źródło:** <http://www.blackout.put.poznan.pl> (pobrano 20.10.2016 r.)

Obszar występowania awarii podzielono na trzy strefy przestrzenno-czasowe, uwzględniając kolejność wyłączenia linii oraz zakres zmienności kierunków wiatru. Analiza czasu występowania wyłączeń poszczególnych linii doprowadziła do wniosku, że miejsca awarii linii były ściśle zależne od kierunku wiatru i przesuwały się w pierwszej strefie z północy na południe. W II i III strefie, wskutek zmiany kierunku wiatru, miejsca awarii przesuwały się w kierunku południowo-wschodnim. Prędkości przesuwania się miejsc uszkodzeń były zbliżone do występującej prędkości wiatru. Wychodząc z założenia, że katastrofy podobne do szczecińskiej mogą zdarzyć się w innych rejonach kraju, choćby wskutek zmian dynamiki różnych zjawisk atmosferycznych oddziałujących na linie elektroenergetyczne, należy dostrzec potrzebę wykorzystania doświadczeń krajów, które były wielokrotnie dotykane podobnymi zjawiskami. W wielu rejonach świata doszło do rozległych uszkodzeń sieci przesyłowych i pozbawienia zasilania znacznych obszarów w dłuższym okresie, liczonym w dniach.

Celowe jest odniesienie się w tym miejscu do działań podejmowanych przez zagranicznych operatorów sieci przesyłowych, w tym w szczególności Niemiec i Francji, w związku z wystąpieniem dużych awarii systemu elektroenergetycznego spowodowanych ekstremalnymi zjawiskami atmosferycznymi. Zjawiska zniszczenia linii napowietrznych wskutek obciążenia śniegiem, szadzią lub lodem

są znane od dawna. Francuskie opisy oddziaływania śniegu, szadzi lub lodu na linie napowietrzne sięgają już 1934 roku, a sama fizyka zjawiska była opisana już w 1902 roku. Intensywne badania teoretyczne, laboratoryjne, a także poligonowe były prowadzone w latach 1982-1989 przez Dyрекcję Studiów i Badań EDF we współpracy z badaczami z Japonii i Kanady. Opracowano podstawy teoretyczne dla modelowania zjawisk, przewidywania ich występowania oraz sposoby pasywnego i aktywnego ograniczania skutków oddziaływania na linie napowietrzne, a także wymagania i procedury dopuszczania do stosowania różnych elementów linii napowietrznych. W latach 1988-2001 zbierano w EDF doświadczenia ze stosowania opracowanych metod i procedur. W 2002 roku dokonano zmian organizacyjnych i metodycznych systemu zarządzania ryzykiem GERIKO, obejmującym również zagrożenie linii napowietrznych analizowanymi zjawiskami. System ten pozwala również na przewidywanie skutków określonych zjawisk atmosferycznych. W październiku 2006 roku ukazała się monografia trzech autorów, pracowników EDF: P. P. Admirata, B. Dalie i J. L. Lapeyre, zawierająca syntezę prac teoretycznych, badań laboratoryjnych, doświadczeń poligonowych oraz obserwacji zdarzeń związanych z osadzaniem śniegu, szadzi i lodu na konstrukcjach linii napowietrznych. W ciągu ostatnich dziesięcioleci opracowano i wdrożono we Francji oprogramowanie CARTO-Neige i CARTO-Civre, umożliwiające rejestrację i przewidywanie obszarów linii zagrożonych opadami śniegu i szadzi. Bazy danych wytworzone przy pomocy wspomnianych aplikacji pozwoliły na wyznaczenie parametrów obciążeń i podzielenie terytorium państwa na 4 strefy, wg wyznaczonych obciążeń maksymalnych. Baza danych o obciążeniach linii prowadzona przez EDF obejmuje 5 grup zjawisk: śnieg klejący, szadz, ekstremalne dobowe opady deszczu, maksymalną chwilową prędkość wiatru, liczbę uderzeń pioruna. Zbudowano system GERIKO pozwalający na wyliczenie wartości ryzyka dobowego wymienionych zjawisk dla każdej strefy. System ten umożliwia wyznaczenie, z wyprzedzeniem 24-godzinnym, miejsca występowania zagrożenia na dwóch poziomach: ostrzeżenia i alarmu wraz z przewidywanymi parametrami oczekiwanego zdarzenia. Istotne jest dobre współdziałanie OSP i OSD oraz operatorów lokalnych źródeł energii (elektrociepłownie, generacja rozproszona). Zwiększenie odporności linii elektroenergetycznych na ekstremalne zdarzenia może być osiągnięte w procesie projektowania nowych linii, a także poprzez dostosowania niektórych istniejących linii do zwiększonych wymagań. Zakres ewentualnych modyfikacji musi wynikać z poszczególnych analiz techniczno-ekonomicznych dla rejonów szczególnie zagrożonych. Koszt działań prewencyjnych musi być w skali kraju i regionu niższy niż koszty prawdopodobnych awarii, przy obliczeniach obejmujących cykl życia linii i innych urządzeń sieciowych, a także uwzględniających reguły rynkowe.<sup>13</sup> W stosunku do omawianego scenariusza autorzy odwołują się do działania zarządzania kryzysowego, które zostało w sposób skrupulatny przedstawione w prezentacji prezydenta Szczecina Piotra Krzystka.<sup>14</sup> Zapoznanie się

<sup>13</sup> Blackout w rejonie Szczecina. Uwagi i wnioski prof. dr. hab. inż. Gerharda Bartodzieja, dra inż. Michała Tomaszewskiego – Politechnika Opolska „Energetyka” 2008

<sup>14</sup> Strona internetowa [www.proinwestycje.pl](http://www.proinwestycje.pl) (pobrano 18.10.2016 r.)

z przebiegiem działań i problemów, z jakim zmierzyła się grupa zarządzania kryzysowego, pozwoli na poznanie procedury działania, a tym samym naukę na bazie doświadczenia innych, jak również pozwoli na zredukowanie błędów i poprawienie elementów, które z perspektywy czasu i efektów stanowiły niedociągnięcia w zakresie zaplanowanych działań.

### **Scenariusz 2**

Polskie elektrownie są przestarzałe i emitują wiele szkodliwych związków. Jedna trzecia bloków energetycznych ma już ponad 40 lat, o czym wspomniano na początku artykułu. Stwarza to ogromne niebezpieczeństwo zarówno dla systemu energetycznego kraju, jak i pracowników elektrowni. Przestarzałe technologie nie spełniają standardów ekologicznych, w związku z czym, przyjdzie naszemu państwu płacić ogromne sumy na zakup limitów emisji CO<sub>2</sub> i kary za emisję SO<sub>2</sub>. Przez te limity, i tak droga już energia zdrożeje jeszcze bardziej. Odbije się to na kieszeni zarówno polskich przedsiębiorców, jak i zwykłych obywateli. To z kolei może powodować niepokoje społeczne wprost przekładające się na źródła powstawania blackout-u.

Společna przyczyna blackout-u może tkwić także w prognozach wyczerpania się zasobów węgla w polskich złożach. Według optymistycznych prognoz złóż może wystarczyć nam nawet na około 100 lat. Jednak będzie to węgiel położony głęboko, w trudno dostępnych miejscach, a więc dużo droższy od tego, który wydobywamy aktualnie. Szacuje się, że zapasy węgla kamiennego, który można jeszcze stosunkowo łatwo wydobywać, skończą się za około 30-40 lat, zatem dalsze wydobywanie tego surowca będzie po prostu nieopłacalne.

Trudności wydobywania węgla w kontekście finansowym to tylko jedna z wielu odsłon problemu kończących się zasobów. Czynnikiem społeczny/ludzki będzie prawdopodobnie tym, który najszybciej pojawi się wśród powodów ograniczenia wydobywania węgla kamiennego w Polsce. Praca ludzi w kopalni głębinowej, ze względu na temperaturę otoczenia na głębokościach znacznie ponad 1 km sięgającą ponad 50°C, będzie po prostu niemożliwa. Jest to perspektywa najbliższych 20. lat. Poza tym, wpływ czynnika ludzkiego będzie widoczny także w odniesieniu do kopalni typu odkrywkowego. Na terenach, gdzie mogłyby powstać kolejne kopalnie odkrywkowe (rysunki nr 5 i 6), dzisiaj mieszkają i gospodarują ludzie. Nie należy się spodziewać przyzwolenia społeczności lokalnych na rezygnację z miejsca zamieszkania lub z gospodarstw rolnych czy też zrezygnowania z kultywowania tradycji w swoich mikroregionach.

Brak zgody na eksploatację złóż będzie dodatkowo podsycany przez organizacje proekologiczne, które wystąpią w roli obrońców fauny lub flory. Przywołać można tutaj przykład Doliny Rospudy na Mazurach, gdzie zaprojektowano oraz rozpoczęto budowę w 2007 roku trasy przechodzącej przez obszary Natura 2000 i przez Dolinę Rospudy, co spowodowało bardzo intensywne protesty organizacji proekologicznych. W opozycji do nich stanęli zwolennicy budowy – mieszkańcy Augustowa, którzy od wielu lat borykali się z problemem dużego natężenia (przez całą dobę) drogowego transportu biegnącego przez miasto. Wygrali wtedy zwolennicy ochrony przyrody i to skutkowało przeplanowaniem oraz zbudowaniem trasy o innym przebiegu.

Rysunek nr 5: Złoże węgla brunatnego w Polsce



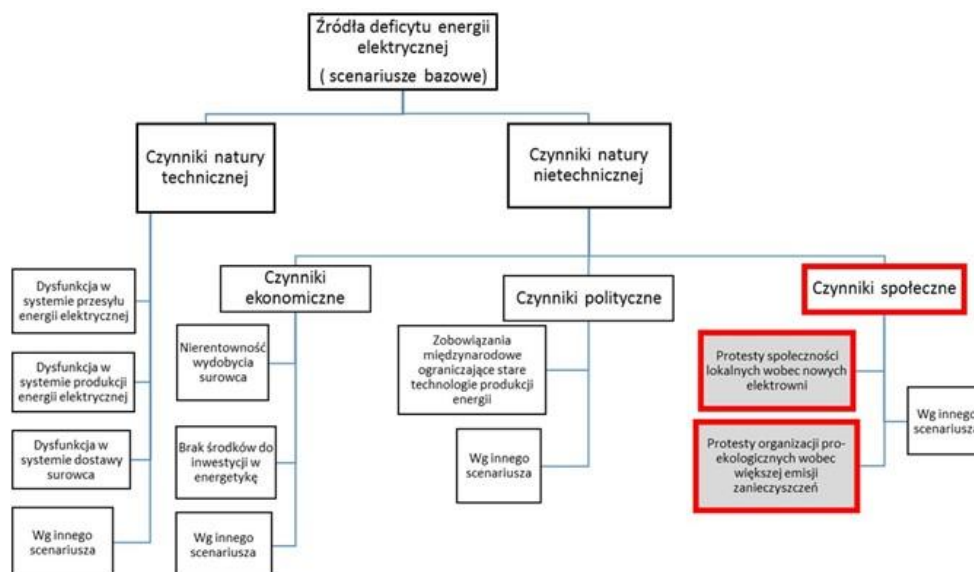
Źródło: <http://www.eko.org.pl> (pobrano 2.11.2016 r.)

Rysunek nr 6: Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce

Region	Liczba złóż	Zasoby udokumentowane mln Mg
G – Bełchatowski	8	2440,4
E – Koniński	58	1050,4
C – Legnicki	13	14534,6
F – Łódzki	6	773,9
B – Północno-Zachodni	5	941,3
H – Radomski	5	95,4
A – Zachodni	62	6122,3
D – Wielkopolski	21	14225,3
Złoże poza regionami	12	40,7
<b>Ogółem</b>	<b>190</b>	<b>40161,2</b>

Źródło: M. Gientko, A. Malon, S. Tymiński (red.), *Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce*, stan na 31.12.2007. Warszawa 2008, <http://www.eko.org.pl> (pobrano 2.11.2016 r.)

Rysunek nr 7: Diagram źródeł deficytu energii



Źródło: Opracowanie własne

Szczegółowe scenariusze dla blackout-u, którego źródłem mogą być czynniki społeczne, można budować w oparciu o metody projektowe. Scenariusze bazowe dla tego typu zdarzeń umiejscowiono, wśród innych, na diagramie źródeł deficytu energii (rysunek nr 7). Projektowanie scenariuszy blackout-u dla przyczyn natury społecznej/ludzkiej może wydawać się pozornie odległe od problemu blackout-u, jednak tutaj właśnie zaprezentowano wybrane elementy metody projektowej zastosowanej do wykreowania scenariusza prowadzącego do blackout-u w elektrowni Turów na podstawie faktycznych wydarzeń z 2013 roku.<sup>15</sup>

Zaprezentowaną metodę wypracowano w toku badań własnych nad projektowym podejściem identyfikacji nowych przyszłych zagrożeń, w których to zastosowano mechanizmy uczenia się z doświadczeń (ang. *lessons-learned*) oraz mechanizmy metod badań nad przyszłością (ang. *foresight*).<sup>16</sup> Punktem wyjścia do budowy scenariusza było sprowadzenie ww. zdarzenia do postaci sytuacji konfliktowej, w której jest dwu adwersarzy: Elektrownia Turów – jako obrońca oraz Greenpeace – jako destruktor.

<sup>15</sup> Greenpeace kontra pge. aktywiści na kominie w elektrowni turów, <http://www.polskieradio.pl/42/273/artykul/868557.greenpeace-kontra-pge-aktywisci-na-kominie-w-elektrowni-turow> (pobrano 30.10.2016 r.)

<sup>16</sup> C. Fórmaniak, *Projektowe metody identyfikacji zagrożeń na przykładzie portu morskiego (w:) Oblicza bezpieczeństwa narodowego – wybrane aspekty bezpieczeństwa ekonomicznego, społecznego i militarnego* nr 2 (2015). Gdynia 2016

## **Zgrywalizowanie scenariusza 2**

### **1. Syntetyczny opis zdarzenia z 2013 roku**

Członkowie organizacji Greenpeace weszli na chłodnię kominową Elektrowni Turów w Bogatyni. Celem było wyrażenie sprzeciwu wobec współspalania biomasy i postrzegania tego procesu jako ekologiczny. Elektrownie wykorzystujące wspomniany proces uzyskują certyfikaty świadczące o tym, że produkują energię elektryczną z Odnawialnych Źródeł Energii, co jest dofinansowywane. Jednak ekolodzy twierdzili, że nie ma to nic wspólnego z tzw. zieloną energią. Protest został zakończony po uzyskaniu obietnicy zmian w polskim prawie, mówiących o odnawialnych źródłach energii.

### **2. Charakterystyka stron sytuacji konfliktowej – obrońca**

Jedną ze stron sporu były władze krajowe, jednak w bezpośrednim konflikcie brała udział Elektrownia Turów. Realizowała ona współspalanie biomasy z węglem i otrzymywała na tej podstawie certyfikaty korzystania z Odnawialnych Źródeł Energii. Celem działań Elektrowni było wytwarzanie energii w optymalny sposób (z punktu widzenia kosztów, ochrony środowiska itd.), a nie niszczenie środowiska.

Drugą stroną konfliktu była organizacja Greenpeace. Można ją uznać za destruktora, gdyż podejmowała radykalne kroki w celu wyrażenia niepopartego dowodami sprzeciwu. Działania podejmowane przez organizację niosły za sobą niebezpieczeństwo i były sprzeczne z prawem.

### **3. Projektowanie zagrożeń z perspektywy obrońcy**

Z perspektywy obrońcy wyspecyfikowano 3 zagrożenia (Z1, Z2, Z3) na podstawie doświadczenia wyniesionego z zajęcia kominu Elektrowni Turów przez Geenpeace:

- Z1: Zajęcie chłodni kominowej: ponowne wejście członków organizacji Greenpeace na chłodnię kominową Elektrowni Turów.
- Z2: Rozszerzenie obszaru objętego protestem: przeprowadzenie demonstracji przez organizacje ekologiczne w innych miejscach lub w ich pobliżu, takich jak: sejm, Ministerstwo Środowiska itp.
- Z3: Wzmoczenie protestu: doprowadzenie do zatrzymania pracy Elektrowni Turów w wyniku długotrwałego i wzmożonego protestu członków organizacji Greenpeace i innych.

Dla każdego zaprojektowanego zagrożenia wykonano analizę wielokryterialną za pomocą autorskiego narzędzia analitycznego (rysunek nr 8).

### **4. Scenariusze ataku**

Dla każdego konkretnego zagrożenia (Z1, Z2, Z3) zaprojektowano scenariusze (SCE1, SCE2, SCE3) możliwe do realizacji z perspektywy destruktora.

#### **a) SCE1 dla Z1**

W związku z tym, że wejście na chłodnię kominową członków organizacji Greenpeace już raz się zdarzyło, niewykluczone, że sytuacja może się powtórzyć. Mimo patroli aktywiści Greenpeace sforsowali ogrodzenie otaczające elektrownię i dostali się pod chłodnię. Następnie za pomocą sprzętu alpinistycznego wspięli się na obiekt i okupowali górną część tego obiektu. W zależności od długości protestu oraz jego nasilenia elektrownia ponosi straty. Wybrana forma protestu niesie za sobą także niebezpieczeństwo wypadku.

#### **SCE2 dla Z2**

Mając na względzie, że informacje rozprzestrzeniają się w przestrzeni publicznej coraz szybciej oraz dostęp do nich staje się łatwiejszy (Internet,



telewizja), wiadomość o proteście w krótkim czasie dostała się do wielu odbiorców. Może to spowodować wzrost zainteresowania opinii publicznej zagadnieniem współspalania biomasy, a co za tym idzie, zwiększenie liczby zwolenników stanowiska Greenpeace. W wyniku tego więcej osób zacznie sprzeciwiać się współspalaniu biomasy, co może doprowadzić do powstania fali protestów nie tylko w pobliżu elektrowni, ale również w innych miejscach kraju (szczególnie w stolicy, np. w okolicy sejmu, Ministerstwa Środowiska). Może to doprowadzić do zmian w prawie i wymuszenia na Elektrowni Turów zaprzestania produkcji energii wspomnianą metodą.

**Rysunek nr 8:** Skan arkusza używanego do analizy wielokryterialnej (fragment dla zagrożenia Z1)

Rodzaj zagrożenia wg kryterium rodzajowego		Zajęcie chłodni kominowej
<b>Kryterium obiektywizmu:</b> mówi o tym, czy bez względu na zdanie ludzi w jakiejś sprawie zagrożenie (obiektywne), czy też nie (subiektywne).		
obiektywne	subiektywne	Opis zagrożenia zgodnie z kryterium: zagrożenie jest subiektywne.
0	1	Uzasadnienie: zagrożenie nie istniałoby, gdyby ludzie aktywnie współspalali biomasy z węglem i uważali je za działania ekologiczne.
<b>Kryterium źródła:</b> mówi o przyczynach wystąpienia zagrożenia.		
zewnętrzne	wewnętrzne	Opis zagrożenia zgodnie z kryterium: jest to zagrożenie zewnętrzne.
1	0	Uzasadnienie: czynnik wywołujący zagrożenie jest pochodzenia zewnętrznego, inicjatorem zdarzenia nie jest Elektrownia Turów.
<b>Kryterium bezpośredniości:</b> określa, czy zdarzenie miało już miejsce, czy jest prognozowane.		
konkretne	abstrakcyjne	Opis zagrożenia zgodnie z kryterium: zagrożenie jest konkretne.
1	0	Uzasadnienie: zdarzenie ze scenariusza miało już miejsce w okolicy elektrowni.
<b>Kryterium aktywności:</b> określa, czy zdarzenie stanowi zagrożenie dla ogółu ludności.		
Potencjalne (bierne)	Aktywne (czynne)	Opis zagrożenia zgodnie z kryterium: zagrożenie jest potencjalne (bierne).
1	0	Uzasadnienie: wejście aktywistów na chłodnię kominową nie stanowi zagrożenia dla ludności mieszkającej w pobliżu zakładu.
<b>Kryterium zrównoważenia (równowagi):</b> mówi o tym, czy zdarzenie jest w stanie zaburzyć równowagę systemu (dynamiczne), czy też nie (statyczne).		
statyczne	dynamiczne	Opis zagrożenia zgodnie z kryterium: zagrożenie jest statyczne.
1	0	Uzasadnienie: jest duże prawdopodobieństwo szybkiego zażegnania bez negatywnych skutków dla działania systemu.
<b>Kryterium celu:</b> mówi o ilości zagrożonych osób i obiektów.		
indywidualne	grupowe	Opis zagrożenia zgodnie z kryterium: zagrożenie jest indywidualne.
1	0	Uzasadnienie: prawdopodobieństwo zatrzymania pracy elektrowni jest niewielkie, dotyczy jednego obiektu.

**Źródło:** Narzędzie własne, opracowane na podstawie L.F. Korzeniowski, *Podstawy nauk o bezpieczeństwie*. Warszawa 2012

**b) SCE3 dla Z3**

Członkowie Greenpeace oraz inni przeciwnicy współspalania biomasy mogą powrócić w okolice Elektrowni Turów i rozpocząć kolejny protest. Weźmie w nim udział więcej osób niż w pierwszym, w związku z czym będzie on miał wzmoczoną siłę. Może polegać na przeprowadzaniu demonstracji z transparentami, zbudowaniu „miasteczka namiotowego”, co sprowadzi media w okolice elektrowni i doprowadzi do nagłośnienia sprawy nawet na skalę międzynarodową. W związku z tak dużym natężeniem manifestacji możliwe jest wystąpienie utrudnień w pracy elektrowni i zmniejszenia jej wydajności, a nawet zatrzymanie procesu produkcji energii.

**5. Strategia ochrony obiektu**

Zdiagnozowano i przeanalizowano możliwości ochrony elektrowni wynikające z potencjału systemu ochrony. Na tej podstawie zaprojektowano strategię ochrony elektrowni.

Proces produkcyjny chroniony jest przez automatyczne systemy, które nim sterują. Również pracownicy dbają o jego sprawny przebieg. Aby zapobiec niekontrolowanemu wtargnięciu nieupoważnionych osób na teren zakładu, jest on ogrodzony i monitorowany. Ponadto jest strzeżony przez firmę ochrony (służby SUFO). Elektrownia jest również zaopatrzona w inne systemy zabezpieczeń. Elektrownia posiada pierścienie ochronne, które zmniejszają ryzyko niepożądanego zatrzymania jej pracy. W obrębie każdego z nich znajdują się określone systemy zabezpieczeń, dzięki którym ochrona pracy elektrowni jest bardziej wydajna i mniej zawodna. Zaczynając od zewnętrznej warstwy, zabezpieczenie stanowi ogrodzenie z systemem monitoringu, które zapobiega wejściu niepożądanych osób na teren elektrowni. Wyróżniamy tam także strzeżone przez strażników punkty wejścia i wyjścia. Ponadto teren elektrowni oraz jej najbliższe sąsiedztwo są oświetlone. Pracownicy elektrowni posiadają identyfikatory, które są weryfikowane. W celu uzyskania dostępu do sterowni, dokumentów oraz ważnych danych muszą oni podawać hasła. Rdzeń systemu ochrony stanowi bezpieczny system sterowania realizowany za pomocą systemów automatycznych, które zapewniają skoordynowany i uporządkowany proces produkcji energii. W jego skład wchodzi czujniki, sterowniki programowalne (stanowiące część logiczną) oraz człony wykonawcze. Proces jest również kontrolowany przez przeszkolonych pracowników. Wszystko to wpływa na sprawność przebiegu procesu produkcyjnego i zapobiega odchyleniom od normy.

Priorytetem jest zapewnienie ciągłości procesu produkcyjnego, co wpływa bezpośrednio na zysk elektrowni. Mocną stroną jej ochrony jest stosowanie pierścieni zabezpieczeniowo-ochronnych. Działają one w strukturze szeregowej, co oznacza, że aby spowodować zachwianie równowagi procesu produkcyjnego, należy przedostać się przez każdy z nich. Jednak słabym punktem takiego podejścia jest to, że każdy z pierścieni musi być całkowicie szczelny, aby spełniać swoją funkcję.

W odniesieniu do każdego z zaprojektowanych zagrożeń (Z1, Z2, Z3) dokonano szacowania efektywności strategii ochrony, metodą ekspercką. Operowano wartościami liczb całkowitych w przedziale od -100 do 100, gdzie wartość -100 oznacza całkowitą nieskuteczność strategii, a wartość 100 oznacza całkowitą skuteczność strategii ochrony względem danego zagrożenia (rysunek nr 9).

**Rysunek nr 9:** Fragment arkusza do szacowania efektywności strategii ochrony

<b>Szacowana Efektywność strategii ochrony (S) względem Z1</b>	Skuteczność strategii: 100 Scenariusz Z1 miał już miejsce. Zdarzenie to pokazało, że przy tej wielkości protestu możliwe jest złamanie zewnętrznej warstwy systemu ochrony, ale nie uszkodzenie instalacji procesowej. Proces produkcyjny nie został bowiem nawet w najmniejszym stopniu zachwiany, gdyż protestującym nie udało się przebić przez kolejne stopnie zabezpieczeń
<b>Szacowana Efektywność strategii ochrony (S) względem Z2</b>	Skuteczność strategii: -100 Zabezpieczenia znajdujące się na terenie elektrowni nie chronią przed protestami w innych miejscach niż teren zakładu oraz zmianami w prawie (które pociągają za sobą nakaz zmian w procesie produkcyjnym, jak też w instalacji procesowej)
<b>Szacowana Efektywność strategii ochrony (S) względem Z3</b>	Skuteczność strategii: 30 W tym scenariuszu istnieje duże prawdopodobieństwo złamania większości zabezpieczeń ze względu na wzmożoną siłę protestu (więcej protestujących, dłuższy czas trwania protestu). Może doprowadzić to nawet do zatrzymania pracy instalacji procesowej i ogromnych strat dla elektrowni

**Źródło:** Opracowanie własne

**Rysunek nr 10:** Postać macierzowa gry dla zaprojektowanych scenariuszy ataku na Elektrownię Turów

<b>Scenariusze ataku</b>	<b>SCE1</b>	<b>SCE2</b>	<b>SCE3</b>
<b>Strategie ochrony</b>			
S względem KO1	100	-100	30
S względem KO2	100	-100	70
S względem KO3	-60	100	-80

**Źródło:** Opracowanie własne

Zaprezentowano wyżej fragment procedury badawczej, w którym ukazano możliwości projektowania scenariuszy zagrożeń oraz szacowania skuteczności ochrony dla zaprojektowanego zagrożenia na przykładzie zagrożenia natury społecznej w Elektrowni Turów. Wypracowana w toku badań metoda scenariuszowa sprowadza sytuację konfliktową do specyficznej postaci gry, gdzie wykorzystano mechanizmy teorii gier, takie jak kryteria growe czy postać macierzowa gry dwuosobowej. Efektem końcowym zastosowania tych

mechanizmów dla zaprezentowanego scenariusza byłaby następująca gra w postaci macierzowej. Wartości liczbowe (100, -100, 30) dla prezentowanego wyżej fragmentu szacowania efektywności znajdują się w wierszu pierwszym (rysunek nr 10).

Stosując podejście projektowe, uzyskuje się nowe możliwości diagnozowania zagrożeń dla elektrowni (w omawianym przykładzie może to być scenariusz SCE3), gdzie przyczyny natury społecznej mogą doprowadzić do skutku w postaci blackout-u. Należy zaznaczyć, że w omawianym przypadku określono niewielką liczbę zagrożeń i scenariuszy. Ocenę efektywności strategii growych można w dalszym postępowaniu wykonać za pomocą kryteriów opracowanych przez Walda, Savage'a, Hurwicza, Szaniawskiego, Laplace'a.<sup>17</sup>

### **Wnioski, rekomendacje**

Blackout to wciąż ogromne wyzwanie dla państwa i służb odpowiedzialnych za zapewnienie bezpieczeństwa obywatelom. Źródła tego zagrożenia są wielorakie, np.:

- niewystarczający potencjał produkcji energii elektrycznej,
- niewystarczający dostęp do źródeł energii,
- różnego rodzaju dysfunkcje w funkcjonowaniu elektrowni,
- dysfunkcje systemu przesyłowego energii,
- zjawiska pozatechniczne (gospodarczo-ekonomiczne, polityczne, społeczne/ludzkie).

Jednym z pomysłów na zmniejszenie stopnia zagrożenia deficytem energii elektrycznej jest zwrot w kierunku energii odnawialnej lub budowa elektrowni jądrowych. Zarówno jedno, jak i drugie rozwiązanie posiada wielu zwolenników, jak i przeciwników. Rozwój energetyki z odnawialnych źródeł energii obecnie nie jest w stanie nadążyć za rosnącym zapotrzebowaniem na energię (co wykazano na przykładzie symulacji rozwoju mikroelektrowni na obszarze wybranego województwa). Również zbudowanie i uruchomienie w Polsce elektrowni jądrowej wydaje się odległą perspektywą na przestrzeni kilkunastu lat.

W dokumencie rządowym „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku” założono, że popyt na energię w ciągu 20 lat wzrośnie o 30%. Jednak z zaburzeniami dostaw prądu możemy mieć do czynienia już w najbliższej przyszłości. Wpłynie na to rosnąca konsumpcja, ale też zmniejszenie mocy wytwórczych. Zgodnie z unijnymi wymogami (dyrektywa LCP) Polska musi wyłączyć kilka starych elektrowni ze względu na niespełnianie wymagań dotyczących emisji CO<sub>2</sub>.<sup>18</sup>

Specjalistów zajmujących się problematyką bezpieczeństwa nie zwalnia to z konieczności prowadzenia badań, aby racjonalnie przygotowywać się na wystąpienie tego typu zagrożeń i radzenie sobie z nimi. Niniejszy artykuł jest w części egzemplifikacją kreatywnego i nieszablonowego podejścia do diagnozowania zagrożeń dla systemu elektroenergetycznego.

<sup>17</sup> J. Zych, *Gry decyzyjne dla kształtowania kompetencji kadr menedżerskich zarządzania kryzysowego*. Gdynia 2013, s. 62-65

<sup>18</sup> <http://www.ekologia.pl/wiadomosci/energia/po-2015-roku-polsce-moze-grozic-deficyt-mocy> (pobrano 18.10.2016 r.)

Prezentowane dociekania pozwalają uzmysłwić sobie, że brak jest jednoznacznych rekomendacji kwestii identyfikacji niestandardowych (tzn. leżących poza aspektami technicznymi lub ekonomicznymi) przyczyn powstawania blackout-u. W rekomendacjach formułowane są najczęściej ogólniki typu: przyspieszyć budowę, usprawnić proces dystrybucji energii, zredukować koszty nośników energii etc. Przy takiej strategii budowania systemów elektroenergetycznych na wypadek zaistnienia sytuacji kryzysowych łatwo wykazać brak jednoznacznej korelacji między nakładami, a efektami operacyjnymi. Brak mechanizmu pozwalającego uchwycić relację koszt-efekt operacyjny dostarcza oponentom bulwersujących argumentów w rodzaju tzw. „paradoksu Strassmana”,<sup>19</sup> stąd zatem wynika rekomendacja z tego artykułu, by stworzyć nowe narzędzia analityczne dla energetyki, co pozwoli zidentyfikować zagrożenia dla systemu elektroenergetycznego i przyczyni się do zwiększenia jakości zarządzania kryzysowego w aspekcie bezpieczeństwa systemu zaopatrywania w energię jako jednego ze zbioru infrastruktury krytycznej.

### Streszczenie

Artykuł dotyczy identyfikacji źródeł powstawania awarii katastrofalnej (blackout-u). Autorzy proponują podejście asocjacyjne i growe, w którym łączą intuicję człowieka oraz kreatywność grupy ludzi do nieskrępowanego generowania pomysłów na styku działań destruktora i obrońcy. Zaprezentowano dwa scenariusze. Oba odwołują się do prawdziwych wydarzeń, które miały miejsce w Polsce i dotyczą problematyki bezpieczeństwa elektroenergetycznego. Zaprezentowano elementy narzędzia analitycznego wykorzystywanego podczas zajęć ze studentami do identyfikacji zagrożeń kluczowych elementów systemu elektroenergetycznego.

**Słowa kluczowe:** blackout, bezpieczeństwo energetyczne, źródła zagrożeń, zarządzanie kryzysowe

### Summary

The article concerns the identification of the source of condition in extremis (blackout). The authors propose associative approach, the gaming approach, which combines human intuition/creativity of the people to freely generate ideas at the interface between the destructor/activities defender. They presented two scenarios. Both refer to real events that took place in Poland and which relate to the problems of energy security. Presented elements of analytical tools used in the classroom with students to identify threats to the key elements of the power system.

**Key words:** blackout, energy security, sources of threats, crisis management

---

<sup>19</sup> P.A. Strassman, *The Business Value of Computers*, The Information Economics Press, New Canaan, CT, 1990; Morton Michael S. Scott (red.), *The Corporation of the 1990s: Information Technology and Organizational Transformation*. New York 1991

**Bibliografia**

1. Fórmaniak C., *Projektowe metody identyfikacji zagrożeń na przykładzie portu morskiego* (w:) *Oblicza bezpieczeństwa narodowego – wybrane aspekty bezpieczeństwa ekonomicznego, społecznego i militarnego* nr 2 (2015). Gdynia 2016
2. Gientko M., Malon A., Tymiński S. (red.), *Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce, stan na 31.12.2007*”. Warszawa 2008, <http://www.eko.org.pl>
3. Greenpeace kontra pge. aktywiści na kominie w elektrowni turów, <http://www.polskieradio.pl/42/273/artukul/868557>, *greenpeace-kontra-pge-aktywisci-na-kominie-w-elektrowni-turow*
4. Strassman P.A., *The Business Value of Computers*, The Information Economics Press, New Canaan, CT, 1990; Morton Michael S. Scott (red.), *The Corporation of the 1990s: Information Technology and Organizational Transformation*. New York 1991
5. Ustawa z 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym, Dz. U. 2007 Nr 89, poz. 590 z późn. zm.
6. Zych J., *Gry decyzyjne dla kształtowania kompetencji kadr menedżerskich zarządzania kryzysowego*. Gdynia 2013

**Jakub ADAMKIEWICZ**

Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie  
Wydział Logistyki

## **BEZPIECZEŃSTWO PUBLICZNE W OBLICZU AWARII SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO**

Energia jest istotnym elementem zachodzących współcześnie zjawisk społecznych. Z trudem wyobrażamy sobie życie bez telefonów osobistych, dostępu do komputerów i sieci Internet, sprzętu gospodarstwa domowego czy innych udogodnień, jak telewizor lub radio. Tym sposobem współcześni ludzie – zwłaszcza wychowani w kulturze państw uprzemysłowionych – stali się zakładnikami nowoczesnej technologii, bez wsparcia której nie są w stanie zaspokoić potrzeb fizycznych oraz intelektualnych. Wszystkie wymienione zaś urządzenia funkcjonują dzięki energii elektrycznej. Bez jej udziału obecnie niemożliwe jest więc nawet zapewnianie fundamentalnych potrzeb egzystencjalnych człowieka: produkcji i dystrybucji żywności, dostarczania wody pitnej czy wytwarzania narzędzi. Energia stała się zatem dobrem koniecznym, a tym samym uzyskała status produktu o znaczeniu strategicznym. Z tego powodu bezpieczeństwo energetyczne – utożsamiane z ciągłością dostaw energii do odbiorców – ma kapitalne znaczenie dla współczesnych społeczności narodowych.

W skali państwa zwykle udaje się zapewnić ów stan bezpieczeństwa energetycznego, dzięki odpowiedniej polityce nastawionej na gwarancję dostępu do surowców (krajowych i zagranicznych) oraz rozbudowę i modernizację technologiczną. Jednak w przestrzeni lokalnej dystrybucja elektryczności nie zawsze jest ciągła. Niewielkie przerwy w dostawach energii elektrycznej występują dość powszechnie. Bywa, iż owe zastoje są efektem planowanych działań operatorów sieci przesyłowych, w celu realizacji np. zadań serwisowych. Zagrożenie stanowią przerwy w dostawach powodowane usterkami systemu elektroenergetycznego. Gdy awaria jest odpowiednio rozległa i długotrwała, wówczas mamy do czynienia ze zjawiskiem określanym angielskim terminem *blackout* (pol. zaciemnienie). Zwrot ten, jako niewywodzący się z żargonu branżowego energetyków, spotkać się może z odrzuceniem oraz posądzeniem o propagowanie terminów potocznych w dyskursie naukowym. Zatem wyjaśnić należy sens i cel jego używania, także w niniejszym artykule, oraz doprecyzować przyjętą definicję.

W odniesieniu do pojęcia *blackout*, w słownikach amerykańskich i brytyjskich pojawia się zwykle kilka znaczeń. Jedno z nich wskazuje na sytuację, gdy nie ma światła lub mocy z powodu awarii elektryczności.<sup>1</sup> W języku polskim pojęcie to kojarzone jest przede wszystkim z tym właśnie wyjaśnieniem. Oto Obserwatorium Językowe Uniwersytetu Warszawskiego, dokonując spisu najnowszego słownictwa polskiego, precyzuje zwrot *blackout* (lub *blekaut*) jako „nagłą, poważną awarię systemu elektroenergetycznego, powodującą dłuższą przerwę w dostawie prądu

---

<sup>1</sup> Por. *Meaning of "blackout" in the English Dictionary*, Cambridge dictionary, <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/blackout> (pobrano 8.02.2017 r.); Zob. również *Definition of blackout in English*, English Oxford living dictionaries, <https://en.oxforddictionaries.com/definition/blackout> (pobrano 8.02.2017 r.)

(czego skutkiem jest m.in. wygaśnięcie oświetlenia) na znacznym obszarze jakiegś aglomeracji lub jakiegoś kraju”.<sup>2</sup> Zwrot ten używany jest w owym znaczeniu nie tylko w języku powszechnym, lecz pojawia się również w debatach przedstawicieli środowisk naukowych, zorientowanych na tematykę inżynierii i elektrotechniki. Przykładem jest Instytut Elektroenergetyki Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej, który na swojej oficjalnej stronie internetowej pt. „Blackout” definiuje omawiany termin jako „stan awarii systemu elektroenergetycznego” oraz „przerwę w pracy całego systemu lub jego znacznej części, powodującą zanik napięcia w sieci elektroenergetycznej na dużym obszarze”.<sup>3</sup> Naukowcy posługują się tym pojęciem, albowiem pozwala ono zwięźle i precyzyjnie odnieść się do złożonej w swej specyfice problematyki katastrofy energetycznej. W niniejszym artykule, za właściwe przyjmuje się wyjaśnienie terminu „blackout”, zaproponowanego przez P. Lelątko, D. Michalskiego, B. Krystę, którzy odnoszą je do katastrofy technicznej przejawianej samoistnym i systemowym odłączaniem kolejnych elementów sieci przesyłowej bądź elektrowni, w efekcie czego następuje utrata zasilania na coraz większym obszarze.<sup>4</sup>

Rozległe awarie elektroenergetyczne niemal zawsze mają złożoną przyczynę, opartą na kilku niezależnych czynnikach objawiających się w specyficznych dla danej sytuacji okolicznościach. Jednak dokonując pewnej systematyzacji można przyporządkować je do dwóch kategorii: technicznych i środowiskowych. Pierwszą stanowią *blackouty* powodowane złym stanem często przestarzałych instalacji składających się na system energetyczny. Źródłem awarii może być również przeciążenie spowodowane nadmiernym użytkowaniem. Przykładem tego rodzaju sytuacji jest największa w historii katastrofa energetyczna, która miała miejsce w 2012 roku w Indiach. Jej przyczyną był właśnie gwałtowny wzrost poboru energii elektrycznej, wykorzystywanej do zasilania instalacji i urządzeń chłodniczych w okresie ekstremalnych upałów. Drugą kategorią źródeł *blackoutów* – występującą wielokrotnie częściej – stanowią uszkodzenia instalacji energetycznych, wskutek zjawisk naturalnych o często gwałtownym przebiegu. Oto na kontynencie północnoamerykańskim, dziesięć spośród piętnastu największych awarii, przyjmując rok 1984 za moment rozpoczęcia obserwacji, spowodowanych było niekorzystnymi warunkami klimatycznymi.<sup>5</sup> Znaczną w tym udział miały silne nawałnice oraz huragany, w trakcie których dochodziło do uszkodzeń trójfazowych energetycznych. Szczególny przypadek awarii sieci energetycznej wystąpił w 1989 roku w Kanadzie. Wówczas to potężna burza słoneczna spowodowała koronalny wyrzut strumienia naładowanych elektrycznie cząstek plazmy w kierunku Ziemi, wpływając na pole magnetyczne naszej planety. Zjawisko to okazało się wysoce szkodliwe dla nowoczesnego transformatora hydroelektrowni w Montrealu.

<sup>2</sup> Por. P. Ciach, M. Czeszewski, *Blackout*, Obserwatorium Językowe Uniwersytetu Warszawskiego, <http://nowewyrazy.uw.edu.pl/haslo/blackout.html> (pobrano 8.02.2017 r.)

<sup>3</sup> Zagadnienie to szczegółowo opisane zostało na stronie internetowej Instytut Elektroenergetyki Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej, <http://www.blackout.put.poznan.pl/>. Instytut ten, od 2004 roku, mniej więcej co dwa lata organizuje konferencję z zakresu tematyki *blackoutu* energetycznego.

<sup>4</sup> Por. P. Lelątko, D. Michalski, B. Krysta, *Przerwy w dostawie energii elektrycznej*, „Rynek Terminowy”, 2004, nr 2, s. 81

<sup>5</sup> Por. P. Hinesa, J. Apt, S. Talukdar, *Large Blackouts in North America: Historical trends and policy implications*, Carnegie Mellon Electricity Industry Center Working Paper, 2009, Table 1, s. 32, [www.cmu.edu/electricity](http://www.cmu.edu/electricity) (pobrano 8.02.2017 r.)



Urządzenie uległo zniszczeniu, wskutek czego energia elektryczna przestała docierać do niemal 6 milionów jej odbiorców. Zdarzenie to dowodzi, iż zagrożenie dla bezpieczeństwa energetycznego pochodzić może nawet spoza naszej planety.

W Polsce awarie systemu elektroenergetycznego mają bardziej prozaiczne przyczyny. W okresie zimowym spowodowane są np. oblodzeniem linii przesyłowych, jak również ich przerwaniem pod wpływem ciężaru przywierającego śniegu lub złamanego drzewa, powalonego w czasie zawiei. Natomiast latem instalacje energetyczne ulegają m.in. przeciążeniu pod wpływem ekstremalnych upałów lub zrywane są w trakcie silnych burz. Podobne zjawiska mogą ulegać intensyfikacji pod wpływem zjawiska globalnego ocieplenia klimatu, którego udowodnioną konsekwencją jest wzrost częstotliwości występowania ekstremów pogodowych, takich jak: huragany, powodzie, susze czy trąby powietrzne. Ostatnim znaczącym symptomem owych zmian w naszym regionie był orkan „Ksawery”, którego przejście w 2013 roku spowodowało zakłócenie bezpieczeństwa energetycznego kilku województw. Dostrzeganą oznaką globalnych zmian klimatycznych w naszej części świata jest przesunięcie pór roku, co skutkuje wzrostem skrajnych temperatur w okresie zimowym i letnim, jak również zwiększeniem intensywności opadów atmosferycznych.<sup>6</sup> Nie można wykluczyć zatem, że *blackouty* w nadchodzących dekadach staną się powszechnym problemem.

Współcześnie przerwy w dostawach energii energetycznej nie są wszakże wcale rzadkim problem państw, aczkolwiek częstotliwość ich występowania jest zmienna w zależności od stopienia rozwoju i doinwestowania systemu energetycznego w poszczególnych krajach. W Polsce co roku występuje kilkaset przypadków nieplanowanych przerw w dostawach energii, ze zmienną roczną częstotliwością. W przykładowym 2006 roku zdarzyło się ich niemal siedemset.<sup>7</sup> Również skala oddziaływania przestojów w pracy systemu elektroenergetycznego jest zróżnicowana. W okresie od 2009 do 2012 roku – o czym w publikowanych materiałach zaświadcza Najwyższa Izba Kontroli – wskutek awarii sieciowych do odbiorców nie dostarczono energii elektrycznej na poziomie odpowiednio 25,3 GWh, 26,35 GWh, 16,63 GWh, 10,05 GWh.<sup>8</sup> Problem *blackoutów* to także wyzwanie dla bogatych państwach Europy Zachodniej i Ameryki Północnej. Za ilustrację niech posłużą Stany Zjednoczone, w których w okresie od 2003 do 2012 roku zarejestrowano 679 nieplanowanych przerw w dostawach prądu.<sup>9</sup> W przeważającej mierze awarie systemu elektroenergetycznego stanowiły chwilowe problemy o niewielkim zasięgu terytorialnym.

Z perspektywy badań nad bezpieczeństwem narodowym, szczególnie znaczenie mają masowe *blackouty*, które zdarzają się rzadko, ale ich konsekwencje społeczno-ekonomiczne są niebagatelne. Dla prawidłowego oddania skali problemu należałoby dokonać opisu kilku największych katastrof

<sup>6</sup> Por. Z.W. Kundzewicz, *Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje*, „Landform Analysis” 2011, nr 15, s. 40

<sup>7</sup> Por. *Statystyka elektroenergetyki polskiej 2006*, Agencja Rynku Energii. Warszawa 2007, s. 185

<sup>8</sup> Por. *Funkcjonowanie i bezpieczeństwo elektroenergetycznych sieci przesyłowych*, Najwyższa Izba Kontroli. Warszawa 2013, s. 17

<sup>9</sup> Dotyczy to awarii elektroenergetycznych spowodowanych niekorzystnymi warunkami pogodowymi. por. *Economic benefits of increasing electric grid resilience to weather outages*, Executive Office of the President. Washington 2013, s. 4

energetycznych w XXI wieku. W ujęciu chronologicznym zacząć trzeba od incydentu z 14 sierpnia 2003 roku, który miał miejsce na pograniczu Kanady oraz Stanów Zjednoczonych Ameryki, gdzie nastąpiło poważne uszkodzenie sieci przesyłowych. Pod wpływem kaskadowego odłączania się kolejnych elementów połączonego systemu energetycznego obu państw, wyłączonych zostało wówczas ponad 100 elektrowni, wliczając w to jądrowe. Wskutek tego wydarzenia, około 60 mln mieszkańców takich miast, jak m.in.: Detroit, Cleveland, Toronto, Ottawa, Nowy Jork, Newark i Hatford, przez przeszło 20 godzin nie otrzymywało dostaw energii elektrycznej. W Europie – zaledwie miesiąc później, bo we wrześniu 2003 roku – doszło do równie groźnej w skutkach katastrofy technicznej. Wówczas to wskutek gwałtownej burzy uszkodzeniu uległa linia przesyłowa wysokiego napięcia łącząca Szwajcarię z Półwyspem Apenińskim, następnie zaś doszło do kaskadowego odcinania kolejnych elementów systemu energetycznego Włoch. Awaria doprowadziła do katastrofalnego położenia niemal 57 milionów mieszkańców Italii, którzy przez 20 godzin pozbawieni byli dostaw energii elektrycznej.<sup>10</sup> W Polsce do największych *blackoutów* w ostatnim czasie zaliczyć można kilkunastogodzinną awarię systemu elektroenergetycznego, która w kwietniu 2008 roku objęła fragment aglomeracji szczecińskiej z przyległymi gminami. Jedną z najdłuższych był natomiast *blackout* w północnej części Województwa Śląskiego w styczniu 2010 roku, który pozbawił energii blisko 80 tysięcy osób. W niektórych miejscach (np. powiecie myszkowskim) ograniczenia w dostępie do elektryczności trwały przez 9 dni.<sup>11</sup> Przypuszczalnie największa z dotychczasowych awarii systemu elektroenergetycznego na świecie miała miejsce w Indiach w lipcu 2012 roku. Tam też przez dwa dni zmagano się z *blackoutem* obejmującym znaczną część kraju, a ostatecznie problem z zasilaniem w różnych odcinaniach czasu miało łącznie ponad 700 mln osób.<sup>12</sup>

Wydarzenia typu *blackout* mają daleko idące konsekwencje społeczno-ekonomiczne, zróżnicowane w zależności od czasu trwania i obszaru zakłóceń. Skutki tych zdarzeń można przedstawić w kategorii strat finansowych, których skala bywa niekiedy zatrważająca. Świadczy o tym analiza amerykańskiego *tink-thanku* Anderson Economic Group, który dokonał przeliczenia kosztów awarii elektroenergetycznej z 2003 roku w Stanach Zjednoczonych. Diagnoza wskazuje, iż gospodarka USA poniosła w trakcie owego 20-godzinnego *blackoutu* stratę na poziomie od 4,5 do 8,2 miliardów dolarów.<sup>13</sup> Na kwotę tę składały się m.in.: utrata zarobków przedsiębiorstw pozbawionych możliwości prowadzenia działalności (od 3,12 do 5,20 mld dolarów.), straty handlarzy oraz prywatnych odbiorców, związane z utratą lub zepsuciem towarów (od 380 do 940 mln dol.), ubytek przychodu rządu w podatkach (od 20 do 100 mln dol.) oraz wartość energii niedostarczonej do sektora przemysłu (1-2 mld dolarów).<sup>14</sup> Nieskatologowane konsekwencje ekonomiczne wynikają ponadto z wstrzymania pracy rynków

<sup>10</sup> Por. T. Motowidlak, *Istota ciągłości dostaw energii elektrycznej w Unii Europejskiej*, „Polityka energetyczna” 2007, nr 1, s. 16-17

<sup>11</sup> Por. A. Nawrot, *Kłeska czy tylko awaria*, „Wyborcza.pl” 2010, [http://wyborcza.pl/1,76842,7464087,Kleska\\_czy\\_tylko\\_awaria.html](http://wyborcza.pl/1,76842,7464087,Kleska_czy_tylko_awaria.html) (pobrano 8.02.2017 r.)

<sup>12</sup> Por. S. Narayan, *A Worrisome Blackout in India*, „ISAS Insights” 2012, nr 177, s. 1

<sup>13</sup> Por. P.L. Anderson, K.G. Ilhan, *Northeast Blackout Likely to Reduce US Earnings by \$6.4 Billion*, AEG Working Paper 2003-2, 19 August 2003, s. 6

<sup>14</sup> Ibidem

finansowych. Wedle T. Motowidlaka, „w półtorej godziny od awarii, działalność zawiesiła nowojorska giełda towarowa NYMEX (ang. *New York Mercantile Exchange*) z powodu braku dostępu jej uczestników do elektronicznych systemów handlowych i rozliczeniowych”.<sup>15</sup> Warto nadmienić, iż przedłożone informacje nie odzwierciedlają w pełni gospodarczych skutków *blackoutu*, albowiem pomijają koszty poniesione przez Kanadę. Rzeczywiste straty materialne, spowodowane przez awarię, były jeszcze wyższe.

Konsekwencje finansowe rozległych awarii elektroenergetycznych pozwalają względnie precyzyjnie określić i porównać skutki poszczególnych zdarzeń tego typu. Nie oddają jednak socjalnego wymiaru zagrożeń związanych z *blackoutami*. Odcięcie od energii elektrycznej skutkuje zaś upośledzeniem funkcjonowania społeczności lokalnej we wszystkich niemal aspektach organizacji wewnętrznej. W skrajnych przypadkach można spodziewać się wręcz nasilenia odstępstw od norm obyczajowych i prawnych obowiązujących w danej kulturze. Powstałe w wyniku *blackoutu* zagrożenia społeczne podzielić można na co najmniej cztery kategorie: transportowe, komunikacyjne, dostępu do wody i żywności, oraz bezpieczeństwa zdrowotnego i ochrony medycznej.<sup>16</sup>

Zakłócenia transportu, spowodowane przerwą w dostawach energii elektrycznej – zwłaszcza w ośrodkach miejskich, mają daleko idące konsekwencje społeczne. Zdestabilizowana zostaje płynność w ruchu ulicznym. Przede wszystkim wynika to z wyłączenia sygnalizacji świetlnej, co prowadzi do gwałtownego skoku liczby wypadków i impasu na drogach. Przystają też działać dystrybutory paliw na stacjach benzynowych, w wyniku czego pojawiają się utrudnienia w zasilaniu pojazdów. W tej sytuacji z upływem czasu trwania *blackoutu* rośnie liczba osób zmuszonych do wstrzymania się od użytkowania osobistych środków transportu. W czasie kryzysu niesprawne są też wszystkie lokomotywy i usługi kolejowe (w tym także metro i tramwaje miejskie). Co więcej, istnieje ryzyko uwięzienia w maszynach podróżników korzystających z tego rodzaju transportu. W tym przypadku szczególnie niebezpieczne są kolejki podziemne, w których ciasnota i mrok mogą sprzyjać pojawieniu się symptomów paniki. Unieruchomione taboru szynowe zastępowane są środkami transportu kołowego (np. dodatkowymi autobusami), których ruch, ze względu na wspomniane problemy z korkami ulicznymi, jest utrudniony.<sup>17</sup> Wskutek wstrzymania dostaw energii następuje też ograniczenie lub wstrzymanie pracy regionalnych portów lotniczych, z powodu braku mocy dla urządzeń umożliwiających kontrolę bezpieczeństwa.

Kategoria zagrożeń komunikacyjnych odnosi się do kwestii dostępu do informacji. W trakcie trwania *blackoutu*, wszystkie formy systemów komunikacyjnych, bez zapasowych źródeł zasilania, przestają funkcjonować. Jeśli zaś urządzenia nadawcze wyposażone są w dodatkowe generatory, wówczas zagrożenie stanowi przedłużający się okres braku zasilania, przekraczający

<sup>15</sup> T. Motowidlak, *Istota ciągłości dostaw energii elektrycznej...*, op. cit., s. 16

<sup>16</sup> Por. *Lloyd's Emerging Risk Report – 2015. Business Blackout. The insurance implications of a cyber attack on the US power grid*, Lloyd's & the University of Cambridge Centre for Risk Studies, May 2015, s. 16-18

<sup>17</sup> Por. *Raport Zespołu ds. Zbadania Przyczyn i Skutków Katastrofy Energetycznej powołanego zarządzeniem Wojewody Zachodniopomorskiego nr 154/2008 z 22 kwietnia 2008 roku. Część I*, Zachodniopomorski Urząd Wojewódzki w Szczecinie, Szczecin, 20.06.2008 r., s. 26-27

żywołność baterii. Telefoniczne układy komunikacyjne są ponadto przeciążone – zwłaszcza w początkowej fazie awarii – ze względu na wzmożone próby użytkowników uzyskania informacji na temat przyczyn i przewidywanego czasu trwania kryzysu. Natężenie aktywności komunikacyjnej sprawia bowiem, że niezwykle trudno jest nawiązywać połączenia. Przeciążenie to dotyczyć może również linii awaryjnej 112, powodując wzrost potencjalnych zagrożeń związanych z niemożnością wezwania stosownych służb w sytuacji nagłych wypadków i zdarzeń. Ograniczony jest też przepływ informacji w sieci Internet oraz w przekazach telewizyjnych i radiowych (aczkolwiek tutaj dostęp do danych jest najłatwiejszy, ze względu na działające samochody, posiadające odpowiednie odbiorniki).<sup>18</sup> W trakcie przeciągającego się *blackoutu* może także dojść do niebezpieczeństwa utraty części danych, będących w posiadaniu operatorów telekomunikacyjnych sieci bezprzewodowych (jak i wszelkich innych systemów komputerowych), wskutek uszkodzenia plików lub zniszczonych twardych dysków.<sup>19</sup>

Z awarią systemu elektroenergetycznego wiąże się także niebezpieczeństwo osłabienia potencjału lokalnego w zabezpieczeniu podstawowych potrzeb bytowych ludności. W szczególnym stopniu dotyczy to problemów związanych z dostępem do żywności i wody pitnej. Kwestia pożywienia może wystąpić przy długotrwałym *blackoucie*, zwłaszcza w okresie letnim, gdy część produktów wymagających przetrzymywania w specjalnych warunkach (chłodzie) ulegnie zepsuciu. Niebezpieczeństwo tej sytuacji wiąże się z ryzykiem zatrucia po spożyciu nieświeżego jedzenia. Problem dostaw wody w sytuacji braku zasilania pojawi się zaś natychmiast, bowiem większość współczesnych miejskich systemów wodociągowych pracuje w oparciu o pompy elektryczne. Zatem podczas *blackoutu* powstaje problem ograniczenia lub całkowitego zaniku wody w kranach. Istnieje też ryzyko zatrucia jej zasobów, w związku z problemami w funkcjonowaniu oczyszczalni.<sup>20</sup> Jeśli nastąpiłby wyciek zanieczyszczonej wody do źródeł pitnych, wówczas jego skutki byłyby obserwowane już po rozwiązaniu problemu awarii zasilania.

Przedstawione problemy, pojawiające się w obliczu awarii systemów elektroenergetycznych, przekładają się bezpośrednio na wzrost zagrożeń dla życia i zdrowia mieszkańców terenów objętych *blackoutem*. Zakłócenia pracy w zakładach przechowujących i produkujących niebezpieczne substancje chemiczne lub awarii urządzeń hydrotechnicznych, spiętrzających i uzdatniających wodę, mogą spowodować zanieczyszczenie środowiska. Eskalacja liczby wypadków drogowych, przemysłowych oraz innych zdarzeń katastroficznych skutkuje zwiększeniem liczby osób wymagających pomocy medycznej. Tymczasem w związku z omawianym już chaosem drogowym i komunikacyjnym, możliwości funkcjonowania służb ratowniczych oraz porządkowych są ograniczone. W czasie wielkich upałów i mrozów wzrasta dodatkowo zagrożenie dla osób starszych i niedołączonych (narażonych w większym stopniu na stres termiczny). Również praca szpitali – mimo, iż są ośrodkami na ogół wyposażonymi

---

<sup>18</sup> Por. *ibidem*, s. 25-26

<sup>19</sup> Por. T. Ives, *Zapobieganie uszkodzeniu danych w przypadku dłuższej przerwy w zasilaniu*. *White Paper 10*, American Power Conversion, 2004, [www.apc.com](http://www.apc.com), s. 4

<sup>20</sup> Por. *Raport Zespołu ds. Zbadania Przyczyn i Skutków Katastrofy Energetycznej...*, op. cit., s. 27

w awaryjne zasilanie – jest ograniczona do najważniejszych zabiegów ratujących życie. Planowane rutynowo operacje są zaś przekładane.<sup>21</sup>

Całość przedstawionych problemów społecznych, występujących w sytuacji *blackoutu*, stanowi obszar zainteresowania bezpieczeństwa publicznego. Pojęcie to wiąże się z sytuacją stabilnego funkcjonowania społeczności bez większych odstępstw od normy. Skojarzenie kategorii awarii energetycznej z bezpieczeństwem publicznym dobrze oddaje definicja proponowana przez W. Kawkę, wedle której bezpieczeństwo to jest stanem, gdy „ogół społeczeństwa i jego interesy, jako też państwo wraz ze swymi celami, mają zapewnioną ochronę od szkód zagrażających im z jakiegokolwiek źródła”.<sup>22</sup> Związek z wymienianymi zagrożeniami widać również w definicji J. Zaborowskiego, dla którego bezpieczeństwo publiczne to „stan faktyczny wewnątrz państwa, który umożliwia, bez narażenia na szkody normalne, funkcjonowanie organizacji państwowej i realizację jej interesów, zachowanie życia, zdrowia i mienia jednostek żyjących w tej organizacji oraz korzystanie przez te jednostki z praw i swobód zagwarantowanych konstytucją i innymi przepisami prawa”.<sup>23</sup>

Wszelkie przejawy porządku publicznego zostają zaburzone w obliczu rozległej przerwy w dostawach energii elektrycznej. Wraz z przedłużającym się czasem jej trwania mogą również nasilić się wtórne negatywne zjawiska społeczne o kryminalnej i rewolucyjnej charakterystyce. Wszak ograniczona kontrola nad ludnością sprzyja aktywizacji osób skłonnych do podejmowania nielegalnych czynów oraz naraża państwo na zintensyfikowaną działalność grup o charakterze przestępczym bądź terrorystycznym. Katalog potencjalnych zagrożeń o szczególnym znaczeniu z perspektywy pracy Policji, możliwych do wystąpienia podczas przedłużającej się awarii systemu energetycznego typu *blackout*, wymienia się w Zarządzeniu nr 1429 Komendanta Głównego Policji z 31 grudnia 2004 r. w sprawie wprowadzenia w Policji procedur reagowania w sytuacjach kryzysowych (Dz. Urz. KGP z 2005.03.8). Tam też wyróżnia się między innymi problem wzrostu przestępczości o charakterze kryminalnym, w tym przestępstw i wykroczeń pospolicznych (jak kradzieże, włamanie, rozboje lub niszczenie mienia) oraz zagrożenie potencjalnego nasilenia niepokoju społecznego. Z ostatnim zagadnieniem wiąże się ryzyko wystąpienia objawów paniki wśród ludności, a w konsekwencji niestosowania się do poleceń i zarządzeń wydanych przez organy administracji publicznej, służby ratownicze i porządkowe. Nieprzestrzeganie obowiązującego porządku prawnego grozi natomiast wzrostem zagrożeń życia i zdrowia ludzi, utratą mienia oraz uszkodzeniem lub zniszczeniem obiektów technologicznych i infrastrukturalnych.<sup>24</sup>

Prawdopodobieństwo wystąpienia oraz skala zagrożeń porządku publicznego podczas *blackoutu* zależy od wielu czynników związanych z czasem trwania awarii, jej zasięgiem oraz charakterystyką miejsca, którego dotyczy. Można założyć, iż w dużych ośrodkach miejskich ryzyko wzrostu przestępczości bądź zamieszek jest

<sup>21</sup> Por. ibidem

<sup>22</sup> W. Kawka, *Policja w ujęciu historycznym i współczesnym*. Wilno 1999, s. 46

<sup>23</sup> J. Zaborowski, *Prawne środki zapewnienia bezpieczeństwa i porządku publicznego*. Warszawa 1997, s. 129

<sup>24</sup> Por. Zarządzenie nr 1429 Komendanta Głównego Policji z 31 grudnia 2004 r. w sprawie wprowadzenia w Policji procedur reagowania w sytuacjach kryzysowych (Dz. Urz. KGP z 2005.03.8), s. 125

większe niż np. w gminach wiejskich. Nie bez znaczenia jest też mentalność społeczeństwa, poziom rozwoju cywilizacyjnego i kultura kraju, w którym nastąpiła katastrofa energetyczna. Niebezpieczeństwo poważnych rozruchów społecznych występuje także w państwach uznawanych za wysoko rozwinięte. Doskonałym tego przykładem może być *casus* awarii energetycznej w Nowym Jorku 13 lipca 1977 roku. Wówczas to *blackout* stał się impulsem do niespodziewanej fali przestępczości w mieście. Sytuację tę opisano w raporcie *Impact assessment of the 1977 New York city blackout*, przygotowanym przez Departament Energii USA. Dokument w części poświęconej problemowi bezpieczeństwa publicznego podaje, iż „najbardziej ‘widocznym’ aspektem, związanym ze społecznymi skutkami *blackoutu*, były oczywiście grabieże, podpalenia i inne akty przemocy i bezmyślnego zniszczenia. Szabrownicy pochodzili ze wszystkich segmentów społeczeństwa, uwzględniając wiek, płeć i klasy dochodowe. (...) Doszło wówczas w przybliżeniu do 3000 aresztowań związanych ze zgłoszeniami grabieży w trakcie *blackoutu* – co nawet w Nowym Jorku stanowi bardzo dużą liczbę (w porównaniu do średniej liczby 600 aresztowań na dobę w normalnym warunkach). (...) na podstawie doświadczeń historycznych jasne jest, że inne miasta w USA mają podobny potencjał do przewrotów społecznych”.<sup>25</sup>

Ryzyko występowania zakłóceń bezpieczeństwa publicznego w sytuacjach kryzysowych wymaga taktycznego i operacyjnego przygotowania stosownych służb do reagowania na pojawiające się zagrożenia. W Polsce scenariusz działania sił porządkowych w danych okolicznościach określa przytaczane Zarządzenie Komendanta Głównego Policji z grudnia 2004 roku. W dokumencie tym przygotowano algorytm postępowania wobec sytuacji awarii systemu elektroenergetycznego. Jako priorytetowe czynności operacyjne, w obliczu klęski braku dostaw energii elektrycznej, wskazuje się konieczność alarmowania ludności o zagrożeniach oraz monitorowania terenów dotkniętych problemem. Następnym ważnym zadaniem Policji jest utrzymanie bezpieczeństwa i porządku publicznego, w tym ewakuacja osób szczególnie zagrożonych (np. w podeszłym wieku, poszkodowanych i chorych) oraz zabezpieczenie ich mienia w wyznaczonych do tego miejscach. Usprawnienie transportu ulicznego wymaga natomiast zlokalizowania i zabezpieczenia nentralicznych węzłów komunikacyjnych oraz rozpowszechniania, dostępnymi środkami przekazu, informacji o utrudnieniach na drogach. Dalsze działania stanowią organizowanie objazdów miejsc o wysokim ryzyku wypadków oraz umożliwianie swobodnego przemieszczania się ekipom i jednostkom ratowniczym. Po usunięciu awarii będącej przyczyną *blackoutu*, Policja realizuje procedury dochodzeniowo-śledcze, mające na celu ustalenie jej przyczyn oraz ewentualnej identyfikacji ofiar śmiertelnych zdarzenia.<sup>26</sup> Zarządzenie KGP wskazuje, iż wymienione czynności winny być przeprowadzone w ścisłej współpracy Policji z zespołami reagowania kryzysowego: organów administracji publicznej, jednostkami Państwowej Straży Pożarnej, przedsiębiorstwami energetycznymi, służbą zdrowia, zarządcami dróg, organami administracji wojskowej oraz Strażą Graniczną. Fundamentem kooperacji jest wielostronna wymiana informacji na temat aktualnych oraz prognozowanych zagrożeń,

<sup>25</sup> L.H. Fink, *Impact assessment of the 1977 New York city blackout. Final raport*, Department of Energy, July 1978, s. 60

<sup>26</sup> Por. *ibidem*, s. 126

następnie zaś uzgadnianie łączonych współdziałań. Współpraca ta jest niezbędna, albowiem, jak wynika z przedstawionych informacji, *blackouty* generują liczne zagrożenia ekonomiczne i społeczne. Zadaniem państwa i jego organów jest zaś ochrona obywateli przed potencjalnymi niebezpieczeństwami. W sytuacji awarii systemów elektroenergetycznych, kluczową rolę w rozwiązywaniu kryzysu odgrywają oczywiście technicy, których działania doprowadzą do przywrócenia normalnego trybu funkcjonowania systemu elektroenergetycznego. Jednak do tego czasu ogromne znaczenie ma również zapewnienie w możliwie największym stopniu bezpieczeństwa publicznego na obszarze objętym skutkami awarii. W tym celu należy opracowywać potencjalne scenariusze przebiegu *blackoutów* z perspektywy społecznej i wskazywać główne źródła zagrożeń. Dane te mogą bowiem przyczynić się do wypracowania właściwych algorytmów postępowania służb (m.in. Policji) w trakcie katastrofy energetycznej, które zwiększą szansę uratowania życia lub zdrowia osób narażonych na niebezpieczeństwo.

### Streszczenie

Problematyka niniejszego artykułu obejmuje zagadnienie wpływu rozległych i długotrwałych awarii systemów energetycznych na bezpieczeństwo publiczne. Problem rozwijany jest w kontekście zagadnień: wzrostu przestępczości, funkcjonowania sił porządkowych, zakłóceń w ruchu drogowym, komunikacji społecznej, opieki zdrowotnej i innych. Analiza oparta jest na danych krajowych oraz zagranicznych.

**Słowa klucze:** bezpieczeństwo energetyczne, *blackout*, bezpieczeństwo publiczne

### Summary

The article covers the question of effects of extensive and long-term failures of power systems for public safety. That problem is developed in the context of issues like: increase in crime, the functioning of the police, disruptions in traffic, communication and health care. The analysis is based on sources of domestic and foreign.

**Key words:** energy security, blackout, public safety

### Bibliografia

1. Anderson P.L., Ilhan K.G., *Northeast Blackout Likely to Reduce US Earnings by \$6.4 Billion*, AEG Working Paper 2003-2, 19 August 2003
2. Ciach P., Czeszewski M., *Blackout*, Obserwatorium Językowe Uniwersytetu Warszawskiego, <http://nowewyrazy.uw.edu.pl/haslo/blackout.html> (pobrano 8.02.2017 r.)
3. *Definition of blackout in English*, English Oxford living dictionaries, <https://en.oxforddictionaries.com/definition/blackout> (pobrano 8.02.2017 r.)
4. *Economic benefits of increasing electric grid resilience to weather outages*, Executive Office of the President. Washington 2013
5. Fink L.H., *Impact assessment of the 1977 New York city blackout. Final raport*, Department of Energy, July 1978
6. *Funkcjonowanie i bezpieczeństwo elektroenergetycznych sieci przesyłowych*, Najwyższa Izba Kontroli. Warszawa 2013

7. Hinesa P., Talukdar J., Apt, S., *Large Blackouts in North America: Historical trends and policy implications*, Carnegie Mellon Electricity Industry Center Working Paper, 2009, Table 1, [www.cmu.edu/electricity](http://www.cmu.edu/electricity) (pobrano 24.01.2017 r.)
8. Ives T., *Zapobieganie uszkodzeniu danych w przypadku dłuższej przerwy w zasilaniu. White Paper 10*, American Power Conversion, 2004, [www.apc.com](http://www.apc.com)
9. Kawka W., *Policja w ujęciu historycznym i współczesnym*. Wilno 1999
10. Kundzewicz Z.W., *Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje*, „Landform Analysis” 2011, nr 15
11. Lelątko P., Michalski D., Krysta B., *Przerwy w dostawie energii elektrycznej*, „Rynek Terminowy” 2004, nr 2
12. *Lloyd’s Emerging Risk Report – 2015. Business Blackout .The insurance implications of a cyber attack on the US power grid*, Lloyd’s & the University of Cambridge Centre for Risk Studies, May 2015
13. *Meaning of “blackout” in the English Dictionary*, Cambridge dictionary, <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/blackout> (pobrano 8.02.2017 r.)
14. Motowidlak T., *Istota ciągłości dostaw energii elektrycznej w Unii Europejskiej*, „Polityka energetyczna” 2007, nr 1
15. Narayan S., *A Worrisome Blackout in India*, „ISAS Insights” 2012, nr 177
16. Nawrot A., *Kłeska czy tylko awaria*, „Wyborcza.pl” 2010, [http://wyborcza.pl/1,76842,7464087,Kleska\\_czy\\_tylko\\_awaria.html](http://wyborcza.pl/1,76842,7464087,Kleska_czy_tylko_awaria.html) (pobrano 24.01.2017 r.)
17. *Raport Zespołu ds. Zbadania Przyczyn i Skutków Katastrofy Energetycznej powołanego zarządzeniem Wojewody Zachodniopomorskiego nr 154/2008 z 22 kwietnia 2008 roku. Część I*, Zachodniopomorski Urząd Wojewódzki w Szczecinie. Szczecin, 20.06.2008 r.
18. *Statystyka elektroenergetyki polskiej 2006*, Agencja Rynku Energii. Warszawa 2007
19. Zaborowski J., *Prawne środki zapewnienia bezpieczeństwa i porządku publicznego*. Warszawa 1997
20. Zarządzenie nr 1429 Komendanta Głównego Policji z 31 grudnia 2004 roku w sprawie wprowadzenia w Policji procedur reagowania w sytuacjach kryzysowych (Dz. Urz. KGP z 2005.03.8)



**Waldemar DOŁĘGA**  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Elektryczny  
Katedra Ergoelektryki

## **RZYZYKO INWESTYCJI SIECIOWYCH W ASPEKTCIE PLANOWANIA ROZWOJU INFRASTRUKTURY SIECIOWEJ**

### **1. Wprowadzenie**

Sieciowa infrastruktura elektroenergetyczna obejmuje: sieć przesyłową 400 i 220 kV, sieć dystrybucyjną 110 kV, która w wielu regionach kraju pełni jeszcze ciągle funkcję sieci przesyłowej oraz sieć dystrybucyjną SN i nn. W jej skład wchodzi zarówno linie, jak i stacje elektroenergetyczne.

Infrastruktura sieciowa stanowi złożony organizm dynamiczny, podlegający procesowi ciągłej rozbudowy, pozbawionej ram czasowych. Rozwój jej jest rezultatem postępu technicznego i uwarunkowań zewnętrznych funkcjonowania sektora elektroenergetycznego. Stanowi proces, w trakcie którego zmianie ulega spora grupa elementów i parametrów go opisujących.<sup>1</sup>

Planowanie rozwoju infrastruktury sieciowej jest złożonym procesem, mającym na celu określenie optymalnego planu rozbudowy infrastruktury w całym rozważanym okresie, w oparciu o analizę techniczno-ekonomiczną. Plan taki wskazuje, jakie nowe elementy (linie elektroenergetyczne, stacje elektroenergetyczne) należy wybudować, lub jakie istniejące zmodernizować, kiedy i gdzie, aby sieć spełniała wymagania techniczne.<sup>2</sup> Jest to więc zestawienie zakresu rzeczowego inwestycji i modernizacji obiektów sieciowych z określeniem harmonogramu przekazania ich do eksploatacji.

Planowanie rozwoju infrastruktury sieciowej jest realizowane przez operatorów systemów elektroenergetycznych i stanowi podstawowe zadanie planistyczne.<sup>3</sup>

Planowanie jest procesem podejmowania decyzji inwestycyjnych i zawsze związane jest ze znacznym ryzykiem, które wynika z konieczności przewidywania określonego stanu w przyszłości, w sytuacji niemożności przewidzenia, jak ukształtują się w przyszłości poszczególne czynniki, stanowiące podstawę podejmowania bieżącej decyzji.<sup>4</sup> Dlatego w referacie zajęto się przeglądem ryzyk inwestycji sieciowych i sposobem ich szacowania w procesie planowania rozwoju infrastruktury sieciowej.

### **2. Planowanie rozwoju infrastruktury sieciowej**

Podstawą procesu planowania rozwoju infrastruktury sieciowej są: wszechstronna analiza istniejącego zużycia energii i mocy, analiza stanu istniejących źródeł mocy i ich pracy, prognoza zapotrzebowania na moc i energię,

---

<sup>1</sup> W. Dołęga, *Planowanie rozwoju sieciowej infrastruktury elektroenergetycznej w aspekcie bezpieczeństwa dostaw energii i bezpieczeństwa ekologicznego*. Wrocław 2013

<sup>2</sup> Ibidem

<sup>3</sup> W. Dołęga, *Planowanie rozwoju infrastruktury elektroenergetycznej w obecnych uwarunkowaniach administracyjno-prawnych*. „Polityka Energetyczna” 2012, zeszyt 3, s. 51-64

<sup>4</sup> W. Dołęga, *Planowanie rozwoju sieciowej...*, op. cit.

jego rejonizacja, założone scenariusze wymiany mocy i energii z zagranicą, rozmieszczenie i harmonogram budowy nowych źródeł mocy oraz ocena stanu istniejącego sieci i możliwość jej wykorzystania w przyszłości.<sup>5</sup>

Realizacja procesu planowania polega na wyborze najbardziej ekonomicznego i niezawodnego planu uwzględniającego przyszły wzrost zapotrzebowania na energię i pozwalającego na wyprowadzenie mocy z przyszłych źródeł wytwórczych. Plan taki powinien odznaczać się minimalnymi kosztami i maksymalną niezawodnością, przy jednoczesnym spełnieniu wielu ograniczeń natury technicznej, ekonomicznej, środowiskowej, prawnej i społecznej.<sup>6</sup>

Kwestia planowania jest trudnym i złożonym problemem projektowym. Wynika to z faktu, że koszty i ograniczenia nie mogą być łatwo określone, odznaczają się dużą zmiennością w czasie i są trudne do przewidzenia.

Planowanie rozwoju infrastruktury sieciowej obejmuje dwa zadania, które są od siebie zależne i muszą być równocześnie rozwiązane:

- określenie sposobu wzmocnienia istniejącej infrastruktury sieciowej;
- określenie sposobu przyłączenia nowych stacji elektroenergetycznych.

Planowanie rozwoju infrastruktury ma na celu określenie takiego sposobu rozwoju, aby w rozważanym okresie spełnić kryteria techniczne i osiągnąć najlepsze efekty ekonomiczne. Oznacza to wybór najlepszej strategii rozwoju sieci, wg określonego kryterium optymalizacyjnego. Najczęściej stosowanym kryterium wyboru optymalnej strategii rozwoju są całkowite koszty utrzymania sieci w rozpatrywanym okresie. Składają się one z kosztów stałych i zmiennych. Zawierają one trzy, a w niektórych metodach cztery lub pięć składników kosztów. Należą do nich koszty inwestycyjne, koszty eksploatacyjne stałe i zmienne (koszty strat mocy i energii) i niekiedy koszty nieciągłości zasilania i koszty ograniczeń przesyłowych.<sup>7</sup> W wielu metodach, decydujący głos przy wyborze strategii należy ostatecznie do planisty (eksperta), który, obok aspektu ekonomicznego, może brać pod uwagę inne trudno wymierne cechy, jak np. elastyczność w eksploatacji i rozbudowie, pewność dostawy energii, uwarunkowania zewnętrzne itp.

Przeprowadzenie rachunku optymalizacji wymaga nakreślenia granic czasowych, w ramach których wiedzę o przyszłości można uznać za dostateczną do podejmowania decyzji. Okres ten nazywa się horyzontem czasowym i jest równoznaczny z okresem optymalizacji.

Planowanie odbywa się w warunkach znacznej niepewności i zmienności założeń wejściowych oraz niepełnej określoności danych wejściowych. W związku z tym, powinno z jednej strony być procesem ciągłym, polegającym na okresowym powtarzaniu opracowań koncepcyjno-programowych o różnym stopniu szczegółowości i różnych horyzontach czasowych prognozy i ciągłej ich aktualizacji.<sup>8</sup> Natomiast z drugiej strony powinno uwzględniać różne scenariusze warunków rozwoju infrastruktury sieciowej.

Konieczność aktualizacji wynika ze zmian danych wejściowych, w miarę upływu czasu. Efektem tego jest utrata aktualności planu i potrzeba jego

<sup>5</sup> Ibidem

<sup>6</sup> W. Dołęga, *Wybrane aspekty planowania rozwoju sieciowej infrastruktury elektroenergetycznej*. Zarządzanie energią i teleinformatyka. ZET 2013. Rozdział II. H. Kaproń (red.). Lublin 2013, s. 113-127

<sup>7</sup> Ibidem

<sup>8</sup> W. Dołęga, *Planowanie rozwoju sieciowej...*, op. cit.

weryfikacji. Najczęściej stosowanym sposobem uniknięcia tego stanu jest zastosowanie tzw. kroczącego trybu planowania. Oznacza to, że przekazuje się do realizacji plany wykonane dla pierwszego etapu rozbudowy. Po upływie pewnego okresu (okresu aktualizacji) – ponownie przeprowadza się proces planowania rozwoju, wykorzystując uaktualnione zbiory – danych wejściowych.<sup>9</sup>

Scenariusze warunków rozwoju infrastruktury sieciowej umożliwiają uwzględnienie niepewności danych wejściowych. Scenariusz warunków rozwoju jest tworzonym, na podstawie prognozowanych wartości wskaźników makroekonomicznych kraju i wskaźników postępu technicznego, scenariuszem globalnym, obejmującym trzy scenariusze szczegółowe: scenariusz zapotrzebowania, scenariusz wytwarzania i scenariusz wymiany międzysystemowej.<sup>10</sup>

Planowanie rozwoju infrastruktury sieciowej zasadniczo obejmuje dwa szczeble planowania:

- planowanie długookresowe o horyzoncie czasowym 15-20 lat;
- planowanie krótkoterminowe o horyzoncie czasowym do 5-ciu lat.

W kraju niekiedy wprowadza się dodatkowo szczebel pośredni między tymi stopniami – planowanie średnioterminowe o horyzoncie czasowym 5-15 lat. Ma on charakter uniwersalny.

Planowanie jest procesem wieloetapowym, wymagającym wszechstronnych obliczeń i rozważań. Okres planowania dzieli się na mniejsze przedziały czasowe, zwane etapami. Przy podziale musi być uwzględniona z jednej strony spójność procesu planowania, a z drugiej zgodność planów wykonywanych dla różnych okresów. Plany o krótszym horyzoncie czasowym muszą nawiązywać i być zgodne z bardziej ogólnymi planami rozwoju, obejmującymi dłuższy horyzont czasowy prognozy.

Efektem procesu planowania rozwoju infrastruktury sieciowej powinny być wariantowe analizy (opcje) rozbudowy sieci, zawierające szczegółową analizę techniczno-ekonomiczną rozbudowy sieci.

### **3. Ryzyko inwestycji sieciowych**

Ryzyko inwestycji sieciowych polega na tym, że dzisiejsza decyzja inwestycyjna, w obszarze infrastruktury sieciowej, może okazać się nietrafiona i w przyszłości nie przynieść oczekiwanych efektów. Inwestycje sieciowe są kapitałochłonne, a trudności lokalizacyjne tych obiektów są coraz większe, okres ich eksploatacji jest bardzo długi, sięgający w warunkach polskich nawet kilkudziesięciu lat. W tak długim horyzoncie czasu warunki pracy systemu elektroenergetycznego, które determinują efektywność inwestowania, są trudne do przewidzenia.

Trudności przewidzenia przyszłych stanów pracy systemu elektroenergetycznego jeszcze bardziej się potęgują, jeśli uwzględni się fakt, że okres od podjęcia decyzji inwestycyjnej do wybudowania obiektu z powodu silnie narastających problemów lokalizacyjnych linii, czy stacji elektroenergetycznych, związanych

---

<sup>9</sup> Ibidem

<sup>10</sup> F. Buchta, *Optymalizacja strategii rozwoju sieci przesyłowej w warunkach rynkowych z uwzględnieniem ryzyka*. „Elektryka” nr 1712. Gliwice 2006

z uwarunkowaniami środowiskowymi, znacznie się wydłuża i sięga minimum kilku lat.<sup>11</sup>

Decyzje inwestycyjne muszą być zatem podejmowane z kilkuletnim wyprzedzeniem oraz na kilkudziesięcioletni okres ich eksploatacji. Z racji wspomnianego długiego horyzontu czasowego realizacji i eksploatacji inwestycji sieciowej, kluczowe znaczenie ma uwzględnienie ryzyka przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych.

Rynek energii elektrycznej, wymuszający efektywność działania, zwiększa ryzyko nietrafionych inwestycji, ale także prowadzi do zintensyfikowania wykorzystania zdolności przesyłowych sieci i ograniczania ich rezerwy, a także rezerwy mocy wytwórczych, co z kolei zwiększa ryzyko powstania wielkich awarii systemowych.<sup>12</sup>

Zagadnienie uwzględnienia ryzyka ma dwa aspekty: o wymiarze ekonomicznym i technicznym.

Pierwszy związany jest z ryzykiem podjęcia inwestycji, która w efekcie nieokreśloności przyszłych warunków pracy systemu elektroenergetycznego może okazać się nieefektywna ekonomicznie.

Drugi, mimo tego, że jego wymiar ekonomiczny jest daleko większy, ma charakter techniczny. Skutki awarii systemowych są zawsze bardzo duże. Zbudowanie systemu elektroenergetycznego, wykluczającego możliwość powstania takich awarii, jest jednak nieuzasadnione. Z uwagi jednak na bardzo małe prawdopodobieństwo wystąpienia takiej awarii, analiza ekonomiczna zwykle nie prowadzi do istotnego zwiększenia inwestowania z tego powodu. Stąd ocena ryzyka wielkich awarii systemowych w aspekcie ekonomicznym nie ma sensu, natomiast ich skutki pozaekonomiczne mogą być daleko bardziej nieakceptowalne niż bardzo duże straty materialne.<sup>13</sup>

W analizie ryzyka ważne jest rozróżnienie niepewności od ryzyka. Niepewność jest to stan, w którym przyszłe możliwości i szanse ich wystąpienia nie są znane.<sup>14</sup> Pojęcie ryzyka jest natomiast używane wtedy, gdy: rezultat, jaki będzie osiągnięty w przyszłości, nie jest znany, ale możliwe jest zidentyfikowanie przyszłych sytuacji, oraz gdy znane jest prawdopodobieństwo zrealizowania się poszczególnych możliwości w przyszłości.<sup>15</sup>

Głównym atrybutem ryzyka jest niepewność, która jest mierzalna w sensie probabilistycznym.

#### **4. Rodzaje ryzyk inwestycji sieciowych**

W literaturze najczęściej definiuje się trzy rodzaje ryzyka: wyłączone, własne firmy i rynkowe.<sup>16</sup>

Ryzyko wyłączone traktuje ryzyko projektu w izolacji. Ryzyko własne firmy traktuje ryzyko projektu jako element całego portfela projektów firmy. Ryzyko

<sup>11</sup> W. Dołęga, *Utrudnienia i bariery formalno-prawne rozbudowy i modernizacji sieciowej infrastruktury elektroenergetycznej*. „Polityka Energetyczna” 2011, zeszyt 2, s. 51-64

<sup>12</sup> F. Buchta, *Optymalizacja strategii...*, op. cit.

<sup>13</sup> Ibidem

<sup>14</sup> W. Tarczyński, M. Mojsiewicz, *Zarządzanie ryzykiem*. Warszawa 2001

<sup>15</sup> Ibidem

<sup>16</sup> E. Brigham, L. Gapenski, *Zarządzanie finansami*. Warszawa 2000

rynkowe uwzględnia fakt, że akcjonariusze firmy sami różnicują swoje portfele na całym rynku kapitałowym.

Podstawowe rodzaje ryzyk związanych z inwestycjami w obszarze infrastruktury sieciowej są następujące:

- techniczne: budowa infrastruktury technicznej, eksploatacja;
- ekonomiczne: zarządzania i działalności operacyjnej, rynkowe, finansowe (inflacji, kursowe, stóp procentowych, zabezpieczeń i refinansowania);
- pozostałe (otoczenie przedsięwzięcia): polityczne (regulacyjne), makroekonomiczne, klimatyczne, siły wyższe.<sup>17</sup>

Ryzyko ukończenia projektu ma największy wpływ na realizację projektu w początkowych jego fazach i całkowicie zanika w chwili pomyślnego przekazania obiektu do eksploatacji. Ryzyko ukończenia projektu polega na przekroczeniu terminów i/lub kosztów realizacji projektu, jak również na wykonaniu ich niezgodnie z przyjętymi założeniami. Do przyczyn mających wpływ na ryzyko ukończenia projektu należą: niedoszacowanie kosztów na etapie planowania inwestycji, zastosowanie niesprawdzonych urządzeń i/lub technologii, błędy projektowe i/lub wykonawcze, niska jakość wykonania oraz dobór niesolidnych dostawców i/lub wykonawców inwestycji.<sup>18</sup>

Ryzyko eksploatacji ma miejsce w fazie operacyjnej projektu. Ryzyko eksploatacji jest związane ze zmianą, w stosunku do zakładanego, kosztu produkcji i wielkości sprzedaży energii elektrycznej i innych mediów energetycznych, w tym przede wszystkim ciepła. Wpływ na ryzyko eksploatacyjne mają m.in.: awarie techniczne urządzeń, niższa sprawność wytwarzania energii elektrycznej i innych mediów energetycznych, wzrost kosztów zakupu i transportu paliwa, zwiększone zużycie materiałów eksploatacyjnych, większe niż zakładano straty przesyłu czynników energetycznych.<sup>19</sup>

Ryzyko zarządzania i działalności operacyjnej opisuje wydarzenia, które mogą mieć źródło w związku z niewłaściwym zarządzaniem projektem oraz złą organizacją pracy i/lub procesu produkcyjnego. Do przyczyn występowania tego ryzyka można zaliczyć m.in.: niskie kwalifikacje osób zarządzających projektem, niską wydajność pracy, niewłaściwą organizację pracy, brak odpowiednich mechanizmów kontrolnych, nieprawidłową obsługę urządzeń.<sup>20</sup>

Ryzyko finansowe jest nieodłącznym elementem każdego przedsięwzięcia inwestycyjnego. Z pojęciem ryzyka finansowego wiążą się trzy podstawowe elementy: ryzyko inflacji, ryzyko kursowe i ryzyko stóp procentowych.

Ryzyko inflacji wpływa na projekt jako element prognozowania przepływów finansowych. W trakcie realizacji inwestycji, zapotrzebowanie na kapitał jest największe. Projekt nie generuje żadnych przychodów. W przypadku zwiększenia cen dóbr inwestycyjnych powyżej założonego poziomu inflacji, projekt będzie wymagał dodatkowego zapotrzebowania na kapitał. Z kolei założenia dotyczące inflacji w okresie fazy eksploatacyjnej wpłyną na koszt obsługi długu.

Ryzyko kursowe powstaje w momencie, gdy strumienie pieniężne projektu, a więc wpływy i wydatki, są denominowane w różnych walutach.

<sup>17</sup> W. Tarczyński, M. Mojsiewicz, *Zarządzanie...*, op. cit.

<sup>18</sup> F. Buchta, P. Kucharczyk, *Długookresowy deficyt energii elektrycznej np. spowodowany błędnymi prognozami – horyzont kilkuletni*, Punkt 2.2.1.. Gliwice 2007

<sup>19</sup> Ibidem

<sup>20</sup> W. Tarczyński, M. Mojsiewicz, *Zarządzanie...*, op. cit.

Ryzyko stóp procentowych ma szczególne znaczenie w przypadku projektów kredytowanych ze zmienną stopą procentową. W momencie największego zadłużenia, nawet niewielkie wahania stóp procentowych mogą mieć znaczny wpływ na wynik finansowy przedsięwzięcia.<sup>21</sup>

Ryzyko rynkowe obejmuje m.in. takie elementy, jak: konkurencyjność różnych technologii wytwórczych, zmianę zamożności i standardów życia mieszkańców, tempo przyrostu demograficznego, zmianę zapotrzebowania na media energetyczne (np. w związku z termomodernizacją budynków).

Ryzyko zabezpieczeń i refinansowania jest szczególnie istotne w przypadku inwestycji w majątek obcego przedsiębiorstwa. Firma inwestująca na terenie obcego podmiotu dąży do zabezpieczenia się poprzez uzyskanie gwarancji spłaty poniesionych nakładów inwestycyjnych w określonym przedziale czasowym. Zabezpieczenie może mieć formę gwarancji bankowej lub ubezpieczeniowej, hipoteki na nieruchomości, cesji należności lub inną zaakceptowaną przez strony umowy. Ryzyko zabezpieczenia i refinansowania może powstać w przypadku zmiany wartości zabezpieczenia, na skutek zmieniającej się sytuacji makroekonomicznej i niestabilności prawa handlowego.<sup>22</sup>

Ryzyko polityczne obejmuje szeroką grupę zdarzeń, na które ma wpływ państwo jako ustawodawca i regulator. W ramach tego ryzyka występuje ryzyko regulacyjne, ryzyko otoczenia prawnego i ryzyko związane z polityką gospodarczą państwa. Do ryzyka politycznego zalicza się m.in. zmienność prawa gospodarczego czy ochrony środowiska, która może wymusić na przedsiębiorstwach energetycznych konieczność inwestycji i działalność regulatora, mającego bezpośredni wpływ na wyniki finansowe przedsiębiorstw energetycznych, a także pośrednio na wyniki finansowe przedsiębiorstw przemysłowych (odbiorców energii elektrycznej i innych mediów energetycznych).<sup>23</sup>

Ryzyko siły wyższej znajduje się całkowicie poza kontrolą inwestora. Przykładem siły wyższej są: siły przyrody (powodzie, pożary, trzęsienia ziemi, itp.), konflikty zbrojne, akty sabotażu, strajki. Skutkiem działania siły wyższej może być czasowa niezdolność do prowadzenia działalności, co może mieć miejsce np. w przypadku strajku, jak też całkowite zakończenie projektu na skutek zniszczenia obiektu przez trzęsienie ziemi, falę powodziową, pożar spowodowany uderzeniem pioruna, itp.

## 5. Metody szacowania ryzyka inwestycji sieciowych

Zgodnie z metodologią estymacji ryzyka projektów inwestycyjnych, stosowaną jako standard Unii Europejskiej, ryzyko może być szacowane w sposób bezpośredni lub pośredni.<sup>24</sup> Sposób bezpośredni polega na modyfikowaniu kryterium w taki sposób, aby uwzględnić ryzyko. Pośredni służy uzyskaniu dodatkowych informacji o projekcie, tak, aby zmniejszyć stan niepewności, a przez to zmniejszyć ryzyko. Ponadto stosuje się metodę drzew decyzyjnych, która łączy te dwa sposoby.

---

<sup>21</sup> Ibidem

<sup>22</sup> Ibidem

<sup>23</sup> F. Buchta, P. Kucharczyk, *Długookresowy...*, op. cit.

<sup>24</sup> P. Kawa, S. Wydymus, *Metodologia oceny efektywności projektów inwestycyjnych według standardów Unii Europejskiej*. Kraków 1998

Miary bezpośredniego sposobu uwzględniania ryzyka obejmują:

- margines bezpieczeństwa;
- równoważnik pewności;
- odchylenie standardowe i współczynnik zmienności;
- semiwariancję, semiodchylenie standardowe i współczynnik semizmienności;
- odchylenie przeciętne i semiodchylenie przeciętne;
- poziom bezpieczeństwa;
- poziom aspiracji;
- krzywą gęstości prawdopodobieństwa.<sup>25</sup>

Margines bezpieczeństwa jest to wartość bieżąca netto (ang. *Net Present Value* – NPV), która pokazuje, o ile gorsza może okazać się efektywność, aby przedsięwzięcie nie stało się nierentowne.

Równoważnik pewności definiuje się jako kwotę otrzymaną z pewnością, która ma dla decydenta (inwestora) tę sama wartość, co wartość oczekiwana niepewnej kwoty.

Odchylenie standardowe i współczynnik zmienności określają ryzyko związane z realizacją projektu inwestycyjnego. Im wyższe są ich wartości, tym większe ryzyko związane jest z realizacją projektu inwestycyjnego.

Semiwariancja, semiodchylenie standardowe i współczynnik semizmienności określają negatywne aspekty ryzyka.<sup>26</sup> Miary te uwzględniają jedynie ujemne odchylenia od wartości oczekiwanej.

Odchylenie przeciętne i semiodchylenie przeciętne wskazują, o ile średnio różnią się możliwe wartości NPV od wartości oczekiwanej. Semiodchylenie przeciętne uwzględnia jedynie ujemne wartości odchyłeń.

Poziom bezpieczeństwa określa taki poziom wartości NPV, że osiągnięcie niższej od niej jest mało prawdopodobne.

Poziom aspiracji wyrażany jest prawdopodobieństwem nieosiągnięcia poziomu aspiracji.

Krzywa gęstości prawdopodobieństwa określa skumulowane prawdopodobieństwa osiągnięcia określonej wartości NPV.

Miary pośredniego sposobu uwzględniania ryzyka obejmują analizy:

- wrażliwości;
- scenariuszy;
- symulacyjne.

Analiza wrażliwości określa „zamrożenie” wartości wszystkich zmiennych poza jedną, a następnie ustalenie, jak wrażliwe jest NPV na zmiany wartości tej zmiennej. W planowaniu rozwoju i modernizacji infrastruktury sieciowej ważny jest nie tylko wpływ wartości zmiennych decyzyjnych na wskaźniki efektywności ekonomicznej inwestycji, ale także na zmianę strategii rozwoju.<sup>27</sup>

Analiza scenariuszy uwzględnia zarówno wrażliwość NPV na zmiany podstawowych wielkości, jak i prawdopodobny zakres wartości zmiennych.

<sup>25</sup> Ibidem

<sup>26</sup> Ibidem

<sup>27</sup> W. Dołęga, *Planowanie rozwoju sieciowej...*, op. cit.

Analiza symulacyjna jest kombinacją analizy wrażliwości i analizy scenariuszy. Polega na szacowaniu ryzyka na podstawie wielokrotnie powtarzanej procedury obliczania NPV dla generowanych losowo wartości danych wejściowych.

Przedstawione miary bezpośredniego lub pośredniego sposobu uwzględniania ryzyka mogą być zastosowane przez planistę (eksperta), w procesie planowania rozwoju infrastruktury sieciowej, do oceny ryzyka inwestycji sieciowej.

### **Wnioski**

Planowanie rozwoju infrastruktury sieciowej jest procesem podejmowania decyzji inwestycyjnych i zawsze związane jest ze znacznym ryzykiem, które wynika z konieczności przewidywania określonego stanu w przyszłości, w sytuacji niemożności przewidzenia, jak ukształtują się w przyszłości poszczególne czynniki stanowiące podstawę podejmowania bieżącej decyzji. Decyzje inwestycyjne są podejmowane z kilkuletnim wyprzedzeniem oraz dotyczą kilkudziesięcioletniego okresu ich eksploatacji. Z racji tak długiego horyzontu czasowego realizacji i eksploatacji inwestycji sieciowej, uwzględnienie ryzyka przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych ma kluczowe znaczenie.

W procesie planowania rozwoju infrastruktury sieciowej bardzo ważna jest wszechstronna analiza ryzyka inwestycji sieciowej i jego oszacowanie. Podstawowe rodzaje ryzyk, związanych z inwestycjami w obszarze infrastruktury sieciowej, obejmują ryzyka: techniczne (budowa infrastruktury technicznej, eksploatacja); ekonomiczne (zarządzania i działalności operacyjnej, rynkowe, finansowe) oraz pozostałe, związane z otoczeniem przedsięwzięcia inwestycyjnego. Można je oszacować w sposób bezpośredni lub pośredni, stosując metodologię estymacji ryzyka projektów inwestycyjnych, stosowaną jako standard Unii Europejskiej.

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono analizę ryzyka inwestycji sieciowych, w aspekcie planowania rozwoju infrastruktury sieciowej. Przedstawiono problematykę planowania rozwoju infrastruktury sieciowej. Omówiono podstawowe rodzaje ryzyk związanych z inwestycjami w obszarze infrastruktury sieciowej. Obejmują one ryzyka: techniczne (budowa infrastruktury technicznej, eksploatacja); ekonomiczne (zarządzania i działalności operacyjnej, rynkowe, finansowe) oraz pozostałe, związane z otoczeniem przedsięwzięcia. Określono miary bezpośredniego lub pośredniego sposobu uwzględniania ryzyka, które mogą być zastosowane w procesie planowania rozwoju infrastruktury sieciowej do oceny ryzyka inwestycji sieciowej.

**Słowa klucze:** infrastruktura sieciowa, rozwój, planowanie, ryzyko inwestycji

### **Summary**

In this paper, analysis of risk of network investments with regard to planning of electric power network infrastructure development is shown. Subject matter of planning of electric power network infrastructure development is described. Basic kinds of risks connected with investments in area of electric power network infrastructure is discussed. They include risks: technical (erection of technical infrastructure, exploitation), economical (management and operational activity, market, financial) and the others connected with environment of investment project.



The measures direct or indirect manner of taking into consideration of risk which can be used in process of planning of electric power network infrastructure development to important for network infrastructure development to evaluation of risk of network investments are determined.

**Key words:** Network infrastructure, development, planning, investment risk

### **Bibliografia**

1. Brigham E., Gapenski L., *Zarządzanie finansami*. Warszawa 2000
2. Buchta F., *Optymalizacja strategii rozwoju sieci przesyłowej w warunkach rynkowych z uwzględnieniem ryzyka*. Monografia. ZN Politechniki Śląskiej, Elektryka nr 1712. Gliwice 2006
3. Buchta F., Kucharczyk P., *Długookresowy deficyt energii elektrycznej np. spowodowany błędnymi prognozami – horyzont kilkuletni*. Gliwice 2007. Punkt 2.2.1
4. Dołęga W., *Planowanie rozwoju sieciowej infrastruktury elektroenergetycznej w aspekcie bezpieczeństwa dostaw energii i bezpieczeństwa ekologicznego*. Wrocław, 2013
5. Dołęga W., *Planowanie rozwoju infrastruktury elektroenergetycznej w obecnych uwarunkowaniach administracyjno-prawnych*. „Polityka Energetyczna” 2012, zeszyt 3
6. Dołęga W., *Wybrane aspekty planowania rozwoju sieciowej infrastruktury elektroenergetycznej*. Zarządzanie energią i teleinformatyka. ZET 2013. Rozdział II. H. Kaproń (red.). Lublin 2013
7. Dołęga W., *Utrudnienia i bariery formalno-prawne rozbudowy i modernizacji sieciowej infrastruktury elektroenergetyczne*. „Polityka Energetyczna” 2011, zeszyt 2
8. Kawa P., Wydymus S.: *Metodologia oceny efektywności projektów inwestycyjnych według standardów Unii Europejskiej*. Kraków 1998
9. Tarczyński W., Mojsiewicz M., *Zarządzanie ryzykiem*. Warszawa 2001

**Jan LASKOWSKI**

Wyższa Szkoła Przedsiębiorczości i Administracji w Lublinie

## **RAMY PRAWNE OCHRONY INFRASTRUKTURY ENERGETYCZNEJ PRZED AKTAMI TERRORYZMU W UNII EUROPEJSKIEJ**

### **Wprowadzenie**

Terroryzm, wykorzystując możliwości, jakie oferuje dzisiejsza nauka, tj. niezawodne i powszechne środki łączności, zaawansowane uzbrojenie, Internet oraz wszechobecna cyfryzacja, stał się poważnym zagrożeniem o zasięgu globalnym, transgranicznym. Dotyczy on obecnie już nie tylko USA i Izraela, ale także większości krajów Europy Zachodniej, zrzeszonych w struktury Unii Europejskiej, a nawet Rosji. O wadze problemu świadczą chociażby fakt, że zjawisko terroryzmu wymieniane jest w kluczowych dokumentach wspólnotowych jako jedno z głównych zagrożeń bezpieczeństwa wewnętrznego państw Unii Europejskiej.<sup>1</sup> W ciągu ostatnich dwóch dekad nastąpił dramatyczny wzrost aktywności różnego rodzaju ugrupowań terrorystycznych działających na terenie UE, co stanowi wypadkową wielu czynników społeczno-ekonomicznych, takich jak kryzys gospodarczy, niekontrolowany napływ imigrantów, coraz jaskrawiej rysujące się nierówności społeczne, problemy z asymilacją i wykluczenie społeczne mniejszości oraz zaangażowanie militarne krajów UE w konflikty na Bliskim Wschodzie (Irak, Afganistan, Syria). Powyższe czynniki, nałożone na siebie, stanowią obecnie główne źródło (przyczynę) występowania katastrofalnych ataków terrorystycznych, których celami coraz częściej stają się strategiczne zasoby infrastruktury,<sup>2</sup> takie jak instalacje i sieci, np. energetyczne, komunikacyjne, informacyjne, finansowe, opieki zdrowotnej, produkcji żywności, dostarczania wody, transportowe oraz produkcji, składowania i transportu niebezpiecznych towarów oraz obiektów rządowych.<sup>3</sup> Konsekwencje ataków terrorystycznych na tego typu instalacje mogą być bardzo różne. Powszechnie przyjmuje się, że udany atak informatyczny na publiczną sieć łączności telefonicznej lub teleinformatyczną sieć bankową spowodowałby niewiele, jeśli w ogóle, ofiar w ludziach, ale jego efektem mogłyby być znaczne straty finansowe. Natomiast podobny atak na systemy kontroli zakładu chemicznego lub przesyłu płynnego gazu ziemnego mógłby doprowadzić do śmierci większej liczby osób oraz do znacznych szkód fizycznych. Innego rodzaju katastrofalna awaria mogłaby mieć miejsce, gdyby jedna część

---

<sup>1</sup> *Strategia bezpieczeństwa wewnętrznego Unii Europejskiej*, jako najważniejsze wyzwania dla bezpieczeństwa wewnętrznego UE wymienia: terroryzm, przestępczość zorganizowaną, cyberprzestępczość, przestępczość transgraniczną, przemoc oraz klęski żywiołowe i antropogeniczne. *Strategia bezpieczeństwa wewnętrznego Unii Europejskiej – Dążąc do europejskiego modelu bezpieczeństwa*, Luksemburg 2010, s. 13-14, [http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms\\_data/librairie/PDF/QC3010313 PLC.pdf](http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/librairie/PDF/QC3010313 PLC.pdf) (pobrano 14.04.2012 r.)

<sup>2</sup> Pojęcie „strategiczne zasoby infrastruktury” rozwijane jest w dokumentach UE jako zakłady fizyczne i urządzenia technologii informacyjnych, sieci, usługi i aktywa, których zakłócenie pracy lub zniszczenie miałyby poważny wpływ na zdrowie, bezpieczeństwo lub dobrobyt ekonomiczny obywateli lub na skuteczność funkcjonowania rządów w Państwach Członkowskich., *Ochrona infrastruktury strategicznej w walce z terroryzmem*, Komunikat Komisji do Rady i Parlamentu Europejskiego, COM(2004) 702 końcowy. Bruksela, 20.10.2004 r., s. 3-4

<sup>3</sup> *Ibidem*, s. 4

infrastruktury spowodowała uszkodzenie innych części, wywołując szeroko zakrojony efekt kaskadowy. Tego typu awaria mogłaby się wydarzyć na skutek efektu synergii pomiędzy poszczególnymi gałęziami przemysłu. Prosty przykładem jest tutaj atak na instalacje elektryczne, powodujący przerwę w dostawach energii elektrycznej, w efekcie której wyłączone z pracy zostają wszystkie urządzenia elektryczne, stanowiące podstawę konstrukcji newralgicznych obiektów i instalacji miejskich, takich jak np. oczyszczalnie ścieków, sieć wodociągowa, chłodnie czy banki i urzędy. Wydarzenia powstające kaskadowo mogą wywołać wiele szkód, powodując również zaburzenia w usługach na szeroką skalę. Przerwy w dostawach energii elektrycznej, które w ostatnich latach spowodowały paraliż części Ameryki Północnej<sup>4</sup> i Europy,<sup>5</sup> stanowią dowód na potrzebę znalezienia skutecznych środków zapobiegania i ograniczania konsekwencji poważnych przerw w dostawach energii. Doceniając wagę problemu, kraje Europy zdecydowały się na podjęcie adekwatnych do skali nowego zagrożenia działań, których fundamentem stała się szeroko zakrojona współpraca. Najbardziej jaskrawym tego przykładem jest Unia Europejska, która przedsięwzięła szereg wielopłaszczyznowych działań o charakterze legislacyjnym oraz instytucjonalnym, które w sposób kompleksowy modelują kwestie zapobiegania i zwalczania aktów terroryzmu skierowanych przeciwko infrastrukturze energetycznej.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie ukształtowanych przez Unię Europejską instrumentów prawnych, służących ochronie infrastruktury energetycznej przed aktami terroryzmu.

W toku prac badawczych dokonano analizy dostępnych regulacji prawnych UE, dotyczących szeroko pojętej problematyki walki ze zjawiskiem terroryzmu, która pozwoliła na wyodrębnienie spośród nich instrumentarium legislacyjnego,

---

<sup>4</sup> Jako przykład może posłużyć tu awaria zasilania w USA i Kanadzie, do której doszło 14 sierpnia 2003 r. około godziny 16:10 w północno-wschodniej części Stanów Zjednoczonych oraz prowincji Ontario w Kanadzie. Mogła ona dotknąć łącznie około 55 mln ludzi. W jej efekcie miasta, takie jak Nowy Jork, Detroit, Cleveland, Toronto czy Ottawa, zostały pozbawione energii elektrycznej, co doprowadziło do ich paraliżu: przestała funkcjonować komunikacja miejska, tysiące osób zostało uwięzionych w wagonach metra oraz windach. Lotniska w rejonie objętym awarią, mimo posiadania własnych generatorów, miały poważne problemy, co doprowadziło do opóźnień odlotów w całym Stanach Zjednoczonych. Awaria doprowadziła również do nagłego wyłączenia 16 elektrowni jądrowych na terenie Stanów Zjednoczonych (9 siłowni nuklearnych) oraz Kanady (7 siłowni nuklearnych). Brak zasilania dotknął również różne instytucje finansowe, co doprowadziło do zachwiania handlem akcjami oraz nagłe zmiany kursu dolara amerykańskiego. W zależności od rejonu usunięcie awarii trwało od 1 do 3 dni. Amerykański Departament Energetyki oświadczył, że straty spowodowane awarią wyniosły od 4 do 6 mld dolarów. Szerzej zob. Z. Rozewicz, *Awaria katastrofalna północnoamerykańskiego systemu elektroenergetycznego 2003 r.*, „Energetyka”, nr 4/2014, s. 203-205

<sup>5</sup> Jako przykład może posłużyć tu rozległa awaria zasilania, do jakiej doszło 28 września 2003 r. około godziny 3:30 na terenie Włoch, która w bezpośredni sposób dotknęła ok. 57 mln ludzi. Awaria ta spowodowała zatrzymanie 110 pociągów, z których zostało ewakuowanych 30 tys. podróżnych. Wiele szpitali, które nie były zaopatrzone w agregaty, musiało ewakuować najciężej chorych do większych klinik. Wiele osób w czasie awarii znajdowało się w rzymskim metrze, skąd zostali ewakuowani dopiero po kilku godzinach, pozbawiony energii elektrycznej był również Watykan. Lotniska, mimo posiadania awaryjnych źródeł zasilania, zostały sparaliżowane, ponieważ ogólnokrajowe systemy odpowiedzialne za realizację np. odpraw zostały pozbawione energii elektrycznej. Szerzej zob. J. Biedrzycki, *Awaria we Włoszech z 28 września 2003 r. – raport*, <http://www.cire.pl/pliki/2/wawaria.pdf> (pobrano 20.12.2016 r.)

tworzącego ramy prawne ochrony infrastruktury energetycznej przed aktami terroryzmu.

Zakres badań, ze względu na bardzo złożony charakter zjawiska terroryzmu i walki z nim, obejmuje, oprócz kierunkowych regulacji prawnych UE dotyczących *stricto* zagadnień ochrony infrastruktury strategicznej (krytycznej), również inne akty prawa pierwotnego i wtórnego UE, które normują kwestie przeciwdziałania i zwalczania aktów terroryzmu i mogą mieć związek z tematem pracy.

Na całokształt aktywności legislacyjnych podejmowanych na forum UE w celu stworzenia ram prawnych ochrony infrastruktury energetycznej przed atakami terrorystycznymi składa się obecnie bardzo szeroki wachlarz aktów prawnych, obejmujących swym zasięgiem zarówno wewnętrzne jak i zewnętrzne aspekty różnych polityk UE. Ogólnie rzecz ujmując, regulacje te podzielić można na dwie kategorie:

- 1) Akty prawne UE o charakterze ogólnym, normujące kwestie szeroko pojętej walki (przeciwdziałania i zwalczania) z terroryzmem.
- 2) Akty prawne UE o charakterze kierunkowym (sektorowym), mające na celu zapewnienie jak najwyższego poziomu ochrony infrastruktury krytycznej.

### **Akty prawne UE o charakterze ogólnym**

Podstawy polityczne walki z terroryzmem w UE wywodzą się wprost z traktatów ustanawiających Unię Europejską, czyli z *Traktatu o Unii Europejskiej* (TUE) i z *Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej* (TFUE), uzupełnionych o traktaty zmieniające UE oraz traktaty akcesyjne państw członkowskich UE. Analizując obecnie obowiązujące *Wersje skonsolidowane Traktatu o Unii Europejskiej* i *Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej*<sup>6</sup> można stwierdzić, że kwestie związane z szeroko pojętą walką z terroryzmem rozpatrywane są w kilku różnych działach tych dokumentów. Pierwszym z obszarów problemowych TUE, dotyczącym wyżej wymienionej problematyki, jest Wspólna Polityka Zagraniczna i Bezpieczeństwa (WPZiB), która obejmuje „wszelkie dziedziny polityki zagranicznej i ogół kwestii dotyczących bezpieczeństwa Unii, w tym stopniowe określanie wspólnej polityki obronnej, która może prowadzić do wspólnej obrony”<sup>7</sup> (art. 24 pkt 1). Kształtująca się w ramach WPZiB Wspólna Polityka Bezpieczeństwa i Obrony zapewnia Unii Europejskiej zdolność operacyjną, która wyraża się możliwością przeprowadzania poza jej terytorium różnego rodzaju misji<sup>8</sup> (zarówno cywilnych jak i wojskowych), służących utrzymaniu pokoju, zapobieganiu konfliktom lub wzmocnieniu międzynarodowego bezpieczeństwa (art. 42 pkt 1). Misje te mogą także przyczyniać się do walki z terroryzmem, w tym poprzez wspieranie państw trzecich w jego zwalczaniu na ich terytoriach (art. 43 pkt 1). Pośredniego związku z zagadnieniami walki z terroryzmem można dopatrywać się także w klauzuli wzajemnej pomocy, która stanowi, że „w przypadku, gdy jakiekolwiek Państwo Członkowskie stanie się ofiarą napaści zbrojnej na jego terytorium, pozostałe Państwa Członkowskie mają w stosunku do niego obowiązek

<sup>6</sup> Dz. Urz. UE C 326 z 26 października 2012 r.

<sup>7</sup> Ibidem, s. 30

<sup>8</sup> Misje te obejmują wspólne działania rozbrojeniowe, misje humanitarne i ratunkowe, misje wojskowego doradztwa i wsparcia, misje zapobiegania konfliktom i utrzymywania pokoju, misje zbrojne, służące zarządzaniu kryzysowemu, w tym misje przywracania pokoju i operacje stabilizacji sytuacji po zakończeniu konfliktów. Ibidem, s. 39

udzielenia pomocy i wsparcia, przy zastosowaniu wszelkich dostępnych im środków<sup>9</sup> (art. 42 pkt 7). Kolejnym obszarem, bezpośrednio odnoszącym się do problematyki walki z terroryzmem, jest Tytuł V TFUE, który określa ramy Przestrzeni Wolności, Bezpieczeństwa i Sprawiedliwości (PWBiS). W części wstępnej tego działu odnaleźć można deklarację, że „Unia Europejska dołoży wszelkich starań, aby zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa za pomocą środków zapobiegających przestępczości, rasizmowi i ksenofobii oraz zwalczających te zjawiska, a także za pomocą środków służących koordynacji i współpracy organów policyjnych i sądowych oraz innych właściwych organów, a także za pomocą wzajemnego uznawania orzeczeń sądowych w sprawach karnych i, w miarę potrzeby, przez zbliżanie przepisów karnych” (art. 67 pkt 3). Terroryzm zaliczany jest tutaj do szczególnie poważnej przestępczości o charakterze transgranicznym (art. 83 pkt 1). W poczet środków służących poprawie koordynacji i współpracy organów bezpieczeństwa państw członkowskich, zajmujących się między innymi zwalczaniem terroryzmu, zaliczono: ustanowienie w ramach Rady UE stałego komitetu zajmującego się wspieraniem i wzmacnianiem współpracy operacyjnej oraz ułatwianiem koordynacji działań tych organów (art. 71), zachęcanie państw członkowskich do nawiązywania indywidualnych, niezależnych od unijnych, relacji budujących współpracę i poprawiających koordynację pomiędzy właściwymi służbami bezpieczeństwa (art. 73) oraz zapewnienie przez Radę UE odpowiednich ram prawnych, umożliwiających harmonijną współpracę administracyjną pomiędzy właściwymi służbami państw członkowskich, jak również pomiędzy tymi służbami a Komisją Europejską (art. 74). Bardzo istotną regulacją, pozwalającą na znaczną poprawę efektywności walki z terroryzmem oraz działalności z nim powiązanej, jest zapis mówiący o wdrożeniu przez Parlament Europejski i Radę pakietu środków prawno-administracyjnych, umożliwiających zamrażanie funduszy, aktywów finansowych lub zysków z działalności gospodarczej, które należą do osób fizycznych lub prawnych, grup lub innych podmiotów podejrzanych o terroryzm<sup>10</sup> (art. 75). Kolejnym, omawianym w TFUE, obszarem bezpośrednio dotyczącym walki z terroryzmem jest współpraca wymiarów sprawiedliwości w sprawach karnych. W celu uproszczenia procedur wzajemnego uznawania wyroków i orzeczeń sądowych oraz zbliżenia przepisów ustawowych i wykonawczych państw członkowskich wprowadzono normy minimalne, ujednolicające katalog przestępstw o szczególnie poważnych konsekwencjach dla UE oraz wymiar kar za niegroźących. Za przestępstwo tego typu uznano między innymi terroryzm<sup>11</sup> (art. 82 pkt 1, art. 83 pkt 1). Niezmiernie istotnym działem TFUE, dotyczącym walki z terroryzmem, jest współpraca policyjna. Odbywa się ona poprzez wymianę istotnych informacji operacyjnych, wspieranie szkolenia oraz wymianę pracowników właściwych służb, a także poprzez wdrażanie wspólnych technik śledczych, dotyczących wykrywania poważnych form przestępczości zorganizowanej (art. 87 pkt 2). Za najważniejszą inicjatywę, powstałą w ramach współpracy policyjnej państw UE, należy uznać utworzenie Europolu, którego zadaniem jest „wspieranie i wzmacnianie działań organów policyjnych i innych

---

<sup>9</sup> Ibidem

<sup>10</sup> Ibidem, s. 74-75

<sup>11</sup> Ibidem, s. 79-81

organów ścigania Państw Członkowskich, jak również ich wzajemnej współpracy w zapobieganiu i zwalczaniu poważnej przestępczości dotyczącej dwóch lub więcej Państw Członkowskich, terroryzmu oraz form przestępczości naruszających wspólny interes objęty polityką Unii<sup>12</sup> (art. 88 pkt 1). Obok Europolu powołano także Eurojust – wyspecjalizowaną agencję, której zadaniem jest „wspieranie oraz wzmacnianie koordynacji i współpracy między krajowymi organami śledczymi i organami ścigania w odniesieniu do poważnej przestępczości, która dotyka dwóch lub więcej Państw Członkowskich, lub która wymaga wspólnego ścigania, w oparciu o operacje przeprowadzane i informacje dostarczane przez organy Państw Członkowskich i Europol”<sup>13</sup> (art. 85 pkt 1). Ostatnim, zawartym w traktatach założycielskich, odniesieniem do zagadnień zapobiegania i zwalczania terroryzmu, jest tzw. klauzula wzajemnej solidarności (art. 222) – pierwotnie zapis *Deklaracji w sprawie zwalczania terroryzmu* wydanej po atakach terrorystycznych w Madrycie, który został implementowany za pośrednictwem Traktatu z Lizbony do TFUE. Mówi ona że: „Unia i jej Państwa Członkowskie działają wspólnie w duchu solidarności, jeżeli jakiegokolwiek Państwo Członkowskie stanie się przedmiotem ataku terrorystycznego lub ofiarą klęski żywiołowej lub katastrofy spowodowanej przez człowieka. Unia mobilizuje wszystkie będące w jej dyspozycji instrumenty, w tym środki wojskowe udostępnione jej przez Państwa Członkowskie w celu:

- zapobiegania zagrożeniu terrorystycznemu na terytorium Państw Członkowskich;
- ochrony instytucji demokratycznych i ludności cywilnej przed ewentualnym atakiem terrorystycznym;
- udzielenia pomocy Państwu Członkowskiemu na jego terytorium, na wniosek jego władz politycznych, w przypadku ataku terrorystycznego;
- udzielenia pomocy Państwu Członkowskiemu na jego terytorium, na wniosek jego władz politycznych, w przypadku klęski żywiołowej lub katastrofy spowodowanej przez człowieka”.<sup>14</sup>

Prawo wspólnotowe wtórne obejmuje akty prawa tworzone przez instytucje UE. Zaliczamy do nich rozporządzenia, dyrektywy, decyzje, zalecenia i opinie oraz akty typu *sui generis*. W dorobku legislacyjnym UE odnaleźć można ponad 215 tego typu regulacji prawnych,<sup>15</sup> bezpośrednio lub pośrednio dotyczących problematyki zapobiegania i zwalczania terroryzmu. Takie bogactwo narzędzi prawnych wynika z przekrojowego i wielodyscyplinarnego charakteru samego zjawiska terroryzmu, który wymusza zastosowanie wielopłaszczyznowych środków zaradczych. Ze względu na zakres i tematykę badań, omówione zostaną tutaj tylko najistotniejsze akty prawa wtórnego UE, które, mając wiążącą moc prawną, modelują problematykę walki z terroryzmem. Na pierwszym miejscu należy wymienić tu dokument, który zdaniem wielu ekspertów stanowi kamień milowy w procesie kształtowania się europejskiej polityki antyterrorystycznej, a mianowicie decyzję ramową Rady 2002/475/WSiSW z 13 czerwca 2002 r. w sprawie

<sup>12</sup> Ibidem, s. 84

<sup>13</sup> Ibidem, s. 81

<sup>14</sup> Ibidem, s. 148

<sup>15</sup> Dane zaczerpnięte z wykazu aktów prawa wtórnego UE dotyczących walki z terroryzmem (stan prawny na 2012 r.). M. O'Neill, *The Evolving EU Counter-Terrorism Legal Framework*. New York 2012, s. XV-XXXIII

zwalczania terroryzmu.<sup>16</sup> Głównym celem tego dokumentu była poprawa skuteczności walki z terroryzmem poprzez stworzenie spójnego i jednolitego w całej UE zespołu środków prawno-karnych. Decyzja ta zobligowała państwa członkowskie do wprowadzenia do prawodawstwa krajowego „zbliżonej definicji” przestępstwa terrorystycznego (pkt 6) oraz określiła minimalny wymiar kary za to przestępstwo (art. 5 pkt 1). Dokument ten definiuje także pojęcie „grupy terrorystycznej” oraz reguluje kwestie karalności czynów, takich jak kierowanie grupą terrorystyczną oraz uczestnictwo w działaniach grupy terrorystycznej (art. 2). W kwestii karalności przestępstw terrorystycznych, decyzja ramowa nakłada na państwa członkowskie obowiązek wprowadzenia do swoich ustawodawstw krajowych przepisów przewidujących skuteczne, proporcjonalne i zniechęcające kary, mogące pociągać za sobą także ekstradycję (art. 5).

Bardzo ważnym obszarem działalności antyterrorystycznej UE jest szeroko pojęte wzmocnienie współpracy operacyjnej pomiędzy właściwymi organami bezpieczeństwa wewnętrznego i sprawiedliwości państw członkowskich. Dokumentem normującym zasady tej współpracy jest decyzja Rady 2005/671/WSiSW z 20 września 2005 r. w sprawie wymiany informacji i współpracy dotyczącej przestępstw terrorystycznych.<sup>17</sup> Istotą tego dokumentu jest utworzenie w ramach Europolu i Eurojustu specjalnych baz danych, w których zbierane będą wszelkie dostępne w krajach członkowskich informacje na temat osób powiązanych z terroryzmem. W celu realizacji tej koncepcji, na każdy kraj UE nałożony został obowiązek wyznaczenia wyspecjalizowanej służby, która będzie miała dostęp do informacji dotyczących dochodzeń w sprawie przestępstw terrorystycznych prowadzonych przez organy ścigania innych państw członkowskich oraz wskazania krajowego korespondenta Eurojust do spraw terroryzmu – właściwego organu sądowego lub innego, który będzie miał dostęp do informacji dotyczących ścigania i skazywania za przestępstwa terrorystyczne. Organy te zobowiązane będą do niezwłocznej aktualizacji właściwych baz danych oraz uzyskają dostęp do wszystkich dokumentów, plików i dowodów zebranych przez inne państwa UE (art. 2). Decyzja przewiduje także możliwość doraźnego tworzenia wspólnych zespołów dochodzeniowo-śledczych (art. 3) oraz obliuguje kraje UE do priorytetowej realizacji wniosków o pomoc sądową i orzeczeń sądowych związanych z przestępstwami terrorystycznymi (art. 4).

Bardzo istotnym z punktu widzenia walki z terroryzmem obszarem aktywności UE jest także przeciwdziałanie finansowaniu terroryzmu. Zagadnienie to, ze względu na swój bardzo szeroki zakres, wymagało wprowadzenia aż kilku aktów prawa wtórnego oraz jednej strategii kierunkowej. Pierwszym z dokumentów dotyczących tej problematyki jest rozporządzenie Rady (WE) nr 2580/2001 z 27 grudnia 2001 r. w sprawie szczególnych środków restrykcyjnych, skierowanych przeciwko niektórym osobom i podmiotom mających na celu zwalczanie terroryzmu,<sup>18</sup> które uzupełnia procedury administracyjne i sądowe w odniesieniu do organizacji terrorystycznych działających na terenie Unii Europejskiej oraz w krajach trzecich. W ujęciu ogólnym, ma ono na celu stworzenie skutecznych narzędzi prawnych, służących zapobieganiu i zwalczaniu finansowania aktów

<sup>16</sup> Dz. Urz. WE L 164 z 22 czerwca 2002 r.

<sup>17</sup> Dz. Urz. UE L 253 z 29 września 2005 r.

<sup>18</sup> Dz. Urz. WE L 344 z 28 grudnia 2001 r.

terrorystycznych<sup>19</sup> poprzez zamrażanie funduszy, aktywów oraz innych zasobów gospodarczych, które mogą zostać w ten sposób użyte. Rozporządzenie to definiuje, czym są fundusze i aktywa finansowe oraz szczegółowo opisuje proces ich zamrażania (art. 1). Według zawartych tam zapisów, aktywa finansowe nie mogą, bezpośrednio lub pośrednio, być udostępniane, ani być wykorzystywane z korzyścią dla niektórych osób fizycznych lub prawnych, wymienionych na liście będącej załącznikiem do wspólnego stanowiska Rady 2001/931/WPZiB z 27 grudnia 2001 r. w sprawie zastosowania szczególnych środków w celu zwalczania terroryzmu.<sup>20</sup> Wszelkie aktywa finansowe, należące do tych osób, zostaną również zamrożone (art. 2). Banki i inne instytucje finansowe, jak również wszystkie inne osoby fizyczne lub prawne, w krajach UE są zobowiązane do niezwłocznego dostarczenia wszelkich informacji, które ułatwią przestrzeganie niniejszego rozporządzenia, z zastrzeżeniem poufności i tajemnicy zawodowej (art. 4).

Kolejnym, wspomnianym powyżej dokumentem, dotyczącym problematyki przeciwdziałania finansowaniu terroryzmu jest dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2005/60/WE z 26 października 2005 r. w sprawie przeciwdziałania korzystaniu z systemu finansowego w celu prania pieniędzy oraz finansowania terroryzmu.<sup>21</sup> Celem niniejszej dyrektywy jest zapobieganie wykorzystywaniu systemu finansowego do prania pieniędzy i finansowania terroryzmu. Stosuje się ją wobec instytucji finansowych i kredytowych, a także pewnych osób fizycznych i prawnych, pracujących w sektorze finansowym, w szczególności wobec dostawców towarów, gdy płatności realizowane w gotówce przekraczają 15 tys. EUR. Podmioty i osoby, których ta dyrektywa dotyczy, mają obowiązek przestrzegać zasady należytej staranności wobec klienta, przy uwzględnianiu ryzyka prania pieniędzy i finansowania terroryzmu oraz zgłaszać podejrzaną transakcję do krajowych jednostek analityki finansowej.<sup>22</sup>

Ostatnią, najliczniejszą grupę regulacji UE, dotyczących problematyki zapobiegania i zwalczania terroryzmu, stanowią instrumenty polityczne i strategiczne, które zaliczyć można w poczet niewiążących prawnie aktów prawa wtórnego typu *sui generis*, do których zaliczamy rezolucje, memoranda, komunikaty, programy, plany działań, strategie, konkluzje i projekty. Prezentację instrumentów politycznych i strategicznych UE, modelujących kwestie walki z terroryzmem, należy rozpocząć od krótkiej charakterystyki Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa,<sup>23</sup> ogłoszonej 12 grudnia 2003 r. przez Javiera Solanę. Dokument ten jest o tyle ważny, ponieważ na nowo definiuje środowisko bezpieczeństwa UE, które uległo znacznym zmianom po zakończeniu zimnej wojny. Na nowo określono tu główne zagrożenia dla bezpieczeństwa UE, wśród których, na pierwszym miejscu wymieniono terroryzm. Według twórców Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa, zjawisko to „stanowi narastające zagrożenie

<sup>19</sup> Do celów niniejszego rozporządzenia stosuje się definicję „aktu terrorystycznego” zawartą w art. 1 ust. 3 wspólnego stanowiska 2001/931/WPZiB. Zob. *Ibidem*, s. 208

<sup>20</sup> *Ibidem*, s. 219 i nast.

<sup>21</sup> Dz. Urz. WE L 309 z 25 listopada 2005 r.

<sup>22</sup> *Pranie pieniędzy: przeciwdziałanie wykorzystywaniu systemu finansowego*, [http://europa.eu/legislation\\_summaries/justice\\_freedom\\_security/fight\\_against\\_terrorism/l24016a\\_pl.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/justice_freedom_security/fight_against_terrorism/l24016a_pl.htm) (pobrano 23.06.2016 r.)

<sup>23</sup> *Europejska Strategia Bezpieczeństwa – Bezpieczna Europa w lepszym świecie*, Rada Unii Europejskiej. Luksemburg 2009



strategiczne dla całej Europy”,<sup>24</sup> ponieważ „[...] ma zakres światowy i jest powiązane ze zbrojnym ekstremizmem religijnym”.<sup>25</sup> Kontynuacją oraz uszczegółowieniem zawartych w Europejskiej Strategii Bezpieczeństwa wytycznych, dotyczących walki z terroryzmem, jest przyjęta 25 marca 2004 roku Deklaracja w sprawie zwalczania terroryzmu<sup>26</sup> oraz będący jej załącznikiem Plan zwalczania terroryzmu. Jak już wcześniej wspomniano, dokument ten nie wprowadza, poza stworzeniem instytucji Koordynatora ds. zwalczania terroryzmu oraz dodaniem klauzuli solidarności,<sup>27</sup> żadnych innowacyjnych regulacji dotyczących walki z terroryzmem. Najistotniejszym elementem Deklaracji jest umieszczony w załączniku Plan zwalczania terroryzmu,<sup>28</sup> gdzie określono siedem celów strategicznych zwalczania terroryzmu:

- 1) Pogłębienie międzynarodowego porozumienia i wzmocnienie międzynarodowych wysiłków w walce z terroryzmem.
- 2) Ograniczenie dostępu terrorystów do finansowych i innych źródeł ekonomicznych.
- 3) Maksymalizowanie zdolności organów UE i państw członkowskich do wykrywania, śledzenia i stawiania terrorystów przed sądem oraz do zapobiegania atakom terrorystycznym.
- 4) Zapewnienie bezpieczeństwa transportu międzynarodowego oraz skutecznego systemu kontroli granic.
- 5) Wzmocnienie zdolności UE i państw członkowskich do przeciwstawienia się konsekwencjom ataków terrorystycznych.
- 6) Odpowiednie postępowanie wobec tych czynników, które przyczyniają się, stanowią wsparcie lub zaplecze rekrutacyjne terroryzmu.
- 7) Ukierunkowanie działań w ramach stosunków zewnętrznych UE na te państwa trzecie, które powinny wzmocnić swe zdolności do zwalczania terroryzmu lub swe zobowiązania dotyczące walki z terroryzmem.

Zapoczątkowane przez zapisy Deklaracji w sprawie zwalczania terroryzmu dążenia do usystematyzowania, koordynacji i odpowiedniego wzmocnienia bardzo różnorodnych i wielopłaszczyznowych działań antyterrorystycznych UE znalazły swój finał w Strategii UE w dziedzinie walki z terroryzmem<sup>29</sup> z 30 listopada 2005 roku, która to na chwilę obecną stanowi podstawowy dokument porządkujący problematykę zwalczania terroryzmu w UE. U jej podstaw leży zobowiązanie strategiczne, które mówi, że Unia Europejska będzie „zwalczać terroryzm w skali światowej, przestrzegając praw człowieka, by Europa była miejscem bezpieczniejszym i obszarem wolności, bezpieczeństwa i sprawiedliwości dla swoich obywateli”.<sup>30</sup> Zobowiązanie to realizowane jest w ramach czterech obszarów zadaniowych:

<sup>24</sup> Ibidem, s. 3

<sup>25</sup> Ibidem

<sup>26</sup> *Deklaracja w sprawie zwalczania terroryzmu*, Monitor Europejski, wydanie specjalne, s. 186-194

<sup>27</sup> Ostatecznie zapis ten po nieznacznej modyfikacji został implementowany za pośrednictwem Traktatu Lizbońskiego do art. 222 TFUE

<sup>28</sup> Plan zwalczania terroryzmu stanowi rozszerzającą aktualizację wcześniejszego planu, zatwierdzonego 21 września 2001 r., na krótko po zamachach na World Trade Center i Pentagon. Szerzej zob. B. Górka-Winter, *Plan Unii Europejskiej zwalczania terroryzmu (25 marca 2004 r.)*, „Biuletyn PISM”, nr 13 (201)/2004

<sup>29</sup> Dok. 14469/4/05 z 30 listopada 2005 r.

<sup>30</sup> Ibidem, s. 2

- 1) Zapobieganie (*prevent*) – dotyczy zapobiegania zwracaniu się ludzi ku terroryzmowi, eliminując czynniki lub pierwotne przyczyny mogące prowadzić do radykalizacji postaw i rekrutacji kandydatów, zarówno w Europie jak i poza jej granicami.
- 2) Ochrona (*protect*) – dotyczy ochrony obywateli i infrastruktury oraz ograniczania podatności na atak terrorystyczny, między innymi poprzez poprawę bezpieczeństwa granic, systemów transportu i kluczowej infrastruktury.
- 3) Ściganie (*pursue*) – dotyczy ścigania i śledzenia terrorystów na całym terytorium UE i w skali światowej, utrudnianie im planowania akcji, podróżowania i komunikacji, niszczenie sieci wsparcia, odcinanie ich od źródeł finansowania i dostępu do narzędzi ataku oraz stawianie terrorystów przed wymiarem sprawiedliwości.
- 4) Reagowanie (*respond*) – dotyczy przygotowania państw UE do zarządzania skutkami ataków terrorystycznych i minimalizacji tych skutków, realizowane poprzez poprawę zdolność do likwidacji następstw, skoordynowanej reakcji i pomocy dla ofiar.

Zagadnienia mające kluczowe znaczenie dla walki z terroryzmem w UE, takie jak zwalczanie radykalizacji postaw oraz zwalczanie finansowania terroryzmu, rozwinięte zostały do formy oddzielnych strategii kierunkowych. Pierwsza z nich, przyjęta na szczycie Rady Europejskiej 15-16 grudnia 2005 r., Strategia UE w sprawie zwalczania radykalizacji postaw i rekrutacji do ugrupowań terrorystycznych,<sup>31</sup> porusza bardzo ważną w kontekście rosnącego zagrożenia tzw. rodzimym terroryzmem, problematykę walki z korzeniami terroryzmu, która obejmuje zwalczanie istniejących mechanizmów rekrutacji terrorystów oraz zapobieganie popularyzacji ekstremistycznych ideologii. W celu realizacji wyżej wymienionych zadań, dokument ten wyznacza trzy główne kierunki działań:<sup>32</sup>

- 1) Udaremnianie działalności siatek terrorystycznych i osób werbujących do terroryzmu.
- 2) Promowanie dominującego, umiarkowanego nurtu ideologicznego, który przeważa nad podejściem ekstremistycznym.
- 3) Aktywne upowszechnianie bezpieczeństwa, sprawiedliwości, demokracji i szans dla wszystkich.

Główny ciężar realizacji tej strategii spoczywa na Państwach Członkowskich, które wdrażają adekwatne do skali zagrożenia działania na szczeblu krajowym, regionalnym i lokalnym. Państwa Członkowskie mogą koordynować swoją politykę, wymieniać informacje o wypracowanych działaniach, określać dobre praktyki oraz pracować wspólnie nad nowymi rozwiązaniami.<sup>33</sup>

Drugą z wymienionych wcześniej strategii kierunkowych jest przyjęta 14 grudnia 2004 r. Strategia w sprawie finansowania terroryzmu,<sup>34</sup> która dokonuje przeglądu i usystematyzowania wdrożonych przez UE po zamachach z 11 września 2001 r. instrumentów prawnych i innych środków mających na celu zwalczanie finansowania terroryzmu. Dokument ten stanowi, że walka z finansowaniem działalności terrorystycznej opierać się będzie na wyspecjalizo-

<sup>31</sup> Dok. 14781/1/05 REV 1 LIMITE JAI 452 ENFOPOL 164 COTER 81 z 24 listopada 2005 r.

<sup>32</sup> Ibidem, s. 3-5

<sup>33</sup> Ibidem, s. 6

<sup>34</sup> Dok. 16089/04 JAI 566 ECOFIN 424 EF 64 RELEX 655 COTER 91, z 14 grudnia 2004 r.

wanych konwencjach i rezolucjach ONZ<sup>35</sup> oraz na 9 rekomendacjach FATF (Financial Action Task Force),<sup>36</sup> które to zostaną implementowane do prawa UE.<sup>37</sup> Strategia określa również podstawowe kierunki działań UE w tej dziedzinie.<sup>38</sup>

### **Akty prawne UE o charakterze kierunkowym**

Unia Europejska oprócz opisanych powyżej ogólnych, prawnych środków walki z terroryzmem, wdraża także szereg działań o charakterze kierunkowym, mających na celu zapewnienie jak najwyższego poziomu ochrony infrastruktury krytycznej, a co za tym idzie także infrastruktury energetycznej.

Umocowań ochrony infrastruktury energetycznej w prawie pierwotnym Unii Europejskiej należy upatrywać w zapisach art. 197 pkt. 1 *Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej* (TFUE),<sup>39</sup> który mówi że „w ramach ustanawiania lub funkcjonowania rynku wewnętrznego oraz z uwzględnieniem potrzeby zachowania i poprawy środowiska naturalnego, polityka Unii w dziedzinie energetyki ma na celu [...] zapewnienie bezpieczeństwa dostaw energii w Unii”. Artykuł ten, na podstawie zapisów pkt. 2, nadaje również Parlamentowi Europejskiemu i Radzie UE kompetencje umożliwiające ustanowienie odpowiednich przepisów kierunkowych, dotyczących ochrony szeroko pojętej infrastruktury energetycznej.<sup>40</sup> Realizację tego uprawnienia stanowi przyjęcie przez te instytucje podstawowych (bazowych), obowiązujących obecnie w UE przepisów określających standardy ochrony infrastruktury krytycznej, w poczet której zaliczamy infrastrukturę energetyczną.

Bez wątpienia najważniejszym działaniem legislacyjnym UE, zapoczątkowanym niespełna trzy miesiące po wystąpieniu serii zamachów terrorystycznych na pociągi, do których doszło 11 marca 2004 roku w Madrycie, było wprowadzenie Europejskiego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej (EPOIK). Na posiedzeniu, które odbyło się 17 i 18 czerwca 2004 r., Rada Europejska wezwała Komisję do przygotowania ogólnej strategii wzmocnienia ochrony infrastruktury krytycznej. W związku z tym, 20 października 2004 r. Komisja opublikowała komunikat zatytułowany *Ochrona infrastruktury krytycznej w walce z terroryzmem*,<sup>41</sup> zawierający propozycje usprawnienia europejskich systemów zapobiegania atakom terrorystycznym wymierzonym przeciwko infrastrukturze krytycznej, a także zwiększenia gotowości i zdolności reagowania na takie ataki. Pakiet rozwiązań przedstawionych w powyższym dokumencie, zawierający m.in. projekt europejskiego programu ochrony infrastruktury krytycznej (EPOIK) oraz propozycję utworzenia sieci ostrzegania o zagrożeniach dla infrastruktury krytycznej (SOZIK), został zaakceptowany przez Radę Europejską na posiedzeniu

<sup>35</sup> Do regulacji tych zaliczamy Konwencję ONZ o Zwalczeniu Finansowania Terroryzmu – *The International Convention for the Suppression of the Financing of Terrorism* (1999 r.) oraz Rezolucję 1373 z 28 września 2001 r. – *Threats to international peace and security caused by terrorists acts*

<sup>36</sup> Szerzej zob. <http://www.fatf-gafi.org/topics/fatfrecommendations> (pobrano 9.07.2016 r.)

<sup>37</sup> Szerzej zob. V. Mitsilegas, B. Gilmore, *The EU legislative framework against money laundering and terrorist finance: a critical analysis in the light of evolving global standards*, "International and Comparative Law Quarterly", nr 56/2007, s. 119-141

<sup>38</sup> Szerzej zob. *Dok. 16089/04*, op. cit., s. 2-7

<sup>39</sup> Dz. Urz. UE C 326 z 26 października 2012, s. 134

<sup>40</sup> Zob. *Ibidem*, s. 135

<sup>41</sup> *Ochrona infrastruktury strategicznej w walce z terroryzmem*, Komunikat Komisji do Rady i Parlamentu Europejskiego, COM(2004) 702 końcowy. Bruksela, 20.10.2004 r.

16 i 17 grudnia 2004 r., co dało „zielone światło” dla dalszych prac legislacyjnych. Już 17 listopada 2005 r. Komisja przyjęła *Zieloną księgę w sprawie europejskiego programu ochrony infrastruktury krytycznej*,<sup>42</sup> której celem było uzyskanie opinii zainteresowanych stron, w tym sektora prywatnego, na temat pożądanego modelu definiowania pojęć, takich jak np. „infrastruktura krytyczna”, „europejska infrastruktura krytyczna”, a także kwestii zależności pomiędzy poszczególnymi sektorami infrastruktury krytycznej oraz na temat pożądanego zakresu i formy EPOIK. W grudniu 2005 r., Rada ds. Wymiaru Sprawiedliwości i Spraw Wewnętrznych wezwała Komisję do przygotowania wniosku dotyczącego Europejskiego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej (EPOIK) i zdecydowała, że program ten powinien opierać się na stosowaniu podejścia obejmującego wszystkie rodzaje ryzyka, traktując jednak przeciw-działanie zagrożeniom terrorystycznym jako priorytet. Zgodnie z takim podejściem, w procesie ochrony infrastruktury należy uwzględniać zagrożenia wywołane działalnością człowieka, zagrożenia technologiczne i katastrofy naturalne; największą uwagę poświęcając jednak zagrożeniom terrorystycznym. W grudniu 2006 r. zaprezentowano Komunikat Komisji w sprawie Europejskiego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej,<sup>43</sup> określający horyzontalne ramy EPOIK, na które składają się następujące działania legislacyjne:

- Dyrektywa Rady 2008/114/WE z 8 grudnia 2008 r. w sprawie rozpoznawania i wyznaczania europejskiej infrastruktury krytycznej oraz oceny potrzeb w zakresie poprawy jej ochrony,
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 513/2014 z 16 kwietnia 2014 r., ustanawiające, w ramach Funduszu Bezpieczeństwa Wewnętrznego, instrument na rzecz wsparcia finansowego współpracy policyjnej, zapobiegania i zwalczania przestępczości oraz zarządzania kryzysowego oraz uchylające decyzję Rady 2007/125/WSiSW,
- Wniosek – Decyzja Rady w sprawie sieci ostrzegania o zagrożeniach dla infrastruktury krytycznej (CIWIN),
- Konkluzje Rady w sprawie rozwoju zewnętrznego wymiaru Europejskiego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej.

W tym samym czasie Komisja przedstawiła projekt dyrektywy mającej na celu identyfikację i wyznaczenie europejskiej infrastruktury krytycznej.<sup>44</sup> W dokumencie tym po raz pierwszy dostrzeżono problem niedostatecznej ochrony infrastruktur krytycznych o kluczowym znaczeniu dla funkcjonowania więcej niż jednego kraju UE. W celu zwiększenia skuteczności ochrony tego typu instalacji zaproponowano stworzenie wspólnych ram regulacyjnych określających procedury rozpoznawania europejskich infrastruktur krytycznych (EIK) oraz sposób tworzenia planów bezpieczeństwa (PBI) dla tych infrastruktur. Prace nad w/w projektem trwały niespełna dwa lata i zakończyły się przyjęciem 8 grudnia 2008 r. dyrektywy Rady 2008/114/WE w sprawie rozpoznawania i wyznaczania europejskiej infrastruktury

<sup>42</sup> *Zielona księga w sprawie europejskiego programu ochrony infrastruktury krytycznej*, COM(2005) 576 końcowy. Bruksela, 17.11.2005 r.

<sup>43</sup> *Komunikat Komisji w sprawie europejskiego programu ochrony infrastruktury krytycznej*, COM(2006) 786 wersja ostateczna. Bruksela, 12.12.2006 r.

<sup>44</sup> *Wniosek. Dyrektywa Rady w sprawie rozpoznania i wyznaczenia europejskiej infrastruktury krytycznej oraz oceny potrzeb w zakresie zwiększenia jej ochrony*, Komisja Wspólnot Europejskich, COM(2006) 787 wersja ostateczna. Bruksela, 12.12.2006 r.

krytycznej oraz oceny potrzeb w zakresie poprawy jej ochrony,<sup>45</sup> która stanowi obecnie główny filar Europejskiego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej. Dokument ten wprowadza do porządku prawnego UE definicje pojęć „infrastruktura krytyczna”, „europejska infrastruktura krytyczna” (EIK), „ochrona infrastruktury krytycznej” oraz pojęcie „właściciela (operatora) europejskiej infrastruktury krytycznej” (art. 2). Zgodnie z tymi zapisami, za europejską infrastrukturę krytyczną uznajemy (EIK) „infrastrukturę krytyczną, zlokalizowaną na terytorium państw członkowskich, której zakłócenie lub zniszczenie miałyby istotny wpływ na co najmniej dwa państwa członkowskie”.<sup>46</sup> To, czy wpływ jest istotny, ocenia się w odniesieniu do kryteriów przekrojowych, takich jak: ewentualna liczba ofiar śmiertelnych lub liczba rannych, wielkość strat ekonomicznych lub możliwość pogorszenia towarów lub usług, w tym potencjalne skutki ekologiczne, czy też wpływ na zaufanie opinii publicznej, cierpienia fizyczne i zakłócenie codziennego życia (art.3). Dokładne progi mające zastosowanie do kryteriów przekrojowych określone są w poszczególnych przypadkach przez państwa członkowskie, których dotyczy dana infrastruktura krytyczna. Dyrektywa nakłada ponadto na każde państwo członkowskie, na którego terytorium znajduje się instalacja wyznaczona jako EIK, obowiązek ustalenia planu ochrony infrastruktury (POI) lub środków mu odpowiadających, obejmujących rozpoznawanie ważnych składników infrastruktury, ocenę ryzyka oraz rozpoznanie, selekcję i ustalenie hierarchii ważności środków przeciwdziałania i procedur (art. 5). Dodatkowo, państwa członkowskie są zobowiązane do powołania dla każdej wyznaczonej EIK urzędnika łącznikowego ds. ochrony odpowiedzialnego za współpracę i komunikację z właściwymi krajowymi organami ds. ochrony infrastruktury krytycznej (art. 6), a także do wyznaczenia punktu kontaktowego ds. ochrony europejskiej infrastruktury krytycznej (art. 10).

W 2013 roku, po dokonaniu przeglądu dyrektywy i EPOIK, Komisja przyjęła *Dokument Roboczy Komisji w sprawie nowego podejścia do Europejskiego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej*,<sup>47</sup> uszczegóławiający kierunki prac uczestników programu w kolejnych latach.

Kolejną regulacją prawną, określającą horyzontalne ramy EPOIK, jest rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 513/2014 z 16 kwietnia 2014 r., ustanawiające, w ramach Funduszu Bezpieczeństwa Wewnętrznego, instrument na rzecz wsparcia finansowego współpracy policyjnej, zapobiegania i zwalczania przestępczości oraz zarządzania kryzysowego oraz uchylające decyzję Rady 2007/125/WSiSW,<sup>48</sup> które, poprzez ustanowienie *Funduszu Bezpieczeństwa Wewnętrznego*, zapewnia państwom członkowskim odpowiednie wsparcie finansowe dla realizacji *Strategii Bezpieczeństwa Wewnętrznego* i zapewnienia jej wprowadzenia w życie. W szczególności pomoc finansowa, zapewniana w ramach *Funduszu*, służyć ma zwiększeniu zdolności państw członkowskich i Unii do skutecznego zarządzania kryzysowego i zarządzania ryzykami związanymi z bezpieczeństwem oraz przygotowaniu i ochronie ludzi

<sup>45</sup> Dz.Urz. UE L 345/75 z 23.12.2008 r.

<sup>46</sup> Ibidem, s. 74

<sup>47</sup> *Commission Staff Working Document on a new approach to the European Programme for Critical Infrastructure Protection Making European Critical Infrastructures more secure*, SWD(2013) 318 final. Brussels, 28.8.2013 r.

<sup>48</sup> Dz.Urz. UE L 150/93 z 20.05.2014 r.

i infrastruktury krytycznej przed atakami terrorystycznymi i innymi zdarzeniami związanymi z zagrożeniem dla bezpieczeństwa (art. 3). Pula zasobów ogólnych na wdrażanie w/w działań w latach 2014-2020 wynosi 1 004 mln EUR (art. 5). Około 85% z tych środków (662 mln EUR) wydatkowanych jest za pośrednictwem wdrażanych w państwach członkowskich programów krajowych. W ramach w/w programów, które podlegają analizie i zatwierdzeniu przez Komisję, państwa członkowskie realizują w szczególności strategiczne priorytety Unii, takie jak podniesienie zdolności administracyjnej i operacyjnej państw członkowskich w dziedzinie ochrony infrastruktury krytycznej we wszystkich sektorach gospodarki (załącznik I). Pozostałą częścią zasobów (342 mln EUR) zarządza Komisja, która przyjmuje programy finansujące działania na szczeblu UE (art. 8) oraz przyznaje pomoc dla państw członkowskich w sytuacjach nadzwyczajnych (art. 10).

Dokumentem bardzo istotnym z punktu widzenia praktycznego funkcjonowania EPOiK jest Wniosek – Decyzja Rady w sprawie sieci ostrzegania o zagrożeniach dla infrastruktury krytycznej (CIWIN),<sup>49</sup> który ustanawia system informatyczny, wspierający proces wymiany informacji na temat wspólnych zagrożeń, podatności na zagrożenia oraz odpowiednich środków i strategii zmniejszających ryzyko związane z ochroną infrastruktury krytycznej. Sieć CIWIN umożliwi wysyłanie państwom członkowskim i Komisji ostrzeżeń o zbliżającym się ryzyku i zagrożeniach dla infrastruktury krytycznej oraz pozwala na wymianę informacji dotyczących ochrony infrastruktury krytycznej (forum internetowe dla upoważnionych użytkowników). Portal CIWIN, po przejściu fazy testowej, został uruchomiony i działa od połowy stycznia 2013 r.<sup>50</sup>

Jedynym, przyjętym na forum UE, dokumentem, poruszającym bardzo istotny z punktu widzenia funkcjonowania EPOiK obszar współpracy międzynarodowej, jest Projekt Konkluzji Rady w sprawie rozwoju zewnętrznego wymiaru Europejskiego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej.<sup>51</sup> Przedstawia on ogólny zarys koncepcji współpracy państw członkowskich UE z państwami trzecimi, na których terytorium zlokalizowana jest infrastruktura, która w przypadku wystąpienia zakłóceń lub zniszczenia może mieć wpływ na infrastrukturę UE. W dokumencie tym podkreślono konieczność intensyfikacji współpracy na rzecz wymiany dobrych praktyk i zwiększenia zdolności w zakresie ochrony infrastruktury krytycznej we właściwych państwach trzecich/regionach trzecich, szczególnie w sektorze transportowym i sektorze energii, co ma pomóc minimalizować ryzyko i negatywny wpływ ewentualnych zakłóceń funkcjonowania zagranicznej infrastruktury krytycznej na Unię lub państwa członkowskie. Niestety, pomimo niezaprzeczalnej konieczności intensyfikacji współpracy międzynarodowej w walce z terroryzmem, do tej pory nie wypracowano żadnej wiążącej prawnie regulacji dotyczącej zewnętrznego wymiaru ochrony infrastruktury krytycznej.

<sup>49</sup> Wniosek – Decyzja Rady w sprawie sieci ostrzegania o zagrożeniach dla infrastruktury krytycznej (CIWIN), KOM(2008) 676 wersja ostateczna. Bruksela, 27.10.2008 r.

<sup>50</sup> Critical Infrastructure Warning Information Network (CIWIN), strona internetowa Komisji Europejskiej, [https://ec.europa.eu/home-affairs/what-we-do/networks/critical\\_infrastructure\\_warning\\_information\\_network\\_en](https://ec.europa.eu/home-affairs/what-we-do/networks/critical_infrastructure_warning_information_network_en) (pobrano 12.12.2016 r.)

<sup>51</sup> Projekt konkluzji Rady w sprawie rozwoju zewnętrznego wymiaru europejskiego programu ochrony infrastruktury krytycznej, DOK 10679/11. Bruksela, 27.05.2011 r.

### Podsumowanie

Podsumowując powyższe badania należy stwierdzić, że traktaty ustanawiające Unię Europejską w obecnej formie stanowią solidną podstawę polityczną do tworzenia narzędzi prawnych służących ochronie infrastruktury energetycznej przed aktami terrorystycznymi. Na całokształt działań, podejmowanych na forum UE w celu zapewnienia ochrony infrastruktury energetycznej przed aktami terrorystycznymi, składają się zarówno działania o charakterze ogólnym, do których zaliczamy przeciwdziałanie i zwalczanie zjawiska terroryzmu, jak i działania kierunkowe (sektorowe), wdrażane w celu zapewnienia jak najwyższego poziomu ochrony infrastruktury krytycznej. Działania ogólne oraz kierunkowe posiadają swój wymiar wewnętrzny (legislacyjny i instytucjonalizacyjny) oraz zewnętrzny (współpraca międzynarodowa UE). Biorąc pod uwagę globalny charakter zjawiska terroryzmu i zagrożeń z nim związanych, działaniem wymagającym pilnej uwagi UE jest obecnie wypracowanie prawnie usankcjonowanych mechanizmów współpracy UE z państwami trzecimi w dziedzinie ochrony infrastruktury krytycznej.

### Streszczenie

Terroryzm stanowi obecnie jedno z najpoważniejszych zagrożeń dla bezpieczeństwa europejskiej infrastruktury energetycznej. Doceniając wagę problemu, Unia Europejska przedsięwzięła szereg wielopłaszczyznowych działań legislacyjnych o charakterze ogólnym i kierunkowym (sektorowym), które w sposób kompleksowy modelują kwestie zapobiegania i zwalczania aktów terroryzmu skierowanych przeciwko infrastrukturze krytycznej. Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie ram prawnych ochrony infrastruktury energetycznej przed aktami terroryzmu w Unii Europejskiej.

**Słowa kluczowe:** terroryzm, ochrona, infrastruktura energetyczna, Unia Europejska, akty prawne

### Summary

Terrorism is now one of the most serious threats to the security of European energy infrastructure. Appreciating the importance of the problem, the European Union has undertaken a series of multi-faceted legislative action of a general and directional (sector) nature, which comprehensively model the issues of prevention and suppression of acts of terrorism directed against critical infrastructure. The purpose of this paper is to present the legal framework for protecting energy infrastructure against acts of terrorism in the European Union.

**Key words:** terrorism, security, energy infrastructure, European Union laws

### Bibliografia

1. Biedrzycki J., *Awaria we Włoszech z 28 września 2003 r. – raport*, <http://www.cire.pl/pliki/2/wawaria.pdf> (pobrano 20.12.2016 r.)
2. *Commission Staff Working Document on a new approach to the European Programme for Critical Infrastructure Protection Making European Critical Infrastructures more secure*, SWD(2013) 318 final. Brussels, 28.8.2013 r.
3. *Critical Infrastructure Warning Information Network (CIWIN)*, strona internetowa Komisji Europejskiej, [https://ec.europa.eu/home-affairs/what-we-do/networks/critical\\_infrastructure\\_warning\\_information\\_network\\_en](https://ec.europa.eu/home-affairs/what-we-do/networks/critical_infrastructure_warning_information_network_en) (pobrano 12.12.2016 r.)

4. *Deklaracja w sprawie zwalczania terroryzmu*, Monitor Europejski, wydanie specjalne
5. Dok. 14469/4/05 z 30 listopada 2005 r.
6. Dok. 14781/1/05 z 24 listopada 2005 r.
7. Dok. 16089/04 z 14 grudnia 2004 r.
8. Dz. Urz. UE C 326 z dn. 26 października 2012.
9. Dz. Urz. UE L 150/93 z 20 maja 2014 r.
10. Dz. Urz. UE L 253 z 29 września 2005 r.
11. Dz. Urz. UE L 345/75 z 23 grudnia 2008 r.
12. Dz. Urz. WE L 164 z 22 czerwca 2002 r.
13. Dz. Urz. WE L 309 z 25 listopada 2005.
14. Dz. Urz. WE L 344 z 28 grudnia 2001 r.
15. Górka-Winter B., *Plan Unii Europejskiej zwalczania terroryzmu (25 marca 2004 r.)*, „Biuletyn PISM”, nr 13 (201)/2004
16. *Komunikat Komisji w sprawie europejskiego programu ochrony infrastruktury krytycznej*, COM(2006) 786 wersja ostateczna. Bruksela, 12.12.2006 r.
17. Mitsilegas V., Gilmore B., *The EU legislative framework against money laundering and terrorist finance: a critical analysis in the light of evolving global standards*, "International and Comparative Law Quarterly", nr 56/2007
18. O'Neill M., *The Evolving EU Counter-Terrorism Legal Framework*. New York 2012
19. *Ochrona infrastruktury strategicznej w walce z terroryzmem*, Komunikat Komisji do Rady i Parlamentu Europejskiego, COM(2004) 702 końcowy. Bruksela, 20.10.2004 r.
20. *Pranie pieniędzy: przeciwdziałanie wykorzystywaniu systemu finansowego*, [http://europa.eu/legislation\\_summaries/justice\\_freedom\\_security/fight\\_against\\_terrorism/l24016a\\_pl.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/justice_freedom_security/fight_against_terrorism/l24016a_pl.htm) (pobrano 23.06.2016 r.)
21. *Projekt konkluzji Rady w sprawie rozwoju zewnętrznego wymiaru europejskiego programu ochrony infrastruktury krytycznej*, DOK 10679/11. Bruksela, 27.05.2011 r.
22. Rozewicz Z., *Awaria katastrofalna północnoamerykańskiego systemu elektroenergetycznego 2003 r.*, „Energetyka”, nr 4/2014
23. *Strategia bezpieczeństwa wewnętrznego Unii Europejskiej – Dążąc do europejskiego modelu bezpieczeństwa*. Luksemburg 2010
24. *Threats to international peace and security caused by terrorists acts*, <http://www.fatf-gafi.org/topics/fatfrecommendations> (pobrano 9.07.2016 r.)
25. *Wniosek – Decyzja Rady w sprawie sieci ostrzegania o zagrożeniach dla infrastruktury krytycznej (CIWIN)*, KOM(2008) 676 wersja ostateczna. Bruksela, 27.10.2008 r.
26. *Wniosek. Dyrektywa Rady w sprawie rozpoznania i wyznaczenia europejskiej infrastruktury krytycznej oraz oceny potrzeb w zakresie zwiększenia jej ochrony*, Komisja Wspólnot Europejskich, KOM(2006) 787 wersja ostateczna. Bruksela, 12.12.2006 r.
27. *Zielona księga w sprawie europejskiego programu ochrony infrastruktury krytycznej*, COM(2005) 576 końcowy. Bruksela, 17.11.2005 r.



## **BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE W KONTEKŚCIE BUDOWY ELEKTROWNI JĄDROWEJ W POLSCE**

### **Wprowadzenie**

Według informacji podawanych przez Ministerstwo Energetyki, można się spodziewać, że około 2030 roku w Polsce pojawi się pierwsza elektrownia jądrowa (EJ). Niniejszy artykuł ma na celu przybliżenie zdolności regulacyjnych elektrowni jądrowych nowej generacji oraz wskazanie wybranych cech elektrowni jądrowych, które są istotne z punktu widzenia stabilnej i efektywnej pracy systemu elektroenergetycznego.

### **Bilans popytu i podaży**

W systemie elektroenergetycznym energia wytwarzana musi być natychmiast konsumowana tak, aby zachować odpowiednią częstotliwość – 50 Hz w systemie europejskim. W przypadku, gdy w systemie elektroenergetycznym produkowana będzie zbyt duża ilość energii, częstotliwość wzrośnie, co po przekroczeniu krytycznej wartości może doprowadzić do uszkodzenia maszyn wirujących, np. turbozespołów. Z drugiej strony, jeżeli ilość konsumowanej energii będzie większa niż ilość energii wytwarzanej, to częstotliwość będzie spadać. Jej spadek spowoduje zmniejszenie wydajności silników, co w konsekwencji zaburzy pracę fabryk i elektrowni.<sup>1</sup> W celu utrzymania odpowiedniej częstotliwości, wykonywane są odpowiednie działania organizacyjne, mające na celu przygotowanie pożądanej ilości jednostek wytwórczych do pracy oraz działania interwencyjne, polegające na regulacji mocy generowanej jednostek wytwórczych.<sup>2</sup> W systemie elektroenergetycznym stosuje się regulacje: pierwotną, wtórną i trójną.<sup>3</sup>

### **Normalna praca systemu**

W literaturze często spotyka się podział źródeł energii na odnawialne i nieodnawialne, natomiast, z punktu widzenia stabilności pracy systemu, źródła można podzielić na takie, których moc można regulować i takie, których regulować się nie da. Źródła nieregulowane umożliwiają pozyskanie energii odnawialnej, np. wiatru, ale mają negatywny wpływ na pracę systemu elektroenergetycznego, ponieważ ich niestabilna praca może powodować wahania częstotliwości w systemie elektroenergetycznym. W krajowym systemie częstotliwość jest stabilna, m.in. dzięki dużej ilości konwencjonalnych elektrowni wyposażonych w tradycyjne turbozespoły, które zapewniają inercję dzięki dużej masie i prędkości obrotowej, wynoszącej 3000 obr/min.<sup>4</sup> W przypadku, gdy inercja maszyn wirujących nie jest w stanie pokryć zmian częstotliwości, elektrownie

---

<sup>1</sup> ReGrid, *Frequency and voltage regulation in electrical grids*, 2013

<sup>2</sup> J. Kreusel, *Energiewirtschaft in liberalisierten Elektrizitätsmärkten Vorlesung an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen*. Aachen 2014

<sup>3</sup> ENTSO-E, *Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators*, 2013

<sup>4</sup> P. Tielens, D. Hertem, *Grid Inertia and Frequency Control in Power Systems with High Penetration of Renewable*

konwencjonalne biorą udział w regulacji pierwotnej, wtórnej i trójnej. W przypadku elektrowni jądrowych, masa turbosespołu może wynosić nawet 1100 ton.<sup>5</sup>

W systemach o zbyt małej inercji występują problemy z utrzymaniem odpowiedniej częstotliwości. Ten niekorzystny efekt jest szczególnie widoczny w sieciach microgrid, w których jest duży udział źródeł nieregulowanych. W niektórych przypadkach konieczne jest wprowadzenie dodatkowych maszyn wirujących, np. kół zamachowych, które stabilizują system.<sup>6</sup>

### Zdolności regulacyjne elektrowni

W tabeli nr 1 przedstawiono zdolności regulacyjne typów elektrowni obecnie eksploatowanych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE) oraz elektrowni jądrowych. Jak można zauważyć, elastyczność typowej elektrowni jądrowej w normalnych warunkach pracy jest zbliżona do elektrowni opalanej węglem kamiennym i jest lepsza od elektrowni opalanych węglem brunatnym. Można więc stwierdzić, że wprowadzenie EJ do polskiego systemu nie spowoduje pogorszenia zdolności regulacyjnych KSE.

**Tabela nr 1:** Zdolności regulacyjne elektrowni

Rodzaj elektrowni	Szybkość regulacji
Elektrownie opalane węglem kamiennym	2-4%/min
Elektrownie opalane węglem brunatnym	1-2%/min
Elektrownie jądrowe	1-5%/min
Elektrownie gazowe i olejowe	8%/min
Zespoły wodne	30%/min

**Źródło:** M. Sobierajski, *Regulacja częstotliwości – pierwotna, wtórna, trójna. Zasady międzynarodowej współpracy systemów. Automatyka SCO*. Wrocław 2016

W przypadku awarii elementu systemu elektroenergetycznego może dojść do dużego zachwiania równowagi między mocą produkowaną a generowaną i pojawienia się odchylenia częstotliwości. W takiej sytuacji jednostki wytwórcze muszą bardzo szybko ustabilizować częstotliwość, a następnie przywrócić częstotliwość znamionową. Elektrownie jądrowe mają możliwość awaryjnej zmiany mocy, np. rosyjska konstrukcja VVER umożliwia awaryjne zmiany mocy z prędkością  $\pm 20\%$  z prędkością 10%/min, co, w przypadku wystąpienia dużych zakłóceń, można wykorzystać do stabilizacji systemu.<sup>7</sup>

Zdaniem autora, warto uwzględnić awaryjną regulację mocy EJ w algorytmie obrony KSE,<sup>8</sup> przy czym konieczne jest wykonanie szczegółowych analiz w celu określenia optymalnego wykorzystania możliwości EJ.

Elastyczność pracy EJ można dodatkowo zwiększać dzięki zainstalowaniu układu służącego do odbioru ciepła wykorzystywanego przez odbiorców komunalnych lub przemysłowych. Na świecie 74 elektrownie pracują w trybie

<sup>5</sup> Alstom, Flamanville 3

<sup>6</sup> K. Łowczowski, *Producer and storage portfolio of low voltage microgrids*. Aachen 2013

<sup>7</sup> Nuclear Energy Agency, *Technical and Economic Aspects of Load Following with Nuclear Power Plant*; K. Łowczowski, *Współpraca elektrowni jądrowych z systemem elektroenergetycznym*. Poznań 2016

<sup>8</sup> R. Kuczyński, R. Paprocki, J. Strzelbicki, *Obrona i Odbudowa Krajowego Systemu Elektroenergetycznego*, 2005

kogeneracji i łączny okres eksploatacji tych elektrowni wynosi 700 lat.<sup>9</sup> Można więc powiedzieć, że technologia jest sprawdzona.

Ciekawym rozwiązaniem, służącym do bilansowania mocy w stanach awaryjnych w systemie, jest odłączenie EJ od systemu elektroenergetycznego, a następnie podłączenie do systemu w ciągu godziny lub dwóch, w zależności od warunków, w jakich odłączono EJ od sieci. Rozwiązanie takie zostało opracowane w Niemczech.<sup>10</sup>

Głównym ograniczeniem szybkości zmian mocy w elektrowniach jądrowych jest oddziaływanie między pastylką a koszulką paliwową (ang. *pellet cladding*<sup>11</sup>). Istnieje prawdopodobieństwo, że w okresie eksploatacji elektrowni, który wynosi około 60 lat i nierzadko jest wydłużany np. o 10 lat, dla elektrowni w Belgii<sup>12</sup> opracowane zostaną nowe materiały, które pozwolą na zwiększenie elastyczności elektrowni jądrowej.

Niekorzystną cechą elektrowni jądrowych jest ograniczenie zdolności regulacyjnych, spowodowanych zmniejszeniem reaktywności paliwa po około 90% czasu trwania cyklu paliwowego.<sup>13</sup> Tę negatywną właściwość można jednak łatwo zminimalizować poprzez wybudowanie elektrowni złożonej z kilku bloków energetycznych i ustalenie harmonogramów wymiany paliwa w taki sposób, aby paliwo w poszczególnych blokach wymieniano w różnym terminie.

### Dyspozycyjność elektrowni

Dyspozycyjność elektrowni jądrowych, według danych producentów, wynosi ponad 90%, np. 93% dla amerykańskiej konstrukcji AP1000.<sup>14</sup> Dużą poprawę, w stosunku do elektrowni jądrowych poprzednich generacji, uzyskano dzięki skróceniu czasu wymiany paliwa, uproszczeniu konstrukcji, co zaowocowało mniejszym prawdopodobieństwem awarii (AP1000) oraz dzięki wprowadzeniu systemów redundantnych, które umożliwiły wykonywanie przeglądów podczas pracy elektrowni (EPR). Dyspozycyjność EJ jest więc również porównywalna, a nawet lepsza od dyspozycyjności elektrowni węglowych, np. dyspozycyjność dla bloku 858 MW elektrowni Bełchatów wynosi około 88%.<sup>15</sup>

Warto nadmienić, że elektrownie jądrowe, podobnie jak elektrownie opalane węglem, mogą współpracować z różnymi układami chłodzenia – skraplacz chłodzony wodą morską, np. elektrownia Flamanville, wodą słodką, mogą także wykorzystywać chłodnie kominowe, np. elektrownia Bugey we Francji. Wybór chłodni kominowej lub wody morskiej pozwoliłby na uniezależnienie się elektrowni od poziomu wód i temperatury w rzekach, co było jedną z przyczyn ograniczeń w dostawie energii w sierpniu 2015 r.<sup>16</sup>

<sup>9</sup> H. Safa, *Nuclear Cogeneration*. Saclay 2015

<sup>10</sup> H. Ludwig, Salnikova, U. Waas, *Lastwechselfähigkeiten deutscher KKW*, 2010

<sup>11</sup> J. Kubowski, *Problemy współpracy elektrowni jądrowych z systemem elektroenergetycznym*, „Energetyka”, 2010

<sup>12</sup> P. Teffer, *Belgian nuclear reactors get 10 extra years of life*

<sup>13</sup> K. Łowczowski, *Nuclear power plant in the context of Polish Power System*, 2015

<sup>14</sup> IAEA, Status report 81 – Advanced Passive PWR (AP 1000)

<sup>15</sup> M. Wijata, S. Papuga, *Doświadczenia z etapu rozruchu i pierwszych tygodni eksploatacji bloku 858 MW w elektrowni Bełchatów*

<sup>16</sup> FAE, *Power deficit in the Polish power system in August 2015*

### Uwarunkowania techniczno-ekonomiczne

Istnieją różne źródła energii elektrycznej, a ich instalacja w systemie elektroenergetycznym jest uzasadniona przez uwarunkowania: środowiskowe, np. ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>, ekonomiczne oraz bezpieczeństwo pracy systemu.<sup>17</sup> Nie bez znaczenia są również uwarunkowania prawne.<sup>18</sup> Prawdłowo zbudowany system elektroenergetyczny powinien być złożony ze źródeł, które umożliwią realizację wyżej wymienionych celów. Teoretycznie system elektroenergetyczny mógłby być zbudowany głównie z elektrowni jądrowych – taki system od kilkudziesięciu lat prawidłowo funkcjonuje we Francji. Natomiast należy jasno podkreślić, że istnieją ograniczenia techniczno-ekonomiczne, które narzucają ograniczenia w ilości zbudowanych elektrowni jądrowych. Zdaniem autora, łączna moc EJ – 6 MW, zaproponowana w PE2050, jest wartością na miarę możliwości Polski. Niemniej jednak warto wykonać niezależne analizy mixu energetycznego. W tym celu można posłużyć się np. narzędziem udostępnianym przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej – IAEA.<sup>19</sup>

Ważnym czynnikiem wpływającym na koszt eksploatacji systemu jest ilość jednostek utrzymywanych w rezerwie.<sup>20</sup> Ich ilość zależy między innymi od największej pracującej jednostki i dlatego w analizie kosztów elektrowni jądrowych, o mocy jednostkowej większej niż moc największego bloku w Polsce, powinno się uwzględnić koszty ponoszone na skutek zwiększenia ilości jednostek pracujących jako rezerwowe źródła energii.

Zgodnie z powszechnym przekonaniem, elektrownie jądrowe powinny pracować z maksymalnym obciążeniem, ponieważ dzięki temu koszty produkcji energii elektrycznej są najmniejsze. Po wykonaniu dokładniejszych analiz okazuje się jednak, że zależność ma zastosowanie jedynie dla pojedynczych elektrowni. W ujęciu globalnym korzystniejsze może być zmniejszanie mocy elektrowni jądrowej, ponieważ dzięki temu można utrzymać w pracy konwencjonalne źródła energii, np. elektrownie opalane węglem kamiennym i uniknąć strat związanych ze stygnięciem bloku i ponownym jego nagrzewaniem.<sup>21</sup> Jednocześnie zmniejsza się moc największej jednostki podczas doliny nocnej, co pozwala na znaczną minimalizację ryzyka utraty stabilności.

Wprowadzenie optymalizacji polegającej na zmniejszaniu mocy EJ wymagałoby wprowadzenia odpowiednich mechanizmów. Być może zysk z tytułu globalnej optymalizacji można by podzielić między różne jednostki wytwórcze, proporcjonalnie do wielkości mocy zainstalowanej. Być może właściciel EJ mógłby otrzymać rekompensatę finansową za zmniejszanie mocy z tytułu świadczenia usługi poprawy stabilności systemu.

<sup>17</sup> B. Bonin, *The place of nuclear power in the future energy mix*, 2015

<sup>18</sup> R. Szczerbowski, *Wpływ uwarunkowań prawnych dotyczących ochrony środowiska na produkcję energii elektrycznej w Polsce*

<sup>19</sup> IAEA, *IAEA Tools and Methodologies for Energy System Planning and Nuclear Energy System Assessments*. Austria 2009

<sup>20</sup> K. Kilk, M. Valdma, *Determination of optimal operating reserves in power systems*, Estonian Academy Publishers, 2009

<sup>21</sup> Y. Xu, Z. Wang, W. Sen, S. Chen, Y. Wu i B. Zhao, *Unit commitment model considering nuclear power plant load following*, 2011

### Rozmiar jednostki

W najbliższych latach zostanie oddany do eksploatacji nowy blok w elektrowni Kozienice, który będzie miał największą moc jednostkową w polskim systemie – 1075MW.<sup>22</sup> System elektroenergetyczny musi być w stanie wytrzymać utratę największej jednostki wytwórczej, będącej w eksploatacji. Zgodnie z wiedzą ekspercką, maksymalny rozmiar jednostki wytwórczej w systemie nie powinien przekraczać w systemie 10% mocy jednostek eksploatowanych.<sup>23</sup> Przy czym należy podkreślić, że jest to wartość szacunkowa i konieczne jest wykonanie specjalistycznych badań mających na celu potwierdzenie możliwości przyłączenia jednostki do sieci elektroenergetycznej. W tym celu należy między innymi przeprowadzić badania na wirtualnym modelu elektrowni.<sup>24</sup> W początkowej fazie wykorzystuje się model typowej elektrowni jądrowej, a po wybraniu konkretnego modelu, np. ATMEA, badania należałoby powtórzyć na modelu tej właśnie elektrowni.

Oczywiście istnieją odstępstwa od reguły 10%. Przykładem jest elektrownia jądrowa w Armenii,<sup>25</sup> ale wtedy bezpieczeństwo energetyczne kraju byłoby uzależnione od krajów sąsiadujących z Polską. Obecnie Polska jest co prawda przyłączona do systemu europejskiego, ale doświadczenia z sierpnia 2015 roku pokazują, że pomoc od sąsiadów może nie nadejść ani w krytycznym momencie ani nawet po długim okresie oczekiwania.<sup>26</sup>

Na rynku oferowane są małe elektrownie jądrowe o mocy jednostkowej do 300 MW. Wiodącą pozycję w eksploatacji małych elektrowni jądrowych mają Rosja oraz Stany Zjednoczone. Przykładową konstrukcją jest amerykańska elektrownia SMR.<sup>27</sup> Jej zaletą jest między innymi modułowa konstrukcja, która umożliwia łatwy transport oraz szybką budowę elektrowni. Bardzo ważne, z punktu widzenia stabilnej pracy systemu, jest minimalizowanie skutków awarii, jak również długotrwałych przestoi. Oczywiście elektrownia ta ma również możliwość dopasowania mocy generowanej do warunków występujących w systemie. Wadą rozwiązań modułowych jest natomiast większy koszt inwestycji na jednostkę mocy, w porównaniu do dużych jednostek.<sup>28</sup> Można się również spodziewać, że koszty eksploatacji dużych elektrowni będą mniejsze, ponieważ mniejsza będzie liczba urządzeń zainstalowanych w elektrowni. W kontekście dużych elektrowni zaletą są bardzo mocno rozbudowane systemy bezpieczeństwa.

Oczywiście istnieją również elektrownie jądrowe o średniej mocy jednostkowej. Interesującymi elektrowniami są amerykański AP1000 oraz francuska konstrukcja ATMEA, której pierwsza elektrownia jest obecnie budowana w Turcji, a także rosyjska konstrukcja VVER. Wszystkie wymienione elektrownie są elektrowniami typu PWR. Są one najczęściej stosowanymi elektrowniami na

<sup>22</sup> J. Popczyk, *Referencyjny Bilans Zasobów na polskim Rynku Energii Elektrycznej*

<sup>23</sup> IAEA, *Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants*

<sup>24</sup> M. Shaat, H. Mahmoud i S. Kotb, *Influence of Egyptian Electrical Grid and nuclear power plants under disturbances based on PSS/E*, 2012; *Modeling, Task Force on Turbine-Governor, Dynamic Models for Turbine-Governors in Power System Studies*, 2013

<sup>25</sup> IAEA, *Nuclear Power in Countries with Limited Electrical Grid Capacities: The Case of Armenia*, Vienna, 2015

<sup>26</sup> Forum Analiz Energetycznych, *Power deficit in the Polish power system in August 2015*, 2015

<sup>27</sup> K. Paserba, *The Westinghouse SMR: Simpler, smaller, and safer*, 2014

<sup>28</sup> Scientist, *Union of Concerned, Small Isn't Always Beautiful Safety, Security, and Cost Concerns about Small Modular Reactors*, 2013

świecie, ale warto podkreślić, że istnieją również inne rodzaje elektrowni, np. kanadyjskie CANDU, które są eksploatowane np. w Rumuni.<sup>29</sup>

Za wyborem rozmiaru jednostki przemawiają liczne kryteria, np. czas budowy, koszt budowy i koszty eksploatacji. Niemniej jednak wskazanie maksymalnego rozmiaru jednostki, którą można bezpiecznie przyłączyć do sieci, mogłoby znacząco uprościć proces przetargowy i związane z tym długie negocjacje.

Według najnowszych doniesień z Ministerstwa Energetyki, moc pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce ma wynosić około 1000 MW.

### **Wybrane czynniki wpływające na bezpieczeństwo eksploatacji**

Na bezpieczeństwo eksploatacji elektrowni jądrowej duży wpływ ma stan techniczny elektrowni jądrowej, a także wyszkolenie załogi eksploatującej elektrownie. Polska, jak również każdy kraj decydujący się na budowę elektrowni jądrowej, jest w dość korzystnej sytuacji, ponieważ może korzystać z doświadczeń eksploatacyjnych użytkowników dotychczas zbudowanych EJ. Liczne dane na temat awarii oraz opisy sposobów eksploatacji są udostępniane, np. przez agencję IAEA.<sup>30</sup> Z kolei na stronie kanadyjskiej agencji atomowej można znaleźć np. gotowe formularze, służące do sprawdzania stanu technicznego EJ.

Łatwość zdobycia danych oraz kursy organizowane przez kraje eksploatujące elektrownie jądrowe pozwalają na zdobycie cennej wiedzy na temat EJ. Wiedzy teoretycznej nie należy jednak przeceniać, szczególnie w początkowych latach eksploatacji EJ. Doświadczenia z eksploatacji EJ na świecie pokazują bowiem, że w początkowych latach dyspozycyjność elektrowni może odbiegać od wartości deklarowanych przez producenta, co częściowo można tłumaczyć właśnie brakiem doświadczenia kadr. Rozwiązaniem problemu mogłoby być wykształcenie kadr poza granicami lub zatrudnienie pracowników zagranicznych, posiadających odpowiednie doświadczenie. Znaczenie w kształceniu kadr mają również symulatory elektrowni jądrowych, np. C-PWR.<sup>31</sup>

Niezaprzeczalny wpływ na bezpieczeństwo systemu elektroenergetycznego, jak również samej elektrowni jądrowej, ma prawidłowe funkcjonowanie sieci elektroenergetycznej. Operator polskiej sieci przesyłowej – PSE wykonuje szereg działań, które mają na celu zwiększenie bezpieczeństwa pracy sieci.<sup>32</sup>

### **Awarie katastrofalne**

Jak już wcześniej wspomniano, EJ mogą brać udział w obronie systemu, ale kwestia bezpieczeństwa energetycznego to bardzo poważna sprawa i należy rozważać również najbardziej pesymistyczne scenariusze, a więc wystąpienie blackoutu. Ze względu na reakcje jądrowe zachodzące w elektrowniach jądrowych, w przypadku wystąpienia blackoutu EJ, które zostały awaryjnie odłączone od systemu elektroenergetycznego, są włączane do systemu na samym końcu.<sup>33</sup> Pozytywną stroną EJ nowych generacji jest natomiast większe prawdopodobieństwo udanego przejścia EJ do pracy wyspowej, co może znacznie

<sup>29</sup> World Nuclear News, *China signs Candu deals with Romania and Argentina*

<sup>30</sup> IAEA, *Operating experience with nuclear power stations in member states in 2004*, 2004

<sup>31</sup> INSTN, *C-PWR Quick start guide*

<sup>32</sup> PSE, *Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2016-2025*, 2015

<sup>33</sup> K. Sroka, I. Grządzielski, *Elektrowni jądrowe w warunkach awarii katastrofalnej*, 20

ułatwić odbudowę systemu. Przykładowo, amerykańska konstrukcja AP1000 została wyposażona w system zrzutu pary, dzięki któremu sztucznie można spowolnić zmiany mocy odczuwane przez reaktor i utrzymać ten reaktor w pracy.<sup>34</sup>

### **Budowa elektrowni jądrowej**

Od pewnego czasu mówi się o ryzyku wystąpienia niedoboru mocy w polskim systemie elektroenergetycznym.<sup>35</sup> Problem jest poważny i dlatego konieczne jest podjęcie zdecydowanych działań, mających na celu wybranie odpowiedniej elektrowni oraz rozpoczęcie i zagwarantowanie ciągłości jej budowy. Nadzieje na pozytywne rozwiązanie sprawy daje powołanie ministerstwa Energetyki, które ma odpowiednie uprawnienia do wprowadzenia koniecznych zmian.

### **Podsumowanie**

Elektrownie jądrowe są eksploatowane od wielu lat, ponieważ są bezpiecznym i stabilnym źródłem energii elektrycznej. Doświadczenia eksploatacyjne elektrowni jądrowych poprzedniej generacji z Francji pokazują, że elektrownie jądrowe mogą brać udział w regulacji częstotliwości w systemie. Z kolei doświadczenia niemieckie pokazały, że elektrownie jądrowe mogą współpracować z odnawialnymi źródłami energii. Zalety elektrowni jądrowych powodują, że nowe kraje inwestują w technologię jądrową. Na podstawie wstępnej analizy można powiedzieć, że komercyjnie oferowane elektrownie jądrowe mogłyby skutecznie wspierać polski system niezależnie od jego przyszłego kształtu, jak również sposobu funkcjonowania rynku energii, przy czym wybór elektrowni o lepszych parametrach ruchowych korzystnie wpłynie na poprawę stabilności systemu oraz ułatwi integrację odnawialnych źródeł energii w przyszłości.

W celu prawidłowej integracji elektrowni jądrowej z systemem elektroenergetycznym zaproponowano modyfikację algorytmu obrony KSE tak, aby wykorzystywać zdolności awaryjnej regulacji mocy EJ. Ponadto proponuje się opracowanie narzędzia do ekonomicznego rozdziału obciążeń, które uwzględni tryb pracy nadążnej elektrowni, co powinno pozwolić na ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery, dzięki ograniczeniu strat związanych z włączaniem i wyłączaniem elektrowni konwencjonalnych. Mechanizm ten korzystnie wpłynie na ograniczenie starzenia się elektrowni konwencjonalnych.

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono problematykę regulacji częstotliwości w systemie elektroenergetycznym. Przedstawiono również zdolności regulacyjne różnych rodzajów elektrowni w normalnych warunkach pracy systemu, przy czym szczególną uwagę skupiono na elektrowniach jądrowych, które, według zapowiedzi Ministerstwa Energii, mają pojawić się w polskim systemie elektroenergetycznym jeszcze przed 2030 rokiem. Przedstawiono możliwości udziału elektrowni jądrowej w regulacji pierwotnej oraz w dopasowaniu mocy do dobowych zmian obciążenia systemu elektroenergetycznego. Zaproponowano wykonanie analiz mających na celu wykorzystanie awaryjnych zdolności regulacyjnych elektrowni jądrowych

<sup>34</sup> Westinghouse, *AP1000 Design Control Document- Steam and Power Conversion System*

<sup>35</sup> A. Wieczerek-Krusińska, *Polskiej energetyce grozi wielki brak mocy*, 2016

w algorytmie obrony systemu elektroenergetycznego. Zwrócono również uwagę na konieczność uwzględnienia elektrowni jądrowych podczas rozdziału obciążeń oraz opisano korzyści wynikające z ograniczenia mocy generowanej przez elektrownie jądrowe.

**Słowa kluczowe:** elektrownie jądrowe, bezpieczeństwo, stabilność, regulacja, system elektroenergetyczny

### Summary

The paper describes frequency regulation mechanisms. Regulation capabilities of different power plants are presented. Attention is paid on nuclear power plants, which according to Polish Ministry of Energy will be commissioned before 2030. A few operating modes of nuclear power plant – frequency control and load following are presented. It is proposed to modify the algorithm of Polish Power System Protection and make use of emergency regulation capabilities of nuclear power plants. It is also proposed to develop a new procedure for unit commitment in Polish Power System. Benefits arising from reduction of power generated in nuclear power plants are presented.

**Key words:** nuclear power plant, safety, security, regulation, power system

### Bibliografia

1. Alstom, Flamanville 3
2. Bonin B., *The place of nuclear power in the future energy mix*. Paris 2015
3. ENTSO-E, Network Code for Requirements for Grid Connection Applicable to all Generators, 2013
4. Forum Analiz Energetycznych, Power deficit in the Polish power system in August 2015, 2015
5. IAEA, Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants, Vienna, 2012
6. IAEA, IAEA Tools and Methodologies for Energy System Planning and Nuclear Energy System Assessments, Austria, 2009
7. IAEA, Nuclear Power in Countries with Limited Electrical Grid Capacities: The Case of Armenia, Vienna, 2015
8. IAEA, Operating experience with nuclear power stations in member states in 2004, 2004
9. IAEA, Status report 81 - Advanced Passive PWR (AP 1000)
10. INSTN, C-PWR Quick start guide
11. Kilk K., Valdma M., Determination of optimal operating reserves in power systems, *Estonian Academy Publishers*, 2009
12. Kreusel J., Energiewirtschaft in liberalisierten Elektrizitätsmärkten Vorlesung an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Aachen, 2014
13. Kubowski J., *Problemy współpracy elektrowni jądrowych z systemem elektroenergetycznym*, „Energetyka”, 2010
14. Kuczyński R., Paprocki R., Strzelbicki J., *Obrona i Odbudowa Krajowego Systemu Elektroenergetycznego*, „Elektroenergetyka”, tom 1, 2005
15. Ludwig H., Salnikova T., Waas U., *Lastwechselfähigkeiten deutscher KKW*, 2010



16. Łowczowski K., *Nuclear power plant in the context of Polish Power System*, 2015
17. Łowczowski K., *Producer and storage portfolio of low voltage microgrids in islanding-mode*, Aachen, 2013
18. Łowczowski K., *Współpraca elektrowni jądrowych z systemem elektroenergetycznym*. Poznań 2016
19. Nuclear Energy Agency, *Technical and Economic Aspects of Load Following with Nuclear Power Plant*
20. Paserba K., *The Westinghouse SMR: Simpler, smaller, and safer*, 2014
21. PSE, *Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2016-2025*, Konstancin-Jeziorna, 2015
22. ReGrid, *Frequency and voltage regulation in electrical grids*, 2013
23. Safa H., *Nuclear Cogeneration*. Paris 2015
24. Shaat M., Mahmoud H., Kotb S., *Influence of Egyptian Electrical Grid and nuclear power plants under disturbances based on PSS/E*, 2012
25. Sobierajski M., *Wykład: Regulacja częstotliwości – pierwotna, wtórna, trójna. Zasady międzynarodowej współpracy systemów*. Automatyka SCO. Wrocław 2016
26. Sroka K., Grzędzielski I., *Elektrownie jądrowe w warunkach awarii katastrofalnej*
27. Szczerbowski R., *Wpływ uwarunkowań prawnych dotyczących ochrony środowiska na produkcję energii elektrycznej w Polsce*
28. Task Force on Turbine-Governor Modeling, *Dynamic Models for Turbine-Governors in Power System Studies*, 2013
29. Teffer P., *Belgian nuclear reactors get 10 extra years of life*, [Online]. Dostępne: <https://euobserver.com/beyond-brussels/129795>
30. Tielens P., Hertem D., *Grid Inertia and Frequency Control in Power Systems with High Penetration of Renewables*
31. Union of Concerned Scientist, *Small Isn't Always Beautiful Safety, Security, and Cost Concerns about Small Modular Reactors*, 2013
32. Westinghouse, *AP1000 Design Control Document*
33. Wieczerek-Krusińska A., *Polskiej energetyce grozi wielki brak mocy*, Dostępne: <http://www.rp.pl/Energianews/305239834-Polskiej-energetyce-grozi-wielki-brak-mocy.html> (pobrano 31 07 2016 r.)
34. Wijata M., Papuga S., *Doświadczenia z etapu rozruchu i pierwszych tygodni eksploatacji bloku 858 MW w elektrowni Bełchatów*, „Nowe Technologie Energetyczne”
35. World Nuclear News, *China signs Candu deals with Romania and Argentina*, dostępne: <http://www.world-nuclear-news.org/NN-China-signs-Candu-deals-with-Romania-and-Arentina-2507145.html> (pobrano 31.07.2016 r.)
36. Xu Y., Wang Z., Sen W., Chen S., Wu Y., Zhao B., *Unit commitment model considering nuclear power plant load following*, 2011

**Wojciech ZACHARCZUK, Karolina MADERA-BIELAWSKA, Andrzej TATAREK**  
Politechnika Wroclawska  
Wydział Mechaniczno-Energetyczny

## **NUCLEAR POWER IN THE CONTEXT OF POLAND'S LONG-TERM ENERGY POLICY**

Rise in demand for electric power in Poland is emphasized in a number of forecasts for the coming years. An excessive dependence of our energy sector on fossil fuels is still the subject of discussion and raises concerns. Additionally, Poland has to meet EU commitments related to the reduction of greenhouse gas emissions and finally face the problem of limited possibilities of use of renewable energy sources. All these arguments tend to make the necessary and significant changes to the Polish electricity generation structure by developing low or zero emission technologies. In this context, nuclear power, based on modern, highly-efficient, low waste and safe nuclear technology, seems to be the most promising option because of zero CO<sub>2</sub> emissions and stable supply of electricity.

### **Introduction**

In today's world, life without electricity seems to be no longer possible, or at least hard to imagine in industrialized countries. Mankind has mastered a different methods of transforming available forms of primary energy into electric power. One of the most efficient ways of electricity generation is by fission of the heavy isotopes e.g. Uranium-235 in nuclear power plants.

*Nuclear technology, like many other technological innovations, has been ambiguous from the outset. Its initial development was military – in the 1940s, and during Second World War research have been focused on nuclear bomb production. Then attention turned to the peaceful purposes of nuclear fission, but in spite of this the use of atomic energy may still raises some concerns. Another reason that some people are afraid of nuclear power are a serious accidents that have occurred at nuclear facilities in the past. Although most of them were human error made, they caused an overall decline in public confidence in nuclear power. Are nuclear power plants safe? Should Poland invest in nuclear energy?*

### **1. Nuclear power in the world - the current status**

The first commercial nuclear power plants started operation in the 1950s – NPP Obninsk (USSR, 1954) and NPP Calder Hall (Great Britain, 1956) – beginning a new era in the energy sector. Since that time a number of nuclear power plants with different types of reactors have been designed and built including PWR, BWR, RBMK, CANDU, GCR. *Number of reactors in operation worldwide are presented in Table 1.*

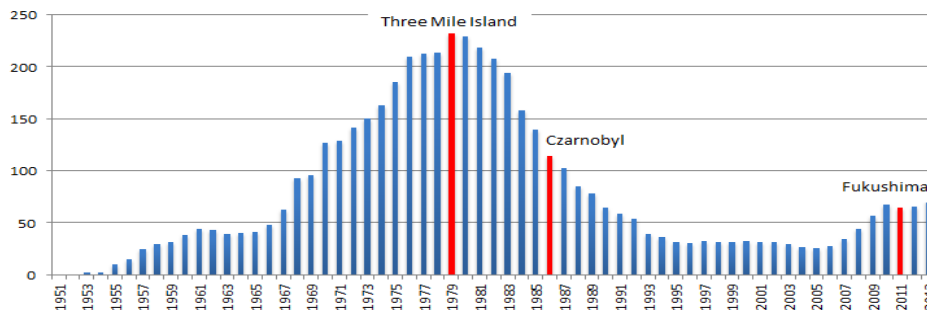
**Table 1:** Operable civil nuclear reactors by type – July 2016

ReactorType	ReactorTypeDescriptiveName	Number of Reactors	Total Net Electrical Capacity, MW <sub>e</sub>
BWR	Boiling Light-Water-Cooled and Moderated Reactor	78	75208
FBR	Fast Breeder Reactor	3	1369
GCR	Gas-Cooled, Graphite-Moderated Reactor	14	7720
LWGR	Light-Water-Cooled, Graphite-Moderated Reactor	15	10219
PHWR	Pressurized Heavy-Water-Moderated and Cooled Reactor	49	24634
PWR	Pressurized Light-Water-Moderated and Cooled Reactor	288	269901

**Source:** International Atomic Energy Agency <http://www.iaea.org> (10.07.2016)

The dynamic development of nuclear power, observed in the 1970s, has been significantly slowed down due to a Three Mile Island accident (USA, 1979) and Chernobyl accident (USSR, 1986). In many countries, the construction of the new nuclear units was stopped, in other the national government came under pressure, mainly from ecological parties, to permanently shut down the operating nuclear power plants. Nuclear power however, has not been abandoned, and in the 90s, a marked revival of this technology was observed. Over this period of time, a number of improvements in nuclear reactors design have been made resulting in enhanced safety, reduced capital cost, higher thermal efficiency and longer operational lifetime. In 2004, the annual production of electricity in nuclear power plants was equal to 714 TWh and increased by approx. 40% in comparison with 1990. The main arguments for the development of nuclear power were: growth in electricity demand, high investment costs for renewable energy sources, crude oil and natural gas prices rising.<sup>1</sup>

Figure 1 shows a number of nuclear reactors under construction worldwide in 1951 – 2013.

**Figure 1:** Number of nuclear reactors under construction (1951 – 2013)

**Source:** <http://atom.edu.pl/index.php/ej-w-polsce/energetyka-jadrowa-na-swiecie.html> (10.07.2016)

<sup>1</sup> O. Skonieczny, *Rozwój energetyki atomowej w Polsce z perspektywy światowej, europejskiej i polskiej*

There are currently 447 operable civil nuclear reactors around the world, with total capacity installed of 389 051 MWe, and further 62 under construction. A list of reactors, by country, operable and under construction, are presented in Table 2. Compared to the previous year, the number of nuclear reactors built has decreased. Delays in the implementation of a majority of Nuclear Power Programmes among the countries that do not utilize this source of energy yet (eg. Bangladesh, Jordan, Lithuania, Poland, Saudi Arabia, Turkey and Vietnam) have been reported as well. One of the main reason for this was an accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant that occurred on 11 March 2011 following a massive earthquake and series of tsunami waves. The severity of the nuclear event at *Fukushima* Daiichi has been rated 7 on the International Nuclear and Radiological Event Scale (*INES*).

**Table 2:** Operable and under construction nuclear reactors by country – July 2016

	Country	Number of reactors in service	Total Net Electrical Capacity [MW]	Number of reactors under construction	Total Net Electrical Capacity [MW]
1.	Argentina	3	1632	1	25
2.	Armenia	1	375	-	-
3.	Belarus	-	-	2	2218
4.	Belgium	7	5913	-	-
5.	Brazil	2	1884	1	1245
6.	Bulgaria	2	1926	-	-
7.	Canada	19	13524	-	-
8.	China	35	30402	20	20500
9.	Czech Republic	6	3930	-	-
10.	Finland	4	2752	1	1600
12.	France	58	63130	1	1630
13.	Germany	8	10799	-	-
14.	Hungary	4	1889	-	-
15.	India	21	5308	6	3907
16.	Islamic Republic of Iran	1	915	-	-
17.	Japan	43	40290	2	2650
18.	Republic of Korea	25	23133	-	-
19.	Mexico	2	1440	-	-
20.	Netherlands	1	482	-	-
21.	Pakistan	3	690	3	1644
22.	Republic of Korea	-	-	3	4020
23.	Romania	2	1300	-	-
24.	Russia	35	25443	8	6582
25.	Slovakia	4	1814	2	880
26.	Slovenia	1	688	-	-
27.	SouthAfrica	2	1860	-	-
28.	Spain	7	7121	-	-
29.	Sweden	10	9651	-	-
30.	Switzerland	5	3333	-	-

	Country	Number of reactors in service	Total Net Electrical Capacity [MW]	Number of reactors under construction	Total Net Electrical Capacity [MW]
31.	Ukraine	15	13107	2	1900
32.	United Arab Emirates	-	-	4	5380
33.	United Kingdom	15	8918	-	-
34.	United States of America	100	100350	4	4468
	<b>Total</b>	<b>447</b>	<b>389051</b>	<b>62</b>	<b>61249</b>

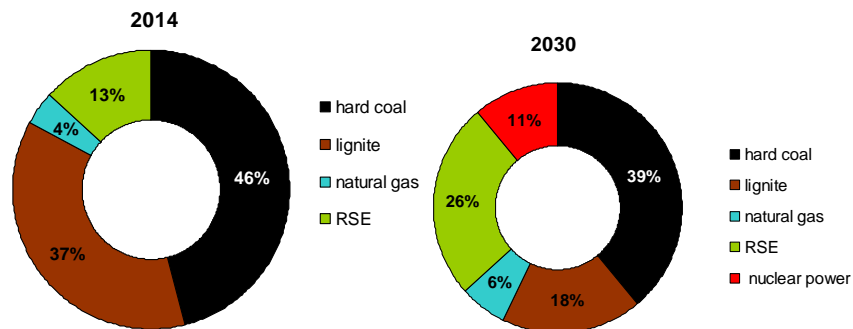
**Source:** International Atomic Energy Agency <https://www.iaea.org/PRIS/World/Statistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx> (10.07.2016)

## 2. Energy sector in Poland – current status and challenges

The Polish energy sector is historically based on fossil fuels, which occur abundantly in Poland. Two fuels playing a key role are hard coal and lignite, which over the last few decades account for more than 50% of primary energy supply. The gross national electricity production in 2014 was approx. 157 TWh while installed capacity at the National Electricity System amounted to 38,1 GW. Approx. 87% of electric power was generated by power plants using traditional fuels (hard coal, lignite, gas) and remaining 13% from renewable energy sources.<sup>2</sup>

In the near future, the Polish energy sector will require significant investments. It results from dynamic growth of Polish economy as well as rising *citizens' standard of living pushing primary energy demand up*. According to the forecast prepared by Polish Information and Foreign Investment Agency, the domestic demand for electrical energy in Poland will increase approx. 38% from 159TWh in 2014 to 220 TWh in 2030.<sup>3</sup>

**Figure 2:** Electricity production by sources



**Source:** Ministerstwo Gospodarki

<sup>2</sup> PSE – Polskie Sieci Elektrowni

<sup>3</sup> Polish Information and Foreign Investment Agency

The need to invest is also a natural consequence of aging of the existing power plants. Over 55% of power units in Poland are more than 30 years old while 15% of them are over 50 years old and qualify for immediate retirement or modernization. Only within the next few years, necessary investment will include the replacements of units of few thousand megawatts of capacity.

Modernization is also motivated by climate and environment policy in the context of European Union regulations. Poland, as an EU member, has to fulfill obligations toward 2030 Climate and Energy Framework. According to that regulation members states are required to cut greenhouse gas emissions by 40% until 2030, compared with 1990 levels, as well as to increase energetic efficiency and the share of renewable energy consumption up to at least 27% (European Council, 2014). Similar regulations apply to dust, fly-ash and nitrogen oxides from combustion plants.

### **3. Long-term Polish energy policy – the role of nuclear power**

The growing demand for energy due to economic development, aging coal-fired power units together with rising cost of coal mining and environmental obligations, press Poland to take firm action. Although, in the mid-term, the energy sector will remain dominated by fossil fuels, the change in the structure of generating capacity is inevitable.

According to Energy Policy of Poland until 2030 responsible and balanced long-term energy strategy should strive for a mix of low-greenhouse energy sources including low-CO<sub>2</sub> coal-fired as well as CO<sub>2</sub>-free nuclear power generation for baseload electricity supply, natural gas for peaking loads and renewable where suitable and appropriate.<sup>4</sup> Since current electricity production strongly relies on fossil fuels, it is envisioned that developing generation technologies based on nuclear power and renewable energy sources would significantly reduce future greenhouse gas emissions and thus mitigate the effects of climate change.

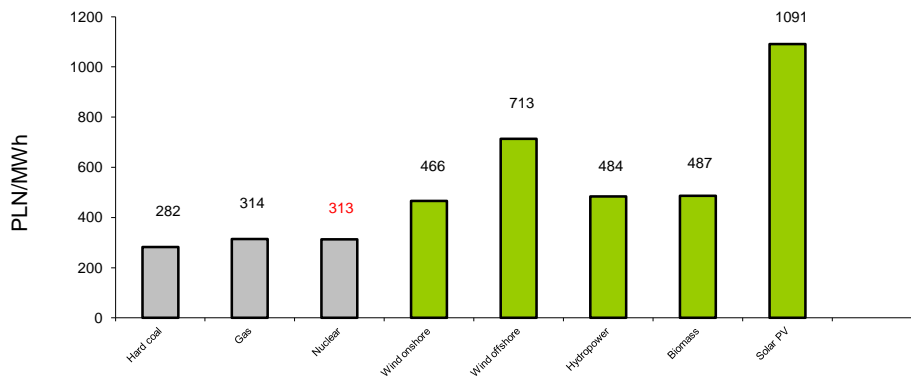
Of these two CO<sub>2</sub>-free technologies, the nuclear power seems to be far more cost-effective and can successfully compete with other available electricity generating technologies. The study released by Ernst & Young, prepared in cooperation with Polish Wind Energy Association and European Wind Energy Association has shown that the price for electricity from nuclear power is some 50% and 130% lower than from wind onshore and wind offshore respectively, and some 250% lower than from solar photovoltaic (Figure 3).

Similar results have been obtained by PricewaterhouseCoopers (PwC) financial service which conducted an indicative estimate of the cost of electricity from various energy sources as an alternative to fossil fuel power plants. It was reported that, when policy instruments in the form of taxes, rebates and grants are excluded, the wind power is some 50% more expensive than nuclear. It is important to note that the cost of waste management and decommissioning with respect to nuclear power had been included in the calculation.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z 10 listopada 2009 r., Ministerstwo Gospodarki

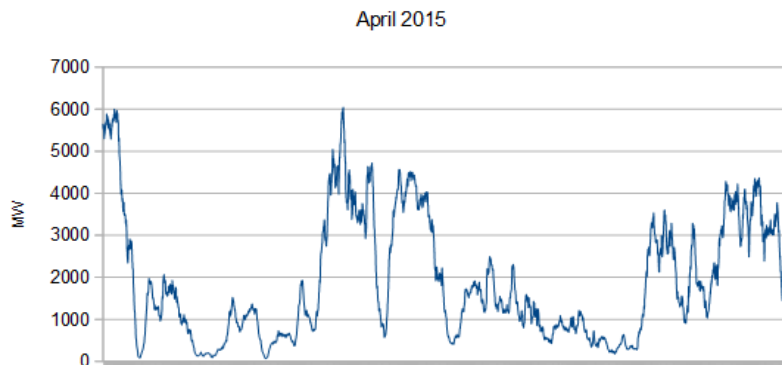
<sup>5</sup> PricewaterhouseCoopers PwC financial service, <http://www.pwc.com/gx/en/industries/financial-services.html> (access 10.12.2016 r.)

**Figure 3: Cost of electricity generation by sources (2012)**

**Source:** *Wpływ energetyki wiatrowej na wzrost gospodarczy w Polsce, Raport przygotowany przez Ernst & Young we współpracy z Polskim Stowarzyszeniem Energetyki Wiatrowej oraz European Wind Energy Association, 2012*

In addition, most of the renewable, although intensively developed in many countries, tend to have lower capacity factors than dispatchable nuclear power and fossil-fuelled generation technologies. Since wind and solar power production varies according to prevailing weather conditions, their capacity is seldomly utilized in more than 30% over the course of a week or year. For this reason, they are rather intrinsically unsuited to meet the demand for continuous and reliable supply on a large scale – which comprises demand in developed countries.

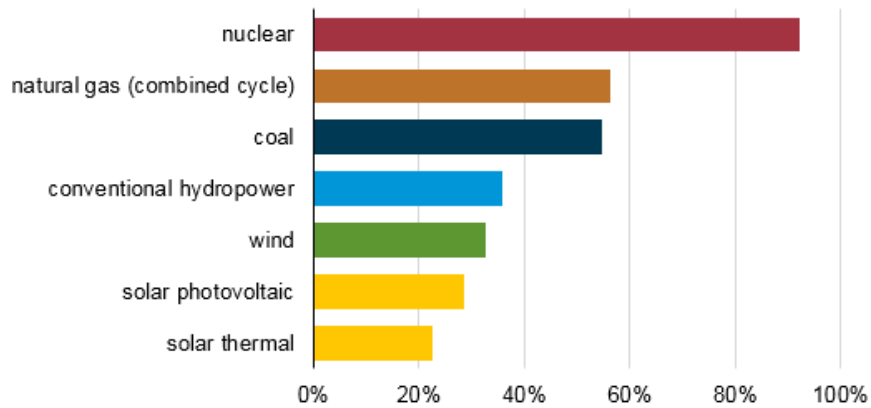
For example, so-called "silent wind" periods, when the wind turbines don't work because of insufficient wind power can take up to two weeks, while the total number of days during the year when their production capacity does not exceed 1% of installed capacity can reach about 50. It means considerable amount of generation capacity needs to be reserved in order to maintain the stability of the power grid. Figure 4 presents the variation of cumulative electricity production from wind farms in April 2015, UK.

**Figure 4: Wind power generation in UK**

**Source:** <http://www.gridwatch.templar.co.uk> (10.12.2016)

In contrast to most of the renewable energy technologies, nuclear power plants are characterized by sufficiently higher capacity utilization factor, which in 2015 was higher than 90% on average. For comparison, wind turbines and solar photovoltaic systems were operated at average capacity factors of 33% and 29%, respectively and it was even lower than average capacity factors for natural gas combined-cycle units (57%) and coal-fired units (56%) (Figure 5). Due to this, the nuclear power is often considered to be a good option to supply base-load demand as well as to back-up variable renewable energy systems.

**Figure 5:** Capacity utilization factors of selected utility scale electricity generating technologies (2015)



**Source:** Energy Information Administration <http://www.eia.gov> (10.12.2016)

Furthermore, in case of nuclear power, the fuel price represents a small percentage (about 5%) of the cost of electricity. As a result, the costs of nuclear electricity tend to be relatively insensitive to changes in the fuel prices. For this reason, nuclear power plants, with 60-years operational lifetime, can be proposed as inflation-proof investment against raising fuel prices to help stabilize electricity cost.

#### 4. Polish Nuclear Power Programme (PNPP)

Early in 2005, the Polish cabinet decided that to ensure the national energy security and to meet domestic greenhouses gases *emission*, conversion of the electricity generation structure is required. It was followed, in January 2009, by government resolution calling for the development of nuclear power plants as the most cost-effective zero-emission technology. The priorities of the Polish energy policy in relation to the nuclear power have been then defined by the Council of Ministers in the document entitled Energy Policy of Poland until 2030.<sup>6</sup> It assumes diversification of the electricity generation structure by introducing nuclear energy while hard coal and lignite will continue to be the basic fuel in the Poland's energy mix but its share will decline.

<sup>6</sup> *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z 10 listopada 2009 r., Ministerstwo Gospodarki



In order to deliver the government's objectives, PGE, as Poland's largest power group by generating capacity, announced in 2009 plans to build two nuclear power plants. In January 2010, PGE EJ1 company to develop nuclear power within the PGE Capital Group, was set up. It is responsible for the preparation of investment process, site selection, permitting and subsequent construction and operation of the first nuclear power plant.

In 2014 copper mining group KGHM and two major Polish power utilities Tauron and ENEA decided to join PGE's nuclear project. The agreement provides to acquisition of 10% stake in PGE EJ1 for each partner, with PGE retaining 70%. The shareholders have also agreed to proportionally co-finance all activities related to the execution of the investment project during first three years of initial phase.

On 28th of January 2014, the Council of Ministers, by Resolution no. 15/2014, approved the "Polish Nuclear Power Program" (PNPP). Its major objective is to implement nuclear power in Poland in order to assure a long term security of electricity supply, to maintain electricity prices at levels acceptable by the national economy and the society as well as to reduce emission of air pollutants (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) and greenhouse gases (CO<sub>2</sub>).

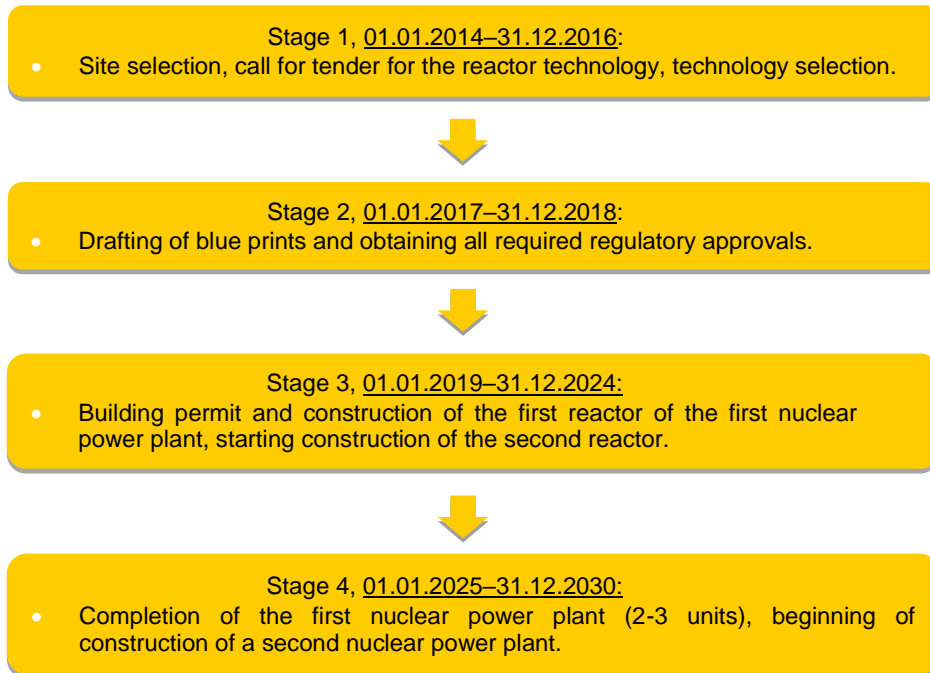
This objective is to be implemented by:<sup>7</sup>

- preparing and updating the legal framework for the development and maintenance of nuclear power in the country;
- identifying potential locations for the construction of further nuclear power plants;
- assuring the highest level of safety and security for nuclear facilities;
- introducing a rational and efficient procedures for radioactive waste and spent nuclear fuel management, including construction of a new repositories for low- and medium-level radioactive waste;
- developing of institutional background for nuclear power;
- enhancing and maintaining public support for the nuclear power development;
- increasing level of social education in the field of nuclear power;
- providing qualified staff for the development and maintenance of the nuclear power;
- developing powerful and efficient scientific and research facilities for nuclear power;
- enhancing innovation and technological level of Polish industry;
- providing conditions for reliable supplies of fuel to nuclear power plants;
- preparing the National Power System for the development of nuclear power;
- providing stable economic and financial conditions for the development of nuclear power.

---

<sup>7</sup> Ministerstwo Gospodarki, Pełnomocnik Rządu do spraw Polskiej Energetyki Jądrowej, *Program polskiej energetyki jądrowej*. Warszawa, styczeń 2014 r.

The schedule of the PNPP involves four major stage as follows:<sup>8</sup>



The PNPP envisages two nuclear power plants to be built with total capacity of 6,000 MWe (2 x 3,000MWe) to provide 15% of power, with coal's share falling to 60%. According to Energy Market Agency, that used to provide analyses for Poland's Ministry of Economy and major Polish utilities, the first two nuclear power units will be connected to the grid in 2026 and 2030, respectively.<sup>9</sup> Another, newer analysis is less optimistic assuming the *commissioning of the first unit* in 2030.

Among several possible locations for the first NPP only two are currently under consideration: Lubiatowo-Kopalino (in the municipality Choczewo) and Żarnowiec (in the municipalities Gniewino and Krokowa) sites, both close to the Baltic coast. The final selection of the location is expected by the end of 2017.

The government report states that Poland will select a Generation III and III+ nuclear reactors with proven LWR technology. Gen III/III+ are essentially Gen II nuclear reactors while offering significant improvements in safety and economics. These improvement include:

- simpler and more rugged design, making the reactors easier to operate and less vulnerable to operational disturbances,
- greater use of passive safety features that do not require active controls or operator intervention but instead rely on natural phenomena to mitigate the impact of abnormal events,
- reduced probability of occurrence of accidents involving core melting,

<sup>8</sup> Ibidem

<sup>9</sup> *The Prognosis 2013-ARE*, June, 2013 by Agencja Rynku Energii

- higher resistance against external hazards including the impact of a large aircraft,
- standardized designs to reduce licensing and construction time, as well as capital cost,
- higher burn-up to increase fuel use and reduce the amount of radioactive waste produced,
- longer operating lifetime, typically 60 years, potentially to greatly exceed 60 years.

All of these estimates point towards selection of a KEPKO APR1400, Westinghouse AP1000 or AREVA/EDF EPR. The final decision about technology vendor will be made by investor considering such issues as constructability and timeliness of project completion.

The construction cost for the first Polish NPP with modern Gen III/III+ reactors is estimated at EUR 10-15 billion that would be EUR 3,000-4,000/kW. For comparison, the capital cost per kW installed at the EPR reactor built at Flamanville 3 has exceeded EUR 5,000 while in case of AP1000, being constructed at V.C. Summer NPP, USA, it was predicted to EUR 3,300. Since this would be a serious burden to the State Treasury, impacting the state-owned companies' budgets, effective financing model will need to be created facing such issues like falling power prices weakening the financial viability of the project.

### **Streszczenie**

W artykule opisano stan obecny energetyki jądrowej w świecie. Przedstawiono aktualną strukturę produkcji energii elektrycznej w Polsce oraz perspektywy jej rozwoju w kontekście nowych wyzwań. Wskazano potrzebę rozwoju niskoemisyjnych źródeł energii, z uwzględnieniem energetyki jądrowej. Omówiono główne cele i założenia Programu Polskiej Energetyki Jądrowej oraz przeanalizowano jego harmonogram.

**Słowa klucze:** energia jądrowa, polska polityka energetyczna, Program polskiej energetyki jądrowej

### **Summary**

The article presents the current status of nuclear power in the world. The structure and the main challenges facing the Polish energy sector have been described as well. The need for development of CO<sub>2</sub>-free power generation technologies including nuclear was pointed out. Finally, the main objectives, assumptions and the schedule of the "Polish Nuclear Power Programme" has been summarized.

**Key words:** nuclear energy, Polish energy policy, Polish Nuclear Power Programme

### **Bibliography**

1. Energy Information Administration <http://www.eia.gov> (pobrano 10.12.2016 r.)
2. <http://www.gridwatch.templar.co.uk> (pobrano 10.12.2016 r.)
3. International Atomic Energy Agency <http://www.iaea.org> (pobrano 10.07.2016 r.)
4. Ministerstwo Gospodarki

5. Ministerstwo Gospodarki, Pełnomocnik Rządu do spraw Polskiej Energetyki Jądrowej, *Program polskiej energetyki jądrowej*. Warszawa, styczeń 2014 r.
6. Polish Information and Foreign Investment Agency
7. *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z 10 listopada 2009 r., Ministerstwo Gospodarki
8. PricewaterhouseCoopers PwC financial service <http://www.pwc.com/gx/en/industries/financial-services.html> (pobrano 10.12.2016 r.)
9. PSE – Polskie Sieci Elektorenergetyczne
10. Skonieczny O. *Rozwój energetyki atomowej w Polsce z perspektywy światowej, europejskiej i polskiej*
11. Stan energetyki jądrowej na świecie, <http://atom.edu.pl/index.php/ej-w-polsce/energetyka-jadrowa-na-swiecie.html> (pobrano 10.07.2016 r.)
12. *The Prognosis 2013-ARE*, June, 2013 by Agencja Rynku Energii.
13. *Wpływ energetyki wiatrowej na wzrost gospodarczy w Polsce*, Raport przygotowany przez Ernst & Young we współpracy z Polskim Stowarzyszeniem Energetyki Wiatrowej oraz European Wind Energy Association, 2012

## **SYSTEMY BEZPIECZEŃSTWA W ELEKTROWNI Z REAKTOREM AP1000**

### **1. Wstęp**

W przypadku różnego typu awarii, w obecnie eksploatowanych elektrowniach jądrowych, wyłączenie reaktora wydaje się być rzeczą stosunkowo łatwą. Istotnym problem staje się natomiast niezawodny i skuteczny odbiór ciepła od rdzenia już po wyłączeniu samego reaktora. Jak powszechnie wiadomo, procesy związane z rozpadem jąder atomowych cechują się pewną bezwładnością. Samo wygaszenie reakcji łańcuchowej nie może ich przerwać, w związku z czym wygaszanie pierwiastków, doprowadzające do ich rozpadu i uwalniania energii cieplnej, przebiegają nieprzerwanie. Powoduje to generację tak zwanego ciepła powyłłączeniowego, które doprowadza do nagrzewania się reaktora, nawet po jego wyłączeniu. W związku z tym, bardzo istotnym problemem jest zagwarantowanie odbioru ciepła powyłłączeniowego, bez względu na rodzaj awarii, jak np. rozerwanie rurociągów obiegu chłodzenia, zniszczenie pomp cyrkulacyjnych czy brak zasilania elektrycznego. Wybuch reaktora jądrowego, ze względu na ujemny temperaturowy współczynnik reaktywności (wskutek podgrzania lub odparowania ilość wody w rdzeniu zmaleje, przez co neutrony będą gorzej spowalniane), jest niemożliwy, aczkolwiek brak odbioru ciepła z rdzenia może doprowadzić do jego przegrzania i stopienia, co mogłoby doprowadzić do wydostania się produktów rozszczepienia poza pastylki i koszulki paliwowe. Kolejnymi barierami uniemożliwiającymi przedostanie się produktów rozszczepienia do otoczenia są ściany obiegu pierwotnego oraz szczelna obudowa bezpieczeństwa, wykonana w postaci kopuły ze zbrojonego betonu.<sup>1</sup>

Poniższa praca przedstawia opis systemów bezpieczeństwa stosowanych w elektrowniach jądrowych na przykładzie elektrowni z reaktorem AP1000. Szczególną uwagę poświęcono pasywnym systemom bezpieczeństwa oraz sposobom, dzięki którym możliwy jest odbiór ciepła powyłłączeniowego i przeciwdziałanie nadmiernemu wzrostowi temperatury w rdzeniu.

### **2. Reaktor AP1000**

#### **2.1. Informacje ogólne**

Reaktor AP1000 firmy Westinghouse o mocy 3400MWt jest reaktorem PWR (ang. *Pressurized Water Reactor* – reaktor wodny ciśnieniowy), bazującym na konstrukcji reaktora AP600. Stanowi on najistotniejszy element elektrowni, opierającej się na standardowej konfiguracji zawierającej dwa obiegi pierwotne oraz dwie wytwornice pary. Projekt reaktora AP1000 zawiera zaawansowane systemy bezpieczeństwa oraz wiele uproszczeń w stosunku do swojego poprzednika, dzięki czemu zminimalizowano zagrożenia oraz koszty budowy jednostki, jej eksploatacji oraz konserwacji. Zastosowanie w energetyce jądrowej jest możliwe dzięki wykorzystaniu sprawdzonej technologii, bazującej na około 40.

---

<sup>1</sup> A. Strupczewski, *Ochrona przed zagrożeniami po awariach w elektrowniach jądrowych*, „Biuletyn PSE”, wrzesień 2005, nr 9 (171), s. 10-27

latach doświadczenia przy projektowaniu i eksploatacji ciśnieniowych reaktorów wodnych. Reaktory PWR stanowią 74% wszystkich reaktorów lekkowodnych na świecie, a większość z nich jest oparta na technologii firmy Westinghouse.<sup>2</sup>

AP1000 został zaprojektowany z myślą osiągnięcia jak najwyższego stopnia bezpieczeństwa. Projekt został oparty na sprawdzonej technologii, jednak poszerzono go o systemy bezpieczeństwa, bazujące na zjawiskach naturalnych, takich jak swobodny przepływ grawitacyjny, cyrkulacja, konwekcja czy siły sprężonego gazu. W owych systemach nie wykorzystuje się urządzeń aktywnych, takich jak pompy, wentylatory czy generatory Diesla; ich celem jest prawidłowe funkcjonowanie bez dodatkowych systemów wspomagania. Ponadto, zmniejszona została liczba oraz złożoność działań operatora w przypadku awarii reaktora. Większość procesów została zautomatyzowana, dzięki czemu rola operatora w takich wypadkach jest praktycznie znikoma.

Przy projektowaniu AP1000 główną uwagę zwraca się na funkcjonalność oraz łatwość konserwacji jednostki. W przeciwieństwie do innych obecnie wykorzystywanych reaktorów, konstrukcja AP1000 została mocno uproszczona przy jednoczesnym zwiększeniu funkcjonalności. Zredukowane i udoskonalone systemy bezpieczeństwa pozwalają zmniejszyć wymagania dotyczące nadzoru, dzięki czemu możliwe jest również uproszczenie specyfikacji technicznych.

W porównaniu do standardowych reaktorów PWR o zbliżonej mocy, AP1000 cechuje zmniejszona liczba urządzeń. Przykładowo, liczba pomp jest mniejsza o 35%, jest o 50% mniej zaworów bezpieczeństwa klasy ASME, o 80% mniej przewodów rurowych, dodatkowo w ogóle nie stosuje się pomp w układach bezpieczeństwa. Między innymi właśnie dlatego AP1000 jest o wiele bardziej zwartym blokiem niż inne konstrukcje o podobnej mocy. Zmniejszenie liczby urządzeń powoduje, że możliwe jest umiejscowienie niemal wszystkich instalacji bezpieczeństwa wewnątrz obudowy bezpieczeństwa. Dzięki temu, liczba rur, która przechodzi przez obudowę bezpieczeństwa, została zredukowana o blisko 55% w porównaniu z obecnie wykorzystywanymi reaktorami. Zwarta konstrukcja powoduje zmniejszenie powierzchni przeznaczanej na budynki elektrowni, dzięki czemu jest ona mniejsza o blisko 45%.<sup>3</sup>

Elementy wykorzystywane do produkcji reaktora zostały sprawdzone we wcześniejszych rozwiązaniach, co podkreśla ich wysoki stopień niezawodności. Poza tym, standaryzacja części zamiennych umożliwia zminimalizowanie czasu konserwacji, wymogów szkoleniowych oraz kosztów związanych z ewentualną wymianą/naprawą. Zagospodarowanie przestrzenne elektrowni zapewnia odpowiedni dostęp do wszystkich elementów, dzięki czemu kontrole i konserwacje mogą być przeprowadzane bez konieczności wstrzymywania pracy pozostałych urządzeń.

Projekt reaktora zawiera zasady redukcji narażenia na promieniowanie, aby utrzymać dawkę promieniowania dla pracowników na jak najniższym, rozsądnie osiągalnym poziomie (ALARA). Długość ekspozycji, odległość, ekranowanie i zmniejszenie siły źródła promieniowania są zasadniczymi kryteriami również włączonymi do projektu. Nowoczesne rozwiązania, zastosowane w reaktorze

<sup>2</sup> <http://www.westinghousenuclear.com/> (pobrano 1.11.2016 r.)

<sup>3</sup> Status report 81 – Advanced Passive PWR (AP 1000)

AP1000, pozwalają zmniejszyć czas budowy, koszty, zredukować liczbę elementów oraz wielkości samej elektrowni. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu:

- zintegrowanego systemu ochrony, nowoczesnej i zautomatyzowanej nastawni,
- systemu sterowania DCS,
- wykorzystaniu światłowodów,
- znacznym zredukowaniu ilości kabli, tras kablowych i przewodów,
- akumulatorów klasy 1E, rozdzielnic prądu stałego,
- pasywnych systemów bezpieczeństwa, dzięki którym liczba konwencjonalnych systemów bezpieczeństwa, opierających się na maszynach wirujących (np. pompy, wentylatory), została zredukowana praktycznie do zera.<sup>4</sup>

Jednym z priorytetów, przy projektowaniu reaktora AP1000, było uwzględnienie ochrony środowiska. Bezpieczeństwo pracowników oraz wpływ pracy elektrowni na środowisko zostały uwzględnione poprzez:

- zredukowanie całkowitej ilości odpadów promieniotwórczych,
- określenie oraz spełnienie poziomu dawki ekspozycyjnej promieniowania dla pracowników,
- zminimalizowanie ilości innych (nieradioaktywnych) odpadów.

Główne właściwości reaktora AP1000:

- moc elektryczna netto wynosi 1100 MWe, moc termiczna 3400 MWt,
- konstrukcja rdzenia przewiduje stabilną pracę z marginesem 15% znamionowej mocy reaktora,
- wykorzystanie pasywnych systemów bezpieczeństwa, interwencja operatora nie jest wymagana do 72 godzin bo większości wypadków, chłodzenie reaktora jest kontynuowane nawet w przypadkach długotrwałych przerw w dostawach energii elektrycznej,
- przewidywana częstotliwość uszkodzenia rdzenia wynosi  $5,09 \cdot 10^{-7}/yr$ , co jest wynikiem znacznie przekraczającym obecne wymagania ( $1,0 \cdot 10^{-5} /yr$ ),
- narażenie zawodowe na promieniowanie jonizujące dla pracowników przewiduje się poniżej  $0,7 Sv/yr$ ,
- cykl paliwowy reaktora wynosi 18 miesięcy,
- wymianę zużytego paliwa jądrowego można przeprowadzić w ciągu 17 dni,
- przewidywana długość pracy elektrowni wynosi 60 lat,
- ogólna dyspozycyjność elektrowni wynosi ponad 93%, włączając w to planowane oraz awaryjne odstawienia,
- dopuszczalne uszkodzenie głównych rurociągów w obiegu pierwotnym przed ich uszkodzeniem wynosi 15,24 cm (6 cali) – średnica,
- bardzo restrykcyjne wymagania odnoszące się do zjawisk sejsmicznych, wytrzymałość obiektu na trzęsienie ziemi wynosi 0,3 g (trzęsienie ziemi z Kaliningradu w 2004 r. zarejestrowane w Suwałkach miało 0,008 g, czyli 37,5 razy mniej niż wyżej wspomniana wartość dopuszczalna),

<sup>4</sup> Status report 81 – Advanced Passive PWR (AP 1000)

- w przypadku uszkodzenia zbiornika reaktora i/lub obiegu pierwotnego, wszystkie elementy promieniotwórcze zostaną zatrzymane wewnątrz żelbetonowej obudowy bezpieczeństwa,
- w przypadku stopienia rdzenia, cały materiał radioaktywny jest w zbiorniku reaktora, zapobiegając skażeniu środowiska.<sup>5</sup>

## 2.2. Rdzeń reaktora

Konstrukcja reaktora oraz zbiornika reaktora AP1000 jest zbliżona do konwencjonalnych reaktorów wodno ciśnieniowych firmy Westinghouse. Rdzeń zawiera 157 zespołów paliwowych o długości 426,7 cm o przekroju 17x17, przy czym posiada kilka istotnych ulepszeń poprawiających właściwości działania całego reaktora, m.in. 15% margines bezpieczeństwa w przypadku wystąpienia kryzysu wrzenia.

Oslona termiczna, zastosowana pomiędzy rdzeniem a ścianą boczną zbiornika, służy do zatrzymania promieniowania  $\gamma$  oraz zabezpiecza zbiornik przed bezpośrednim oddziaływaniem ciepła, które jest generowane w rdzeniu. Do budowy zbiornika reaktora wykorzystywana jest stal ferrytyczna lub stal stopowa, wewnątrz zbiornika wyklada się natomiast warstwą stali nierdzewnej. Poprzez zastosowanie wyżej wymienionych materiałów, zbiornik reaktora AP1000 bez problemu wytrzymuje temperatury powyżej 300°C i ciśnienie do około 16 MPa.<sup>6</sup>

Rdzeń reaktora składa się z trzech obszarów, w których występuje paliwo o różnym stopniu wzbogacenia. Wzbogacenie paliwa waha się od 2,35% do 4,80% <sup>235</sup>U. Temperaturowy współczynnik reaktywności (cecha reaktora, która określa zmianę mocy reaktora, w przypadku zmian temperatury rdzenia; jeżeli współczynnik jest dodatni, wówczas, wraz ze wzrostem temperatury, rośnie moc, jeżeli jest ujemny, moc w takiej sytuacji maleje) jest mocno ujemny. Dzięki dużym marginesom przewidzianym dla zoptymalizowania zarządzania paliwem jądrowym, rdzeń reaktora AP1000 zaprojektowano w ten sposób, że charakteryzuje się wyjątkową elastycznością w zakresie długości cyklu paliwowego, który trwa 18 miesięcy przy współczynniku mocy wynoszącym 93%, przy stopieniu wypalenia paliwa na poziomie 60000 MWd/t.<sup>7</sup>

Elementy znajdujące się w rdzeniu reaktora AP1000 dzieli się na stałe oraz tymczasowe. Do urządzeń stałych zalicza się pręty kontrolne, zestawy „szarych” prętów (ang. *gray rods* – zestawy tzw. szarych prętów wykorzystywane są w celu ochrony materiału absorbującego neutrony przed temperaturą oraz negatywnym wpływem promieniowania. Dodatkowo, dzięki zastosowaniu szarych prętów, wyeliminowana została konieczność stosowania tysięcy litrów wody każdego dnia, w celu uzyskania zmiany koncentracji stężenia boru w chłodziwie – nie ma potrzeby budowy specjalnych systemów przetwarzających lub recyrkulujących bor), pręty kontrolne oraz wtórne źródła neutronów. Do elementów tymczasowych zalicza się pierwotne źródło neutronów (które normalnie wykorzystywane jest tylko wewnątrz rdzenia) oraz absorbery neutronów. W trakcie niektórych przeładunków paliwa wykorzystanie absorberów neutronów może okazać się niezbędne w celu

<sup>5</sup> W.J. Nuttal, *Nuclear Renaissance: Technologies and Policies for the Future of Nuclear Power*. New York 2005

<sup>6</sup> R. Meiswinkel, J. Meyer, J. Schnell, *Design and Construction of Nuclear Power Plants*. Berlin 2013

<sup>7</sup> <http://www.westinghousenuclear.com/> (pobrano 1.11.2016 r.)



kontroli generowanej energii cieplnej i/lub w celu uzyskania akceptowalnego współczynnika temperaturowego moderatora.

Materiały wykorzystywane do produkcji wyżej wymienionych elementów cechują następujące właściwości:

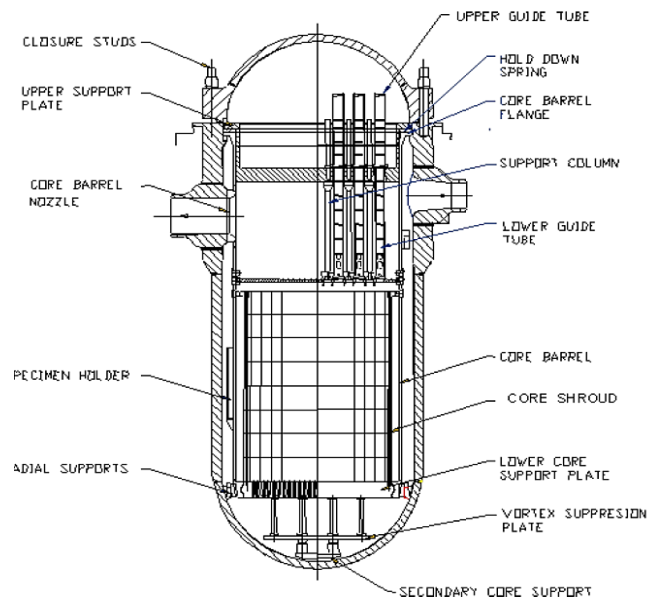
- kompatybilność w środowisku reaktora,
- wysoka wytrzymałość mechaniczna,
- odporność na promieniowanie jonizujące.

### 2.3. Zbiornik reaktora

Zbiornik ciśnieniowy reaktora AP1000, którego schemat został przedstawiony na rysunku nr 1, stanowi grubościenny, cylindryczny zbiornik wytrzymały wysokie ciśnienie, w którym znajduje się rdzeń reaktora jądrowego.

Długość zbiornika wynosi 12 m, natomiast średnica wewnętrzna w okolicy rdzenia wynosi 4,039 m. Ściany wewnętrzne, które w czasie normalnej eksploatacji mają kontakt z chłodziwem, są pokryte blachą wykonaną ze stali nierdzewnej. Sam zbiornik został zaprojektowany na ciśnienie 17,1 MPa, temperaturę 343°C oraz na okres eksploatacji 60 lat, co przekłada się jednocześnie na okres eksploatacji całego bloku jądrowego. W celu zwiększenia bezpieczeństwa, w zbiorniku nie przewidziano żadnych otworów poniżej górnej części rdzenia, co gwarantuje nieprzedostanie się materiału rozszczepialnego poza zbiornik ciśnieniowy w wypadku stopienia się rdzenia. Jak widać na podstawie rysunku, sam rdzeń reaktora został umieszczony w dolnej części zbiornika, dzięki temu, w przypadku awarii, czas zalania go roztworem borowym został zminimalizowany.<sup>8</sup>

Rysunek nr 1: Zbiornik ciśnieniowy reaktora AP1000



Źródło: Status report 81 – Advanced Passive PWR (AP 1000)

<sup>8</sup> Status report 81 – Advanced Passive PWR (AP 1000)

### 3. Systemy bezpieczeństwa w elektrowni z reaktorem AP1000

#### 3.1. Aktywne i pasywne systemy bezpieczeństwa

Podstawowym zadaniem systemów bezpieczeństwa, wykorzystywanych w elektrowniach jądrowych, jest niedopuszczenie do przegrzania się rdzenia reaktora. W tym celu należy zapewnić ciągły odbiór ciepła z rdzenia. Układy bezpieczeństwa awaryjnego chłodzenia, stosowane w reaktorach drugiej generacji, składają się z powielonych systemów zasilania w wodę, pracujących w oparciu o pompy. Zastosowanie pomp tłoczących wodę pod odpowiednim ciśnieniem, umożliwia uzupełnianie chłodziwa w obiegu pierwotnym, które może zostać stracone na skutek awarii. Układy, które zapewniają bezpieczeństwo w elektrowniach jądrowych, a jednocześnie pracują w oparciu o pompy, określa się mianem układów aktywnych. W przypadku awarii, chłodziwo, a ściślej mówiąc wodny roztwór boru, jest tłoczony przez pompy ze zbiorników rezerwowych do zbiornika reaktora. Jest to konieczne w celu podtrzymania temperatury prętów paliwowych. Aktywne układy bezpieczeństwa odgrywają zatem bardzo istotną rolę i wymaga się od nich dużej niezawodności. W związku z tym, bardzo często instaluje się kilka rezerwujących się systemów, tak, aby w przypadku uszkodzenia jednego, drugi mógł bez problemu spełnić swoje zadanie. Powoduje to dużą liczbę instalacji, których koszty stanowią pokaźną część całej elektrowni. Instalacje te są utrzymywane i stale gotowe do działania, mimo iż obsługa elektrowni robi wszystko, żeby nigdy nie wystąpiła konieczność ich użycia.

Przeciwieństwem układów aktywnych są układy pasywne, w których nie stosuje się wentylatorów, pomp czy generatorów Diesla. Układy te działają w oparciu o naturalne siły grawitacji, cyrkulacji lub ciśnienia sprężonego gazu. W elektrowni jądrowej z reaktorem AP1000, do pasywnych systemów bezpieczeństwa można zaliczyć: układ awaryjnego chłodzenia rdzenia, układ odprowadzania ciepła powyłączeniowego oraz system chłodzenia obudowy bezpieczeństwa. Wyżej wymienione układy zostały szczegółowo opisane w dalszej części pracy.

#### 3.2. Układ awaryjnego chłodzenia rdzenia

W przypadku np. rozerwania rurociągu obiegu chłodzenia i utraty chłodziwa, konieczne jest utrzymanie warunków odbioru ciepła z rdzenia reaktora. W skład pasywnego układu awaryjnego chłodzenia rdzenia wchodzi trzy niezależne źródła, umożliwiające uzupełnienie strat wynikających z tego rodzaju awarii:

- dwa zbiorniki wysokociśnieniowego wtrysku wody z dodatkiem roztworu borowego (ang. *Core Makeup Tank* – CMT). Zlokalizowane są powyżej rurociągów układu chłodzenia i są bezpośrednio połączone do ich „zimnej” części (rurociąg dolotowy do reaktora). W trakcie normalnej eksploatacji reaktora, zawory odcinające, znajdujące się na rurociągach łączących wyżej wymienione elementy, są zamknięte. W przypadku wystąpienia awarii zawory otwierają się, a woda znajdująca się w zbiornikach opada pod wpływem grawitacji i trafia do zbiornika ciśnieniowego reaktora. Z CMT korzysta się w przypadku zaniku napięcia zewnętrznego – brak zasilania dla pomp cyrkulacyjnych, małych i krótkotrwałych wycieków, spadku poziomu wody w wytwornicy pary.

- dwa hydroakumulatory (ang. *Accumulators* – ACC). Hydroakumulatory są sferycznymi zbiornikami, wypełnionymi w 85% wodą z roztworem boru. Wewnątrz zbiorników panuje ciśnienie około 4,9 MPa, uzyskane dzięki zastosowaniu azotu. Jeżeli ciśnienie w zbiorniku reaktora spadnie poniżej 4,9 MPa, zawory zwrotne zostają automatycznie otwarte, dzięki czemu możliwe będzie wpłynięcie wody do zbiornika reaktora z ACC. Hydroakumulatory zareagują jako pierwsze w przypadkach dużych awarii (np. LOCA), skutkujących drastycznym spadkiem ciśnienia,
- basen magazynowy wody przeładunkowej (ang. *Incontainment Refueling Water Storage Tank* – IRWST) o pojemności 2100 m<sup>3</sup>, znajdujący się nad zbiornikiem reaktora. Zbiornik połączony jest dwoma rurociągami z obiegiem pierwotnym reaktora, do którego, w razie uszkodzenia obiegu chłodziwa lub gwałtownego spadku ciśnienia, woda opada pod wpływem siły grawitacji.

Wszystkie wyżej wymienione zbiorniki znajdują się w obudowie bezpieczeństwa oraz posiadają dwa połączenia z dyszami bezpośredniego wtrysku chłodziwa do zbiornika reaktora. W związku z tym, że w celach zapobiegania skutkom utraty chłodziwa w systemie pasywnym, nie wykorzystuje się pomp, nie ma potrzeby instalowania awaryjnego źródła prądu przemiennego. Nieliczne urządzenia wymagające zasilania w energię elektryczną (np. niektóre zawory) podłączone są do baterii klasy E1 (urządzenia te pracują na prąd stały).<sup>9</sup>

### 3.3. Pasywny układ odprowadzania ciepła powyłączeniowego

Pasywny układ odprowadzania ciepła powyłączeniowego (ang. *Passive Residual Heat Removal* – PRHS) ma za zadanie odbiór ciepła z reaktora w sytuacjach, w których normalny odbiór ciepła przy pomocy wytwornci pary byłby niemożliwy, np. podczas utraty zasilania zewnętrznego, utraty chłodziwa ze zbiornika reaktora czy w przypadku uszkodzenia rurociągu z wodą zasilającą lub parą. Do układu odprowadzania ciepła powyłączeniowego zalicza się następujące elementy:

- pasywny wymiennik ciepła (ang. *Passive Residual Heat Removal Heat Exchanger* – PRHR HX), zbudowany z zestawu rurek bezpośrednio połączonych z układem chłodzenia reaktora. Całość tworzy naturalny ciąg cyrkulacyjny. Wymiennik, razem z układem chłodzenia, jest odseparowany od obiegu pierwotnego zaworami, które otwierają się jedynie w przypadku awarii. Rurki wymiennika, odpowiadające za wymianę ciepła, znajdują się w basenie magazynowym wody przeładunkowej, natomiast sam wymiennik umieszczony jest ponad układem chłodzenia reaktora. Dzięki takiej konfiguracji, możliwa jest naturalna cyrkulacja wody, spowodowana różnicą temperatur wody w zbiorniku reaktora i IRWST.

<sup>9</sup> R. Meiswinkel, J. Meyer, J. Schnell, *Design and Construction...*, op. cit.; B. Doehnert, *Projekt reaktora elektroenergetycznego AP1000*, Międzynarodowa Konferencja *Elektrownie jądrowe dla Polski*. Warszawa 2006

- basen magazynowy wody przeładunkowej (ang. *Incontainment Refueling Water Storage Tank* – IRWST), który poza opisaną we wcześniejszym podrozdziale funkcją uzupełniania wody w układzie awaryjnego chłodzenia rdzenia, pełni również rolę źródła odbioru ciepła dla pasywnego wymiennika ciepła. Dzięki dużej pojemności zbiornika, możliwy jest odbiór ciepła z reaktora przez około 2 godziny, zanim nastąpi proces wrzenia wody.<sup>10</sup>

Działanie pasywnego układu odprowadzania ciepła można podzielić na kilka podstawowych etapów. Po pierwsze, w razie wystąpienia awarii, następuje naturalna cyrkulacja ciepła pomiędzy zbiornikiem reaktora a pasywnym wymiennikiem ciepła (PRHR HX). Następnie ciepło z wymiennika odbierane jest przez wodę zgromadzoną w basenie magazynowym wody przeładunkowej (IRWST), która po pewnym czasie zaczyna wrzeć. Zbiornik IRWST jest otwarty, w związku z czym powstała para gromadzi się wewnątrz obudowy bezpieczeństwa. Obudowa jest wykonana ze stali, omywanej z zewnątrz powietrzem atmosferycznym. Dzięki takiemu rozwiązaniu, stanowi ona wymiennik ciepła o ogromnej powierzchni, odbierając przy tym ciepło od pary i doprowadzając do jej skroplenia. Tak skroplona woda trafia z powrotem kanałami do zbiornika IRWST, natomiast gorące powietrze kierowane jest ponownie do otoczenia.<sup>11</sup>

#### 3.4. Pasywny system chłodzenia obudowy bezpieczeństwa

Pasywny system chłodzenia obudowy bezpieczeństwa (ang. *Passive Containment Cooling System* – PCCS) stosowany jest do odprowadzenia ciepła wygenerowanego wewnątrz stalowej obudowy bezpieczeństwa. Na powierzchni zbiornika, który wykonany jest ze stali, możliwa jest kondensacja pary wodnej, co zmniejsza ciśnienie panujące wewnątrz obudowy. Dodatkowo, stalowy zbiornik stanowi idealną powierzchnię wymiany ciepła między wnętrzem a otoczeniem. Zewnętrzna strona zbiornika obmywana jest strumieniem powietrza doprowadzanym przez kanały wlotowe, następuje odbiór ciepła od obudowy, po czym gorące powietrze unosi się i opuszcza konstrukcję przez wylot powietrza umieszczony w górnej części budynku. Jeżeli odbiór ciepła przez powietrze jest niewystarczający, zostają otwarte zawory zbiorników wody (PCCS) umieszczonych nad stalową obudową bezpieczeństwa. Wypływająca pod wpływem grawitacji woda gwarantuje odbiór ciepła. Całą obudowę osłania gruba, betonowa powłoka, a przestrzeń między powłoką a zbiornikiem wypełnia wcześniej wspomniane powietrze, którego przepływ dodatkowo uzupełnia i intensyfikuje chłodzenie.

System chłodzenia obudowy bezpieczeństwa zostaje uruchomiony poprzez otwarcie zaworów, które, podczas normalnej pracy elektrowni, pozostają zamknięte. Wspomniany w powyższym akapicie zbiornik został zaprojektowany na 72 godziny pracy, przy czym po wyczerpaniu wody można ją ponownie uzupełnić i kontynuować pracę. W przypadku, w którym niemożliwe jest uzupełnienie wykorzystanej wody, w obudowie bezpieczeństwa dojdzie do wzrostu ciśnienia, niemniej może osiągnąć ono wartość około 90% ciśnienia projektowego i to po 14 dniach.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> J. Chrzanowski, *Elektrownia jądrowa AP1000 wobec utraty zasilania elektrycznego*, „Ekoatom”, czerwiec-lipiec 2012, nr 5/2

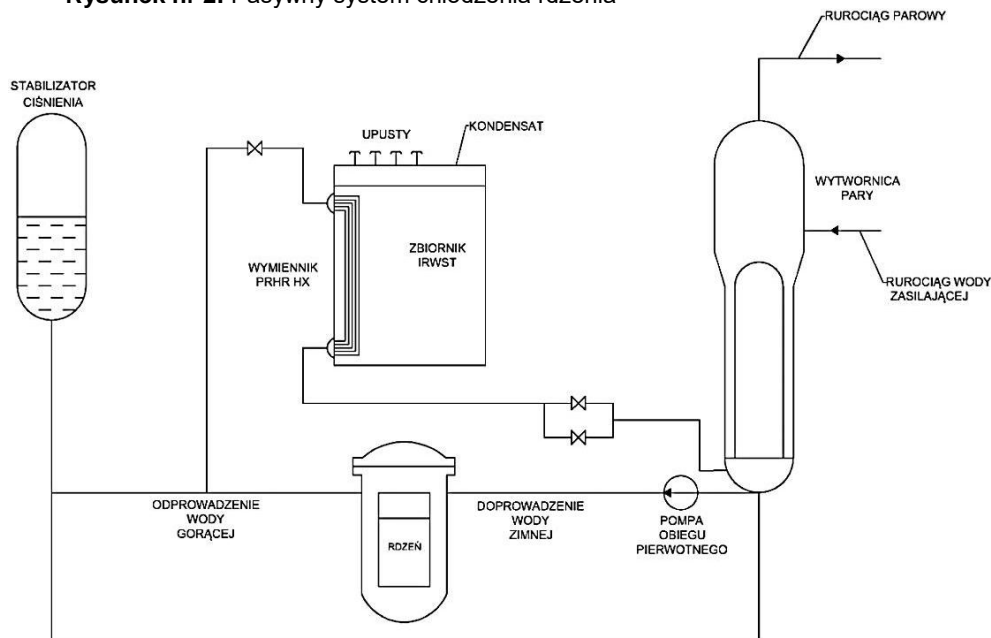
<sup>11</sup> J.C. Lee, N.J. McCormick, *Risk and Safety Analysis of Nuclear Systems*. New Jersey 2011; <http://www.westinghousenuclear.com/>

<sup>12</sup> B. Doehner, *Projekt reaktora elektroenergetycznego...*, op. cit.

#### 4. Elektrownia z reaktorem AP1000 wobec utraty zasilania elektrycznego

W poniższym rozdziale opisana została zasada działania pasywnego systemu chłodzenia rdzenia, na przykładzie awarii spowodowanej utratą zasilania zewnętrznego i nie załączeniem się generatorów Diesela. Rysunek nr 2 przedstawia schemat oraz wizualizuje zasadę działania opisywanego układu.

**Rysunek nr 2:** Pasywny system chłodzenia rdzenia



**Źródło:** <http://www.westinghousenuclear.com/>

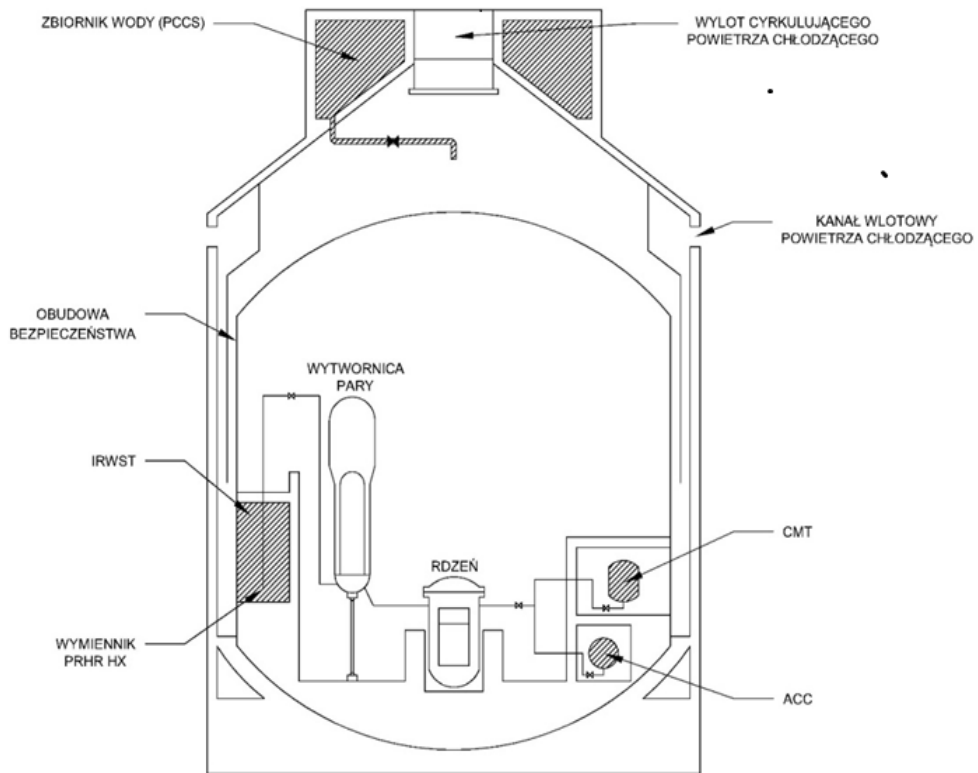
W przypadku utraty zasilania zewnętrznego, natychmiastowo uruchomione zostają generatory Diesela. Jeżeli jednak generatorów Diesla nie dało się uruchomić, to wówczas zainicjowany zostaje proces wyłączenia bloku jądrowego. Pręty kontrolne opadają do wnętrza rdzenia, wygaszając reakcję łańcuchową i umożliwiając wyłączenie reaktora. W wyniku przemian jądrowych, zachodzących w produktach powstałych w wyniku rozszczepienia paliwa, w reaktorze generowane jest ciepło powyłączeniowe, które musi zostać odebrane w wytwornicy pary. W wyniku utraty zasilania, pompa obiegu pierwotnego zostaje wyłączona. Zastosowanie specjalnie zaprojektowanego koła zamachowego w pompach umożliwia ich ciągłą pracę i tłocznie zimnej wody przez reaktor. Po około 2 minutach od wystąpienia opisywanej awarii, poziom wody w wytwornicy pary maleje, ze względu na wyłączenie pomp wody zasilającej w obiegu wtórnym. Po przekroczeniu zadanego, minimalnego poziomu wody w wytwornicy, system automatyki zabezpieczeniowej powoduje otwarcie zaworów pasywnego wymiennika ciepła (ang. *Passive Residual Heat Removal Heat Exchanger* – PRHR HX). W celu zwiększenia niezawodności, w układzie znajdują się dwa tego typu zawory, przy czym do poprawnego działania wystarczy tylko jeden. Następnie, wskutek naturalnej cyrkulacji, ciepło powyłączeniowe odbierane jest w basenie magazynowym wody przeładunkowej (ang. *Incontainment Refueling Water*

*Storage Tank* – IRWST) o pojemności 2100 m<sup>3</sup>. Cyrkulacja wynika z różnicy gęstości pomiędzy zimnym chłodziwem reaktorowym w pasywnym wymienniku ciepła (PRHR HX) a gorącym paliwem znajdującym się w rdzeniu reaktora. Po pewnym czasie temperatura chłodziwa spada, co powoduje wzrost gęstości wody i spadek poziomu wody w skraplaczu. Osiągnięcie minimalnego, dozwolonego poziomu wody w skraplaczu inicjuje otwarcie zaworów łączących reaktor ze zbiornikiem wysokociśnieniowego wttrysku wody z dodatkiem roztworu borowego (ang. *Core Makeup Tank* – CMT). Po około 5 godzinach od awarii, na wskutek odbioru ciepła powyłączeniowego przez wymiennik PRHR HX w basenie magazynowym wody przeladunkowej (IRWST), następuje wrzenie znajdującej się w nim wody i powstawanie pary wewnątrz obudowy bezpieczeństwa. Obudowę bezpieczeństwa w elektrowniach jądrowych z reaktorem AP1000 stanowi zbiornik ciśnieniowy wykonany ze stali, która w ciągły sposób chłodzony jest strumieniem powietrza, doprowadzanym w sposób naturalny z otoczenia. Dzięki temu, na wewnętrznych ściankach zbiornika zachodzi zjawisko kondensacji pary, po czym uzyskana w ten sposób woda opada pod wpływem grawitacji do rynien, którymi to trafia z powrotem do basenu. Ciepło, przekazywane w procesie kondensacji, jest ostatecznie odbierane przez powietrze atmosferyczne. Rolę wymiennika ciepła pełni stalowa obudowa bezpieczeństwa, której powierzchnia czynna wynosi około 5 500 m<sup>2</sup>. Po około 36 godzinach od wystąpienia awarii, reaktor uzyskuje bezpieczne warunki wyłączeniowe, bez konieczności przeprowadzania jakichkolwiek operacji przez operatora oraz bez zasilania zewnętrznego. Po tym czasie moc cieplna generowana w reaktorze nie przekracza 0,5% mocy znamionowej.<sup>13</sup>

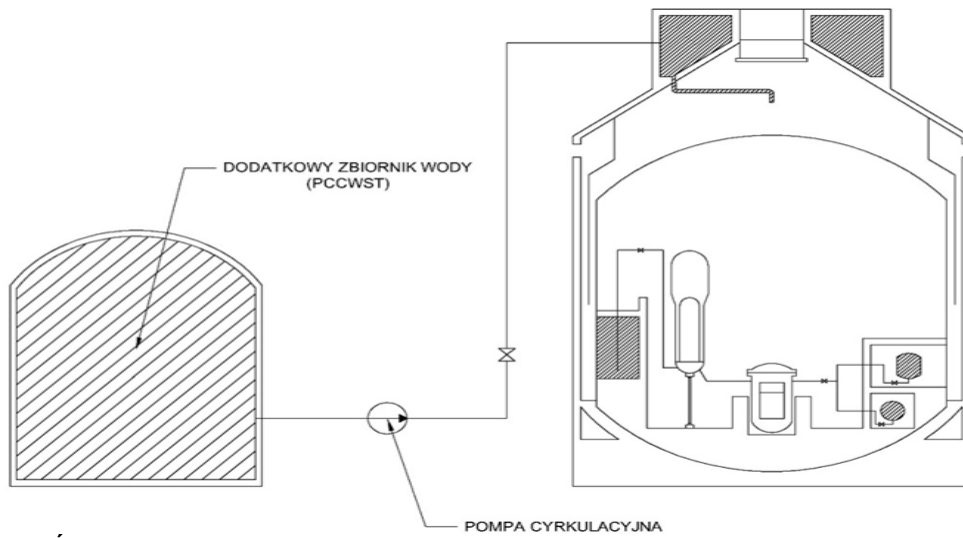
Istotnym jest również fakt, że za odbiór ciepła powyłączeniowego odpowiada nie tylko pasywny system chłodzenia rdzenia, ale również pasywny system chłodzenia obudowy bezpieczeństwa, którego idea została ukazana na rysunku nr 3.

Powietrze doprowadzane z otoczenia cyrkuluje wewnątrz konstrukcji w sposób naturalny i systematycznie odbiera ciepło oddawane do stalowej obudowy bezpieczeństwa przez parę wodną. Na rysunku nr 3 zaznaczone zostały kanały wlotowe zimnego powietrza oraz kanał wylotowy, którym nagrzane powietrze opuszcza cały układ. Przepływ powietrza opiera się wyłącznie na procesie konwekcji, nie stosuje się żadnych urządzeń elektromechanicznych (wentylatory, itp.). Wzrost ilości pary, spowodowany odbiorem ciepła w zbiorniku IRWST, powoduje wzrost ciśnienia wewnątrz obudowy bezpieczeństwa. Po przekroczeniu zadanego poziomu ciśnienia, podany zostaje sygnał na zawór zbiornika wody (PCCS), znajdującego się nad obudową bezpieczeństwa. Po jego otwarciu, woda, znajdująca się we wcześniej wspomnianym zbiorniku, opada pod wpływem grawitacji omywając i chłodząc stalową obudowę. Obecnie pojemność zbiorników stosowanych w blokach jądrowych z reaktorem AP100 wynosi około 3000 m<sup>3</sup>, co wystarcza na nieprzerwane dostarczanie wody przez 72 godziny. Jeżeli zasilanie nie zostanie przywrócone po tym czasie, operator bloku może podjąć decyzję o załączeniu pompy cyrkulacyjnej i uzupełnieniu zbiorników PCCS wodą z dodatkowego zbiornika (PCCWST), przedstawionego na rysunku nr 4.

<sup>13</sup> <http://www.westinghousenuclear.com/>; C. Ye, M. Zheng, Y. Wang, Z. Qiu, *Study on the long-term passive cooling extension of AP1000 reactor*, „Nuclear Science and Techniques”, 24 (2013) 040601

**Rysunek nr 3: Pasywny układ chłodzenia obudowy bezpieczeństwa**

Źródło: <http://www.westinghousenuclear.com/>

**Rysunek nr 4: Układ zasilania zbiorników PCCS ze zbiornika PCCWST**

Źródło: <http://www.westinghousenuclear.com/>

Pompa cyrkulacyjna zasilana jest przez dodatkowe generatory Diesla, posiadające czterodniowy zapas paliwa. Dostarczana w tym układzie woda w całości zastępuje wodę, która wcześniej odparowała wskutek kontaktu z obudową bezpieczeństwa. Dzięki zastosowaniu dodatkowego zbiornika, okres chłodzenia stalowej obudowy bezpieczeństwa może zostać wydłużony z 72 godzin do 7 dni. W tym samym czasie paliwo w generatorach Diesla napędzających pompę cyrkulacyjną może być na bieżąco uzupełniane.

### **Podsumowanie**

W pracy przedstawione zostały systemy bezpieczeństwa wykorzystywane w nowoczesnych elektrowniach jądrowych na przykładzie elektrowni jądrowej z reaktorem AP1000. W szczególności omówiono wykorzystywane układy pasywne, takie jak: pasywny układ odprowadzania ciepła powyłączeniowego, układ awaryjnego chłodzenia rdzenia oraz pasywny system chłodzenia obudowy bezpieczeństwa. Przedstawiono scenariusz, w którym elektrownia pozbawiona została zasilania zewnętrznego, co zakłóciło cyrkulację chłodziwa w obiegu pierwotnym i uniemożliwiło normalną eksploatację bloku jądrowego, doprowadzając do wyłączenia reaktora. Mimo tego rodzaju awarii, pasywne systemy bezpieczeństwa umożliwiają bezproblemowy i bezpieczny odbiór ciepła powyłączeniowego z rdzenia reaktora. Warto zauważyć, że procesy z tym związane przebiegają w sposób naturalny, wykorzystujący naturalne siły natury, niewymagający praktycznie żadnej interwencji operatora, w szczególności w pierwszych chwilach po wystąpieniu sytuacji awaryjnej.

### **Streszczenie**

Wymagania stawiane elektrowniom jądrowym w kwestiach związanych z bezpieczeństwem są niezwykle wysokie i uznawane jako nadrzędne w stosunku do aspektów ekonomicznych. Po kilkudziesięciu latach doświadczeń w kwestii projektowania i budowy, elektrownie jądrowe charakteryzują się wysoko rozwiniętymi procedurami oraz układami bezpieczeństwa. Na przykładzie nowoczesnej elektrowni z reaktorem AP1000, opisane zostały pasywne systemy bezpieczeństwa, oparte na naturalnych prawach fizyki, w szczególności: pasywny układ odprowadzania ciepła powyłączeniowego, układ awaryjnego chłodzenia rdzenia oraz pasywny system chłodzenia obudowy bezpieczeństwa. Ponadto, zaprezentowany został szczegółowy opis działania powyższych układów na przykładzie awarii, polegającej na utracie zasilania zewnętrznego.

**Słowa kluczowe:** energetyka jądrowa, reaktor AP1000, pasywne systemy bezpieczeństwa, bezpieczeństwo elektrowni jądrowych

### **Summary**

Requirements for nuclear power plants' security are extremely high and are recognized as superior to the economic aspects. After decades of experience in terms of design and construction, nuclear power plants are characterized by a highly developed standards and safety systems. On the example of a modern power plant with AP1000 reactor, the paper describes the passive safety systems, which are based on natural laws of physics. In particular, three main passive systems were presented: Passive Residual Heat Removal System, Passive Core Cooling System and Passive Containment Cooling System. In addition, paper



presents and describes in detail principle of operation of above mentioned systems during theoretical loss of external power.

**Key words:** nuclear power, AP1000 reactor, passive safety systems, nuclear power plant security

### **Bibliografia**

1. Chrzanowski J., *Elektrownia jądrowa AP1000 wobec utraty zasilania elektrycznego*, „Ekoatom”, czerwiec-lipiec 2012, nr 5/2
2. Doehnert B., *Projekt reaktora elektroenergetycznego AP1000*, Międzynarodowa Konferencja *Elektrownie jądrowe dla Polski*. Warszawa 2006
3. <http://www.westinghousenuclear.com/> (pobrano 1.11.2016 r.)
4. Lee J.C., McCormick N.J., *Risk and Safety Analysis of Nuclear Systems*. New Jersey 2011
5. Meiswinkel R., Meyer J., Schnell J., *Design and Construction of Nuclear Power Plants*. Berlin 2013
6. Nuttal W.J., *Nuclear Renaissance: Technologies and Policies for the Future of Nuclear Power*. New York 2005
7. Status report 81 – Advanced Passive PWR (AP 1000), <https://aris.iaea.org/PDF/AP1000.pdf> (pobrano 1.11.2016 r.)
8. Strupczewski A., *Ochrona przed zagrożeniami po awariach w elektrowniach jądrowych*, „Biuletyn PSE”, wrzesień 2005, nr 9 (171)
9. Ye C., Zheng M., Wang Y., Qiu Z., *Study on the long-term passive cooling extension of AP1000 reactor*, „Nuclear Science and Techniques”, 24 (2013) 040601

**Daria RADSAK, Krzysztof SROKA**  
Politechnika Poznańska  
Wydział Elektryczny  
Instytut Elektroenergetyki

## **OBRONA I ODBUDOWA ZDOLNOŚCI WYTWÓRCZYCH ELEKTROWNI I ELEKTROCIEPŁOWNI W WARUNKACH AWARII KATASTROFALNYCH SYSTEMU ELEKTROENERGETYCZNEGO**

### **1. Charakterystyka awarii systemowych**

Zgodnie z Instrukcją Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej, awaria systemowa jest zdarzeniem ruchowym, które skutkuje wyłączeniem z ruchu synchronicznego znacznej części Krajowego Systemu Elektroenergetycznego produkującej lub odbierającej energię elektryczną KSE.<sup>1</sup>

Szczególnym typem awarii systemowej jest awaria katastrofalna, określana mianem blackoutu, w wyniku której następuje całkowity zanik napięcia w systemie elektroenergetycznym lub w znacznej jego części, z możliwością wydzielenia pracujących lokalnie wysp obciążeniowych. Wskutek awarii, ponad 50% odbiorców pozostaje pozbawionych zasilania, a linie transgraniczne zostają wyłączone. W przeciwieństwie do awarii lokalnych, kiedy działania operatywne prowadzone są według bieżących wytycznych prowadzenia ruchu, w przypadku zagrożenia blackoutu, postępowanie operatorskie prowadzone jest zgodnie z instrukcjami Krajowej Dyspozycji Mocy (KDM) oraz obszarowych dyspozycji mocy (ODM).<sup>2</sup> Przywrócenie zasilania odbiorcom końcowym jest procesem długotrwałym, a przerwa w zasilaniu często wiąże się ze znacznymi stratami ekonomicznymi.

### **Przyczyny awarii systemowych**

Nieuchronność awarii systemowych wynika z różnorodności ich przyczyn, do których należy zaliczyć czynniki atmosferyczne, techniczne czy też czynnik ludzki. Przykładowe przyczyny powstawania awarii systemowych zebrano w tabeli nr 1.

**Tabela nr 1:** Przyczyny awarii systemowych

<b>Czynniki techniczne</b>	<b>Czynniki ludzkie</b>	<b>Czynniki atmosferyczne</b>
Brak odpowiednich rezerw mocy wytwórczych bądź zdolności przesyłowych	Błędy lub zaniechania służb operatorskich lub dyspozytorskich	Ekstremalnie niskie temperatury – sadź osadzająca się w okresach zimowych na przewodach powoduje znaczne zwiększenie ciężaru linii, prowadząc do jej zerwania

<sup>1</sup> Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej. Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci. Wersja 2.1

<sup>2</sup> J. Dudzik, R. Kuczyński, *Strategia obrony i odbudowy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, rola wytwórców w planach odbudowy*, „Energetyka” Zeszyt tematyczny nr XVII Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny. Rola dużych jednostek wytwórczych w realizacji planów obrony i odbudowy KSE, październik 2008

Czynniki techniczne	Czynniki ludzkie	Czynniki atmosferyczne
Zawodność systemów informatycznych, telekomunikacyjnych oraz sterowania	Akty wandalizmu	Katastrofy naturalne, np. huragany, trzęsienia ziemi, powodzie
Nadmierne przeciążenia sieci	Zaniedbania eksploatacyjne – brak terminowości dokonywania przeglądów urządzeń i sieci, zaniedbania pasów zieleni pod liniami napowietrznymi	Ekstremalnie wysoka temperatura powoduje nadmierne obciążenia linii, zwiększanie zwisów przewodów grożące zwarcie do drzew; wysokie
Ograniczone możliwości wymiany międzysystemowej	Zagrożenie atakami terrorystycznymi lub działaniami wojennymi	temperatury powietrza mają również negatywny wpływ na pracę układów chłodzenia elektrowni ciepłych
Awarie urządzeń elektroenergetycznych		

**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie S. Kasprzyk, *Bezpieczeństwo pracy polskiego systemu elektroenergetycznego*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny nr II Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny. Seminarium ogólnopolskie. Poznań, 14-15 kwietnia 2004; A. Rakowska, A. Grzybowski, J. Stiller, *Czy grożą nam awarie systemowe wywołane zjawiskami klimatycznymi?*, „Energetyka”, 7/2009; [www.rynek-ciepla.cire.pl/pliki/2/czy\\_groza\\_systmowe.pdf](http://www.rynek-ciepla.cire.pl/pliki/2/czy_groza_systmowe.pdf) (pobrano 1.11.2016 r.)

Ograniczanie ryzyka awarii systemowych koresponduje bezpośrednio z ich przyczynami i może być realizowane zarówno w fazie planowania inwestycji, jak podczas eksploatacji sieci i urządzeń elektroenergetycznych.<sup>3</sup> Odpowiednio wysoki poziom rezerw mocy jest niezwykle istotny dla systemu elektroenergetycznego z punktu widzenia rosnącego popytu na energię elektryczną. Modernizacja bądź projektowanie nowych źródeł energii elektrycznej, sieci i urządzeń elektroenergetycznych powinny zakładać wysoki poziom ich bezpieczeństwa i niezawodności, wraz z możliwością późniejszej rozbudowy bez ryzyka przekraczania dopuszczalnych parametrów pracy. Regularna kontrola urządzeń, sieci oraz tras linii napowietrznych jest skuteczną metodą usuwania bieżących zagrożeń. Ograniczanie ryzyka awarii, wynikających z błędów lub zaniechań dyspozytorów, jest możliwe poprzez zapewnienie wykwalifikowanej obsługi oraz przeprowadzanie regularnych szkoleń dla personelu, wraz z próbami łączności.

## 2. Przykłady awarii systemowych

Awarie katastrofalne dotknęły licznych systemów elektroenergetycznych na całym świecie. W tabeli nr 2. zestawiono przykłady rozległych awarii systemowych, wraz z ich przyczynami oraz skutkami.

<sup>3</sup> M. Szymanek, *Praca elektrociepłowni miejskiej w warunkach awarii katastrofalnej na przykładzie wybranego obiektu dużej mocy*, „Prace Instytutu Elektrotechniki”, zeszyt 260, 2012

Tabela nr 2: Przykłady rozległych awarii systemowych

Data i miejsce awarii	Czas trwania	Przyczyny	Skutki
10.11.1965 USA: Nowy Jork, New Jersey, Pensylwania; Kanada	30 h	Uszkodzenie zabezpieczenia w elektrowni wodnej w Ontario	Pozbawienie zasilania 30 mln osób
11.03.1999 Brazylia	2 h	- Wyładowanie atmosferyczne w stacji Bauru - Lawinowe wyłączenia linii	Pozbawienie zasilania 26 mln osób
14.08.2003 północno-wschodnia część USA, prowincja Ontario w Kanadzie	12 h	- Zaniedbania eksploatacyjne – zwarcie do drzew trzech linii 345 kV - Kaskadowe wyłączenia kolejnych linii poprzez automatykę zabezpieczeniową - Niepodjęcie działań przez dyspozytorów w celu stabilizacji systemu	- Wyłączenie 531 jednostek wytwórczych w 263 elektrowniach - Pozbawienie zasilania ok. 50 mln mieszkańców - Ubytek generacji na poziomie 61 GW
23.09.2003 Szwecja i Dania	6 h	- Awaryjne wyłączenie szwedzkiej elektrowni atomowej Oskarshamn o mocy 1 175 MW i wypadnięcie dwóch bloków jądrowych w szwedzkiej elektrowni Ringhals wskutek podwójnego zwarcia szyn zbiorczych w stacji Horred, wyprowadzającej moc z elektrowni Ringhals - Kaskadowe wyłączenia linii wskutek nadmiernego spadku napięcia i częstotliwości	Pozbawienie zasilania ok. 2 mln osób
28.09.2003 Włochy	ok. 20 h	- Znaczna wartość importu energii z Francji - Przeciążenia linii międzysystemowych - Kaskadowe wyłączenia kolejnych linii i elektrowni we Włoszech	- Całkowita utrata zasilania kontynentalnej części Włoch, - 4 ofiary śmiertelne - Zakłócenia pracy jednostek wytwórczych w wielu krajach europejskich - Wzrost częstotliwości w systemie UCTE
7.04.2008 Polska, aglomeracja szczecińska	ok. doby	- Ekstremalne warunki pogodowe – opady marznącego śniegu i deszczu - Kaskadowe wyłączenia linii	Pozbawienie zasilania 888 stacji transformatorowych w 194 miejscowościach

**Źródło:** A. Rakowska, A. Grzybowski, J. Stiller, *Czy grożą nam awarie systemowe wywołane zjawiskami klimatycznymi?* „Energetyka”, 7/2009; [www.rynek-ciepła.cire.pl/pliki/2/czy\\_groza\\_sysmowe.pdf](http://www.rynek-ciepła.cire.pl/pliki/2/czy_groza_sysmowe.pdf) (pobrano 1.11.2016 r.)

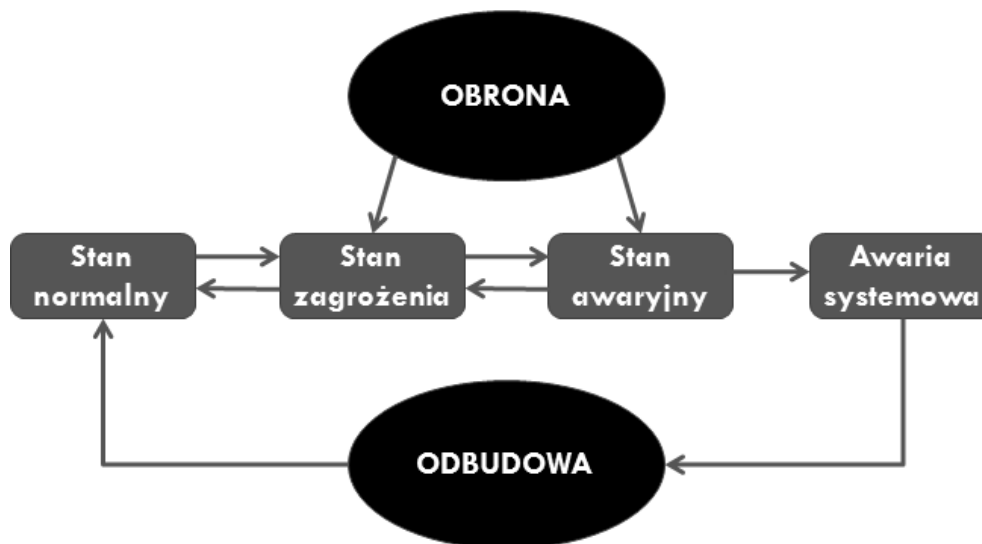
### 3. Rozwój awarii systemowej – obrona i odbudowa systemu

W zależności od stopnia rozwoju awarii, którą charakteryzują dopuszczalne wielkości napięcia i częstotliwości pracy (częstotliwość  $f=47,5$  Hz, napięcie  $U=0,8U_n$ ), system elektroenergetyczny może znaleźć się w jednym z następujących stanów pracy:<sup>4</sup>

- stan normalny – parametry pracy systemu mieszczą się w dopuszczalnych granicach, nie występują przeciążenia w systemie i nie są zakłócone dostawy energii elektrycznej do odbiorców końcowych,
- stan zagrożenia – parametry pracy systemu mieszczą się w dopuszczalnych granicach, jest to stan n-1 – awaria lub wyłączenie jednego urządzenia zainstalowanego w systemie elektroenergetycznym (ważnego z punktu widzenia systemu), które skutkuje przeciążeniami w systemie lub zakłócone są dostawy energii elektrycznej do odbiorców końcowych,
- stan awaryjny – przekroczenie dopuszczalnych parametrów pracy systemu,
- stan awarii systemowej.

Możliwe działania, mające na celu powrót do stanu normalnego, obejmują wprowadzenie planów obrony i odbudowy systemu elektroenergetycznego. Schemat powrotu do stanu normalnego systemu przedstawiono na rysunku nr 1.

**Rysunek nr 1:** Schemat powrotu do normalnego stanu pracy systemu elektroenergetycznego



**Źródło:** Opracowanie własne

<sup>4</sup> J. Dudzik, R. Kuczyński, *Strategia...*, op. cit.

Obrona zdolności wytwórczych polega na możliwości uniknięcia awarii lub ograniczeniu zasięgu awarii w przypadku jej wystąpienia i powrocie do stanu normalnego. Odbudowa systemu elektroenergetycznego pozwala natomiast na przywrócenie do ruchu jednostek wytwórczych po wystąpieniu awarii systemowej, prowadząc do zasilania odbiorców końcowych.

Rozwój awarii katastrofalnej w systemie elektroenergetycznym przebiega dwuetapowo.

Faza pierwsza przejawia się stopniowym narastaniem zagrożenia, na przykład w wyniku rozwoju niekorzystnych warunków atmosferycznych (zwiększenie warstwy oblodzenia przewodów, nadmierny wzrost temperatury przewodów, wyłączenia linii przez automatykę zabezpieczeniową). Środkami zaradczymi w celu obrony systemu elektroenergetycznego są kolejno:<sup>5</sup>

- plany ograniczeń dostaw i poboru energii elektrycznej, wprowadzane przez Operatora Sieci Przesyłowej (OSP) i Operatorów Sieci Dystrybucyjnej (OSD),
- ograniczenia awaryjne i katastrofalne, wprowadzane według wytycznych Instrukcji Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej (IRiESP) przez OSD indywidualnie bądź na polecenie OSP; ograniczenia awaryjne umożliwiają wyłączenie 15% zapotrzebowania na godzinę, natomiast ograniczenia katastrofalne dotyczą wyłączenia 15% zapotrzebowania w przeciągu 30 minut od momentu wydania polecenia,
- automatyka SCO (Samoczynne Częstotliwościowe Odciążanie) – wyłączenia fragmentów systemu wskutek spadku częstotliwości poniżej 48,5 Hz,
- automatyka przeciwkołysaniowa (APKO) oraz przeciwprzepięciowa (APP), zwiększające bezpieczeństwo pracy jednostek wytwórczych na wypadek awarii systemowej,
- wydzielanie zbilansowanych wysp obciążeniowych z blokami elektrowni ciepłych lub blokami ciepłowniczymi jako środek ostateczny obrony ich zdolności wytwórczych (praca wydzielona elektrowni) ze zmianą trybu pracy regulatorów turbin jednostek wytwórczych z regulacji mocy na regulację obrotów.

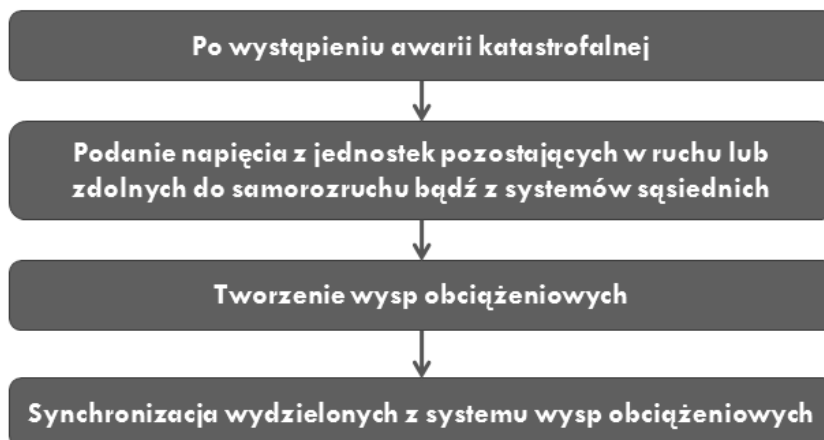
Druga faza rozwoju awarii przejawia się przekroczeniem krytycznych parametrów systemu ( $f=47,5$  Hz,  $U=0,8U_n$ ). Dynamiczne zmiany parametrów sieci uniemożliwiają działania operatorskie i prowadzą do całkowitej awarii.

Po wystąpieniu awarii systemowej, odbudowa zdolności wytwórczych polega na podaniu mocy rozruchowej z jednostek pozostających w ruchu bądź zdolnych do samostartu, do których zalicza się elektrownie wodne oraz turbogeneratory gazowe. Po przyjęciu mocy rozruchowej, jednostki wytwórcze bloków konwencjonalnych przy spełnieniu wymagań technicznych mają możliwość uruchomienia i tworzenia lokalnych wysp obciążeniowych. W celu zakończenia procesu restytucji, prowadzącego do pracy synchronicznej całego Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, prowadzi się synchronizację wydzielonych wysp obciążeniowych.

<sup>5</sup> S. Kasprzyk, *Bezpieczeństwo pracy polskiego systemu elektroenergetycznego*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny nr II Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny. Seminarium ogólnopolskie. Poznań, 14-15 kwietnia 2004 r.

Schemat realizacji odbudowy systemu elektroenergetycznego przedstawiono na rysunku nr 2.

**Rysunek nr 2:** Schemat realizacji odbudowy systemu elektroenergetycznego



**Źródło:** Opracowanie własne

#### 4. Rola poszczególnych typów elektrowni w procesie obrony i odbudowy systemu

W tabeli nr 3 zestawiono role poszczególnych typów jednostek wytwórczych w procesie obrony i odbudowy zdolności wytwórczych

**Tabela nr 3:** Rola jednostek wytwórczych w procesie obrony i odbudowy KSE

Jednostka wytwórcza	Rola
Elektrownie konwencjonalne z jednostkami wytwórczymi centralnie dysponowanymi (JWCD)	<p>Podlegają obowiązkowemu uczestnictwu w procesie obrony i odbudowy. Po przekroczeniu dopuszczalnych parametrów sieci są odłączane z systemu z możliwością:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• awaryjnego odstawienia bloku, pozostając w gotowości do uruchomienia przy pomocy podania mocy rozruchowej z zewnątrz,</li> <li>• przejścia do pracy na potrzeby własne przynajmniej jednego bloku pracującego przed wystąpieniem awarii, a w konsekwencji do pracy wydzielonej elektrowni po zasileniu potrzeb ogólnych.</li> </ul> <p>Odbudowa systemu prowadzona jest poprzez synchronizację powstałych wydzielonych fragmentów systemu.</p>
Elektrociepłownie oraz zakłady przemysłowe	<p>Bloki elektrociepłowni w większości pracują jako jednostki wytwórcze, które nie są centralnie dysponowane (nJWCD), jednakże na wypadek awarii systemowej mogą zostać awaryjnie odstawione, podobnie jak jednostki JWCD. Odbudowa ich zdolności wytwórczych odbywa się poprzez podanie mocy rozruchowej z zewnątrz. Ich ewentualny udział w planach obrony i odbudowy, pod warunkiem spełnienia szeregu wymagań zawartych w IRiESP, sprowadza się do przechodzenia jednostek wytwórczych w tryb pracy wydzielonej z możliwością zasilania lokalnych odbiorców, tworząc wyspy obciążeniowe.</p>

Jednostka wytwórcza	Rola
Elektrownie wodne	Ze względu na możliwość szybkiego samorozruchu, elektrownie wodne w procesie obrony i odbudowy systemu stanowią źródła rozruchowe dla bloków elektrowni konwencjonalnych i elektrociepłowni. Dodatkowym atutem są ich zdolności regulacyjne, istotne w przypadku elastycznych zmian obciążenia z koniecznością regulacji napięcia i mocy biernej w systemie.
Odnawialne źródła energii	Elektrownie fotowoltaiczne oraz wiatrowe, podczas awarii systemowej pełnią rolę pasywną – po przekroczeniu krytycznych parametrów pracy systemu są wyłączone.
Elektrownie jądrowe	Z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy elektrowni jądrowej, w przypadku wystąpienia awarii systemowej, najistotniejszą kwestią jest zagwarantowanie zasilania systemów chłodzenia rdzenia reaktora.

**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie I. Grządzielski, K. Marszałkiewicz, K., Sroka, R. Kuczyński, *Układy wyspowe wokół dużych jednostek wytwórczych jako podstawowy element scenariuszy odbudowy KSE*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny nr XVII Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny. Rola dużych jednostek wytwórczych w realizacji planów obrony i odbudowy KSE, październik 2008; M. Pawlik, F. Strzelczyk, *Elektrownie*. Warszawa 2012

### 5. Organizacja prób systemowych

Opracowywanie szczegółowych planów obrony i odbudowy systemu elektroenergetycznego oraz ich weryfikacja, dokonywane jest na podstawie organizowanych eksperymentów systemowych. Próby systemowe angażują zarówno źródła zdolne do samostartu, jakimi są elektrownie wodne oraz turbozespoły gazowe, a także bloki elektrowni i elektrociepłowni konwencjonalnych. Obowiązek opracowywania planów działania na wypadek awarii oraz późniejszej odbudowy systemu spoczywa na Operadorze Sieci Przesyłowej, który wydaje polecenia na okresowe wykonywanie testów jednostek wytwórczych. Testy obejmują nie tylko przystosowanie techniczne jednostek wytwórczych do udziału w planach obrony i odbudowy systemu, ale również próby łączności między dyspozytorami i operatorami systemu. Opracowanie programu próby systemowej poprzedzone jest często badaniami symulacyjnymi pracy urządzeń wytwórczych oraz torów rozruchowych, w celu określenia spodziewanych poziomów parametrów pracy układów oraz szacunkowych nastaw zabezpieczeń.

Jeśli chodzi o elektrownie samostartujące, okresowe testy wewnętrzne mają na celu potwierdzenie zdolności do samostartu jednostki wytwórczej, a następnie do:<sup>6</sup>

- podania napięcia na wybraną szynę rozdzielni, wraz z kontrolą parametrów pracy – dwukrotnie w roku,
- regulacji częstotliwości w sieci elastycznej podczas pracy równoległej jednostek tejże elektrowni – co najmniej raz w roku,
- podania napięcia na wydzielony tor rozruchowy do jednostki wytwórczej elektrowni – raz na trzy lata,

<sup>6</sup> I. Grządzielski, K. Sroka, *Elektrownia wodna Dychów jako źródło rozruchowe do odbudowy zdolności wytwórczych elektrowni ciepłych*, „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 10/2016, s. 190-198



- podania napięcia i mocy rozruchowej wydzielonym torem rozruchowym do wybranej elektrowni konwencjonalnej, jej uruchomienia i synchronizacji z elektrownią samostartującą oraz pracy w układzie wyspowym – raz na pięć lat.

Ze względu na stan, w jakim mogą znaleźć się bloki elektrowni konwencjonalnych i elektrociepłowni przewidzianych w planach obrony i odbudowy KSE w wyniku awarii katastrofalnej, eksperymenty systemowe pozwalają w szczególności na ocenę możliwości:<sup>7</sup>

- przejścia bloku do pracy na potrzeby własne,
- przejścia bloku do pracy z wyspą obciążeniową,
- uruchomienia odstawionego awaryjnie bloku ze źródła samostartującego wydzielonym torem rozruchowym,
- synchronizacji bloku z układem wydzielonym, a następnie z KSE,
- pracy regulatora turbogeneratorów w trybie regulacji obrotów,
- regulacji napięcia w układzie wydzielonym,
- przejęcia pary ze zrzutu obciążenia, np. przy pomocy stacji redukcyjnych.

Wydzielenie układu wyspowego zostanie przedstawione na przykładzie próby systemowej wydzielenia wyspy obciążeniowej z blokiem ciepłowniczym w Elektrociepłowni Karolin, 14 września 2013 r.

Celem próby było potwierdzenie zdolności przejścia bloku BC50 do pracy wyspowej z urządzeniami potrzeb własnych oraz odbiorcą zewnętrznym, przyłączonym do linii 110 kV – Centralna Oczyszczalnia Ścieków, weryfikacja stopnia zbilansowania mocy generowanej mocą zapotrzebowaną wewnątrz układu wyspowego, zbadanie możliwości synchronizacji wyspy obciążeniowej z KSE i ocena poprawności pracy układów regulacji.<sup>8</sup>

Do udziału w próbie systemowej został wytypowany blok BC50, z powodu największego wykorzystania w ciągu roku. Na duoblok BC50 składają się dwa kotły parowe: biomasowy nr 1K1 (BFB-110) oraz węglowy nr 1K2 (OP-140), współpracujące z turbiną upustowo-przeciwprężną. Podczas próby systemowej, turbozespół zasilany był parą wyłącznie z kotła 1K1 (moc znamionowa 19 MW i minimum techniczne na poziomie 14-15 MW), co pozwalało na eliminację dużych nadwyżek generacji przy zasilaniu priorytetowych urządzeń potrzeb własnych i ogólnych elektrociepłowni. Wydzielanie układu wyspowego wymaga optymalnego zbilansowania mocy generowanej i odbieranej, dlatego jako dopuszczalne kryterium niezbilansowania przyjęto  $\pm 5$  MW.<sup>9</sup> Schemat elektryczny EC Karolin, po wydzieleniu wyspy obciążeniowej z blokiem BC50, przedstawiono na rysunku nr 3.

Eksperyment składał się z trzech etapów:<sup>10</sup>

- tworzenie układu wyspowego z blokiem BC50,
- praca układu wyspowego ze zmianami obciążenia,
- synchronizacja wyspy z KSE.

<sup>7</sup> I. Grządzielski, K. Sroka, A. Łacny, D. Radsak, *Praca bloku ciepłowniczego BC50 elektrociepłowni w wydzielonym układzie wyspowym*, „Acta Energetica”, nr 1/2016, s. 15-32

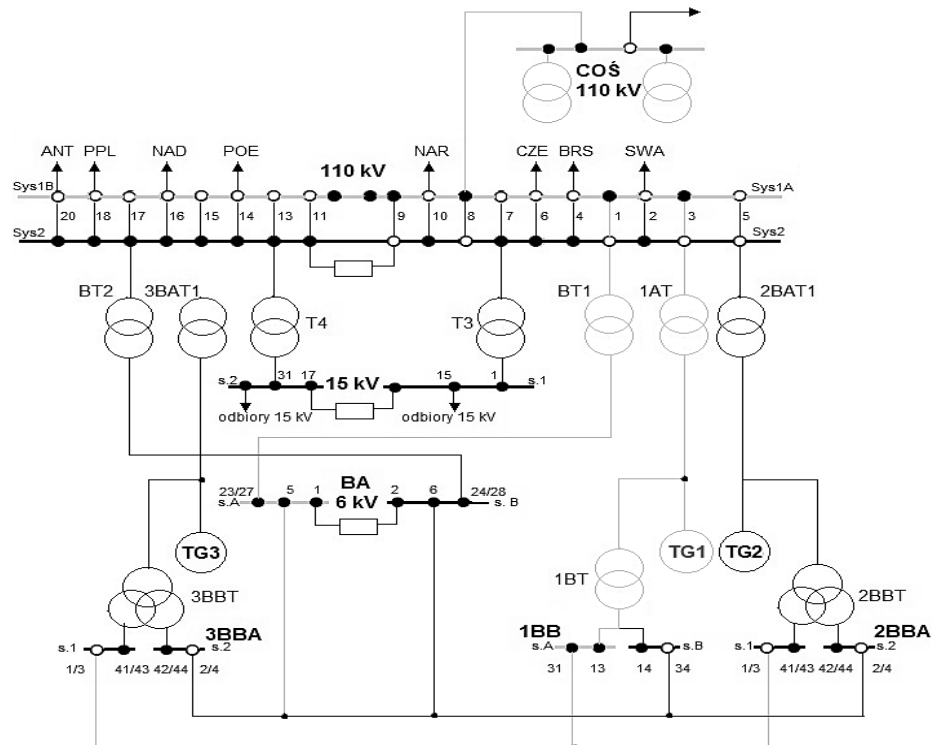
<sup>8</sup> Ibidem

<sup>9</sup> K. Sroka, I. Grządzielski, A. Kurzyński, A. Łacny, D. Radsak, *Elektrociepłownia Karolin w procesach obrony i restytucji Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (w:) Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny – Edycja 2016*. Poznań 2016

<sup>10</sup> Ibidem

Zarejestrowane zmiany częstotliwości podczas zmian obciążenia (Rysunek nr 4) wskazały na poprawność działania układów regulacji, zgodnie z wymaganiami IRIESP. Eksperyment wykazał również możliwość synchronizacji układu wyspowego z systemem elektroenergetycznym na sprężgle międzysystemowym rozdzielni 110 kV.<sup>11</sup>

**Rysunek nr 3:** Schemat elektryczny EC Karolin po wydzieleniu wyspy obciążeniowej z blokiem BC50



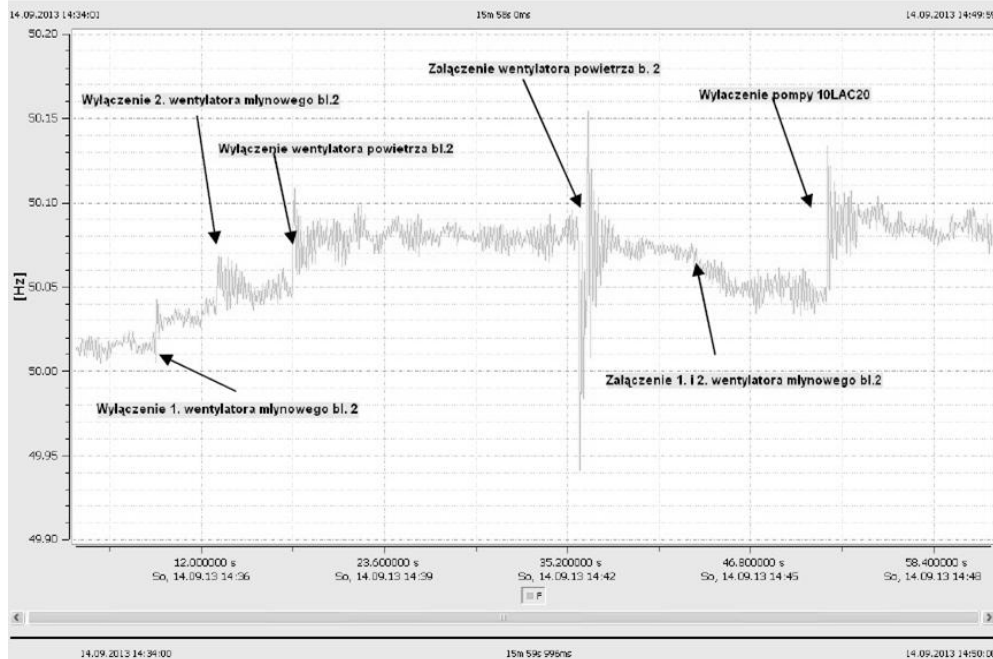
**Źródło:** I. Grądzelski, K. Sroka, A. Łacny, D. Radsak, *Praca bloku ciepłowniczego BC50 elektrociepłowni w wydzielonym układzie wyspowym*, „Acta Energetica”, nr 1/2016, s. 15-32

Jeśli chodzi o eksperyment podania napięcia i mocy rozruchowej, przykładem może być próba uruchomienia Elektrowni Dolna Odra z Elektrowni Wodnej Dychów z 3 lipca 2011 r. Celem eksperymentu była ocena możliwości regulacyjnych hydrogeneratorów w Elektrowni Wodnej Dychów, pod kątem regulacji napięcia i mocy biernej w torze rozruchowym, a także potwierdzenie możliwości uruchomienia bloku w Elektrowni Dolna Odra, przez podanie napięcia i mocy rozruchowej wydzielonym torze rozruchowym.<sup>12</sup> Uproszczony schemat toru przedstawiono na rysunku nr 5.

<sup>11</sup> Ibidem

<sup>12</sup> I. Grądzelski, K. Marszałkiewicz, K. Sroka, M. Maćkowiak, J. Borodyno, *Próba systemowa samostartu i podanie napięcia oraz mocy rozruchowej z Elektrowni Wodnej Dychów do Elektrowni Dolna Odra*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny XXIII, s. 141-146

**Rysunek nr 4:** Częstotliwość rejestrowana w torze wyprowadzenia mocy z bloku BC50 podczas zmian obciążenia



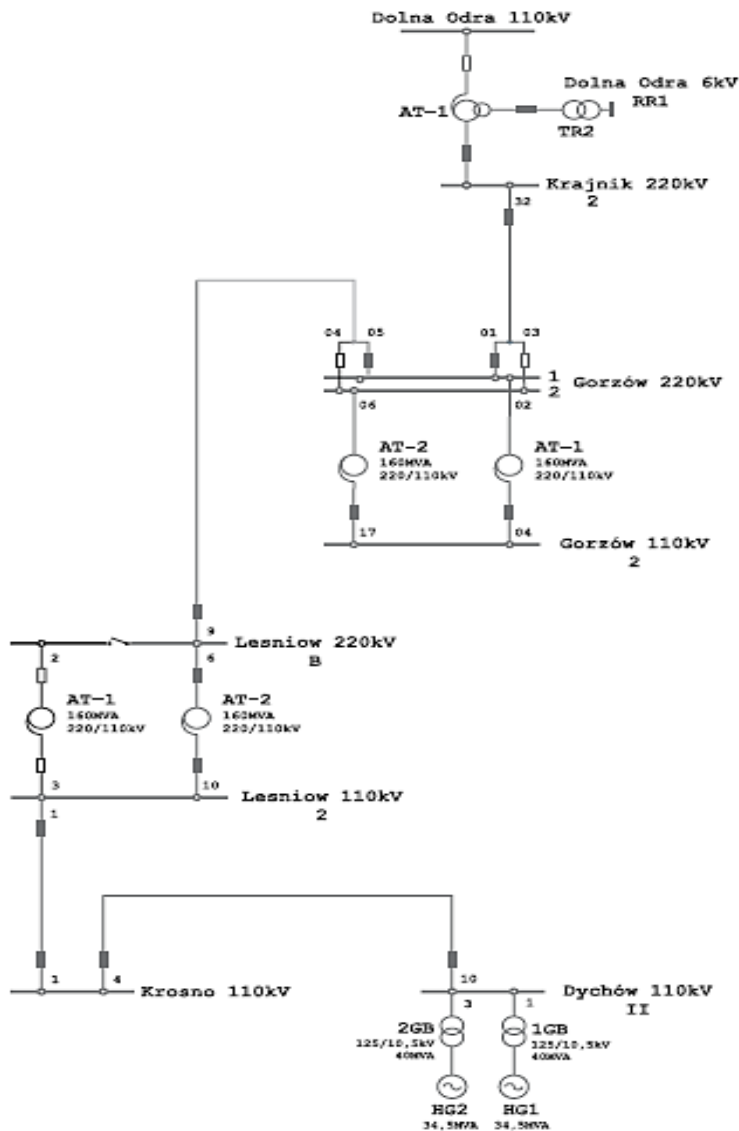
**Źródło:** I. Grządzielski, K. Sroka, A. Łacny, D. Radsak, *Praca bloku ciepłowniczego BC50 elektrociepłowni w wydzielonym układzie wyspowym*, „Acta Energetica”, nr 1/2016, s. 15-32

Próba systemowa obejmowała:<sup>13</sup>

- samostart i synchronizację dwóch hydrogeneratorów (HG1 i HG2) Elektrowni Wodnej Dychów, z wykorzystaniem agregatu prądowłórczego o mocy 200 kW,
- podanie napięcia na tor liniowy: Krosno-Leśniów-Gorzów-Krajnik do stacji Dolna Odra,
- regulację napięcia wzdłuż toru rozruchowego, począwszy od napięcia hydrogeneratorów Elektrowni Wodnej Dychów (10,5 kV), a następnie w stacji Leśniów regulacja przekładni autotransformatora AT-2 i transformatora potrzeb ogólnych TR2, w celu osiągnięcia w stacji Dolna Odra napięcia 6,3 kV po stronie 6 kV transformatora TR2,
- zasilenie potrzeb własnych bloku energetycznego nr 5 o mocy 222 MW w Elektrowni Dolna Odra,
- przeprowadzenie pełnego rozruchu bloku nr 5.

<sup>13</sup> I. Grządzielski, K. Marszałkiewicz, K. Sroka, M. Maćkowiak, J. Borodyno, *Próba systemowa samostartu i podanie napięcia oraz mocy rozruchowej z Elektrowni Wodnej Dychów do Elektrowni Dolna Odra*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny XXIII, s. 141-146

**Rysunek nr 5:** Uproszczony schemat toru rozruchowego podania napięcia z Elektrowni Wodnej Dychów do Elektrowni Dolna Odra



**Źródło:** I. Grządzielski, K. Marszałkiewicz, K. Sroka, M. Maćkowiak, J. Borodyno, *Próba systemowa samostartu i podanie napięcia oraz mocy rozruchowej z Elektrowni Wodnej Dychów do Elektrowni Dolna Odra*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny XXIII, s. 141-146

Tworzenie toru rozruchowego, a w szczególności załączenia linii 220 kV Leśniów-Gorzów oraz Gorzów-Krajnik, skutkowało obciążeniem hydrogeneratorów mocą bierną pojemnościową do wartości 23 Mvar, jednak nie spowodowało to zakłóceń w pracy hydrozespołów. Uruchamianie bloku nr 5 w Elektrowni Dolna Odra wiązało się z występowaniem zmian napięcia oraz prądu generatorowego

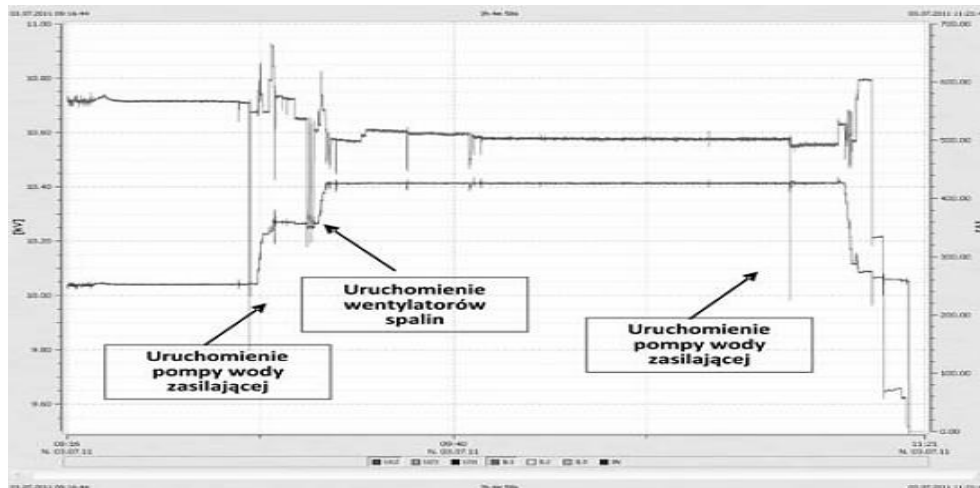
w Elektrowni Wodnej Dychów. Najwyraźniejsze spadki napięcia zaobserwowano podczas załączania napędów dużej mocy, np. pompy wody zasilającej (3150 kW), czy też wentylatorów spalin (2x1200 kW), które dodatkowo wpływały na znaczne odchylenia częstotliwości od 49,2 Hz do 51,4 Hz, które były szybko opanowywane przez układy regulacji.<sup>14</sup> Przebiegi zarejestrowanych napięć i prądów generatorowych hydrozespołu HG1 przedstawiono na rysunku nr 6, natomiast zmiany częstotliwości rejestrowane na zaciskach generatora HG2 – na rysunku nr 7.

Przed przeprowadzeniem eksperymentu systemowego, pracę toru rozruchowego zbadano na modelu symulacyjnym, którego wyniki zawarto w publikacji.<sup>15</sup>

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych, dokonano oceny możliwości:<sup>16</sup>

- utrzymania odpowiednich poziomów napięć na stacjach wchodzących w skład toru rozruchowego,
- regulacji napięcia w torze rozruchowym, w celu osiągnięcia w stacji Dolna Odra napięcia 6,3 kV po stronie 6 kV transformatora TR2,
- kompensacji mocy biernej pojemnościowej przez hydrogeneratory w Elektrowni Wodnej Dychów, wywołanej załączeniami linii 220 kV,
- uruchomienia urządzeń potrzeb własnych bloku nr 5 w Elektrowni Dolna Odra, w szczególności pompy wody zasilającej (3,15 MW), pompy wody chłodzącej (1,25 MW) oraz wentylatorów spalin (2x1,2 MW).

**Rysunek nr 6:** Przebiegi zarejestrowanych napięć i prądów generatorowych hydrozespołu HG1 w Elektrowni Wodnej Dychów



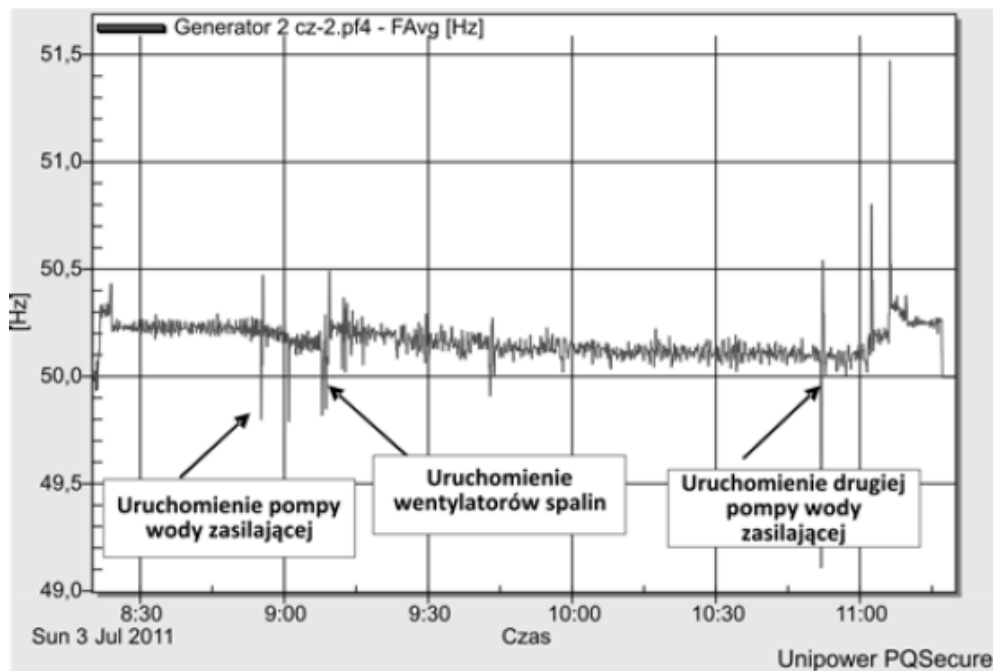
**Źródło:** I. Grządzielski, K. Marszałkiewicz, K. Sroka, M. Maćkowiak, J. Borodynko, *Próba systemowa samostartu i podanie napięcia oraz mocy rozruchowej z Elektrowni Wodnej Dychów do Elektrowni Dolna Odra*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny XXIII, s. 141-146

<sup>14</sup> Ibidem

<sup>15</sup> I. Grządzielski, K. Marszałkiewicz, K. Sroka, M. Maćkowiak, P. Paszkiewicz, *Badania symulacyjne pracy toru rozruchowego z Elektrowni Wodnej Dychów do Elektrowni Dolna Odra*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny XXIII, s. 141-146

<sup>16</sup> Ibidem

**Rysunek nr 7:** Zmiany częstotliwości rejestrowanych na zaciskach hydrozespołu HG2 w Elektrowni Wodnej Dychów



**Źródło:** I. Grządzielski, K. Marszałkiewicz, K. Sroka, M. Maćkowiak, J. Borodyno, *Próba systemowa samostartu i podanie napięcia oraz mocy rozruchowej z Elektrowni Wodnej Dychów do Elektrowni Dolna Odra*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny XXIII, s. 141-146

### Wnioski

Awarie systemowe, ze względu na różnorodność swych przyczyn, są zjawiskiem nieuchronnym. Do udziału w planach obrony i restytucji systemu przewiduje się bloki elektrowni i elektrociepłowni konwencjonalnych, zdolne do tworzenia zbilansowanych wysp obciążeniowych oraz elektrownie szczytowo-pompowe, zdolne do samorozruchu.

Organizacja prób systemowych w celu sporządzenia oraz weryfikacji planów obrony i odbudowy systemu elektroenergetycznego jest niezbędna dla zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego Polski. Opracowywanie modeli matematycznych i badań symulacyjnych torów rozruchowych zwiększa przewidywalność układów podczas eksperymentów systemowych i umożliwia dobór optymalnych parametrów pracy.

### Streszczenie

Podstawowym zadaniem systemu elektroenergetycznego jest zapewnienie ciągłości i niezawodności zasilania. W obliczu realnego zagrożenia rozległymi awariami systemowymi, istnieje konieczność opracowywania planów obrony i odbudowy systemu elektroenergetycznego. Obrona zdolności wytwórczych polega na możliwości uniknięcia awarii, z kolei w przypadku jej wystąpienia – na

ograniczeniu zasięgu awarii, a następnie przywróceniu stanu normalnego. Skuteczna odbudowa systemu elektroenergetycznego pozwala natomiast na przywrócenie do ruchu jednostek wytwórczych oraz w konsekwencji na zasilanie odbiorców końcowych. Opracowywanie scenariuszy obrony i odbudowy systemu elektroenergetycznego jest realizowane na podstawie wniosków z organizowanych prób systemowych, obejmujących zarówno źródła zdolne do samorozruchu, jak również bloki elektrowni i elektrociepłowni konwencjonalnych.

**Słowa klucze:** bezpieczeństwo energetyczne, awaria systemowa, obrona i odbudowa systemu elektroenergetycznego, próba systemowa, wydzielony układ wyspowy

### Summary

The major purpose of power system is to ensure continuous and infallible power supply. In the face of real threat of widespread power system failures, there is a necessity of preparing projects for power system defense and restoration. The defense of power system considers the possibility of failure dodging and, in the case of its occurrence, the limitation of failure range and consequently, return to normal conditions. In turn, successful restoration of power system is connected with generation capacity reconstruction and in the result, power supply of the final consignees. The scenarios for power system defense and restoration are based on conclusions from the organized system experiments which involve both self-starting sources and conventional power blocks and CHP blocks.

**Key words:** safety of power system, power system failure, defense and restoration of power system, system experiment, island operation

### Bibliografia

1. Dudzik J., Kuczyński R., *Strategia obrony i odbudowy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, rola wytwórców w planach odbudowy*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny nr XVII Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny. Rola dużych jednostek wytwórczych w realizacji planów obrony i odbudowy KSE, październik 2008
2. Grządzielski I., Marszałkiewicz K., Sroka K., Kuczyński R., *Układy wyspowe wokół dużych jednostek wytwórczych jako podstawowy element scenariuszy odbudowy KSE*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny nr XVII Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny. Rola dużych jednostek wytwórczych w realizacji planów obrony i odbudowy KSE, październik 2008
3. Grządzielski I., Marszałkiewicz K., Sroka K., Maćkowiak M., Borodynko J., *Próba systemowa samostartu i podanie napięcia oraz mocy rozruchowej z Elektrowni Wodnej Dychów do Elektrowni Dolna Odra*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny XXIII
4. Grządzielski I., Marszałkiewicz K., Sroka K., Maćkowiak M., Paszkiewicz P., *Badania symulacyjne pracy toru rozruchowego z Elektrowni Wodnej Dychów do Elektrowni Dolna Odra*, „Energetyka”, Zeszyt tematyczny XXIII
5. Grządzielski I., Sroka K., *Elektrownia wodna Dychów jako źródło rozruchowe do odbudowy zdolności wytwórczych elektrowni ciepłych*, „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 10/2016

6. Grzędzielski I., Sroka K., Łacny A., Radsak D., *Praca bloku ciepłowniczego BC50 elektrociepłowni w wydzielonym układzie wyspowym*, „Acta Energetica”, nr 1/2016
7. Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej. Warunki korzystania, prowadzenia ruchu, eksploatacji i planowania rozwoju sieci. Wersja 2.1. Tekst jednolity po Karcie aktualizacji CK/1/2012 zatwierdzonej decyzją Prezesa URE nr DPK-4320-2(16)/2010÷2013/LK z 29 stycznia 2013 r. Tekst obowiązujący 1 lutego 2013 r.
8. <http://pe.org.pl/articles/2016/10/45.pdf> (pobrano 15.12.2016 r.)
9. Kasprzyk S., *Bezpieczeństwo pracy polskiego systemu elektroenergetycznego*, "Energetyka", Zeszyt tematyczny nr II Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny. Seminarium ogólnopolskie. Poznań, 14-15 kwietnia 2004
10. Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*. Warszawa 2012
11. Rakowska A., Grzybowski A., Stiller J., *Czy grożą nam awarie systemowe wywołane zjawiskami klimatycznymi?*, „Energetyka”, 7/2009
12. Sroka K., Grzędzielski I., Kurzyński A., Łacny A., Radsak D., *Elektrociepłownia Karolin w procesach obrony i restytucji Krajowego Systemu Elektroenergetycznego* (w:) *Blackout a Krajowy System Elektroenergetyczny – Edycja 2016*. Poznań 2016
13. Szymanek M., *Praca elektrociepłowni miejskiej w warunkach awarii katastrofalnej na przykładzie wybranego obiektu dużej mocy*, „Prace Instytutu Elektrotechniki”, zeszyt 260, 2012
14. [www.rynek-ciepla.cire.pl/pliki/2/czy\\_groza\\_systmowe.pdf](http://www.rynek-ciepla.cire.pl/pliki/2/czy_groza_systmowe.pdf) (pobrano 1.11.2016 r.)



**Krzysztof SALA**

Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie  
Instytut Politologii

## **SYTUACJA ENERGETYCZNA POLSKI W ZAKRESIE ENERGETYKI ODNAWIALNEJ**

### **Wstęp**

Pozyskiwanie i wykorzystywanie energii w Polsce stanowi istotny temat dyskusji gospodarczych i politycznych na wielu forach. Polską gospodarkę charakteryzuje rosnące zapotrzebowanie na energię oraz wyczerpywanie się tradycyjnych źródeł. Ważne elementy stanowią również aspekty ekologiczne i wpływ na środowisko naturalne.

Celem publikacji jest scharakteryzowanie sytuacji energetyki odnawialnej w Polsce. Artykuł prezentuje uwarunkowania rozwoju tego rodzaju energetyki w Polsce, w porównaniu do tradycyjnych źródeł, opartych zasadniczo na procesach spalania. W pracy dokonano charakterystyki najważniejszych źródeł energii odnawialnej w Polsce. Opisano ich rozwój, znaczenie gospodarcze i najważniejsze osiągnięcia.

Artykuł zawiera również dane statystyczne i ich analizę w odniesieniu do zmian, jakie zaszły w ostatnich dziesięcioleciach. Publikacja stanowi również próbę prognozy przyszłej sytuacji energetycznej Polski, biorąc pod uwagę rozwój odnawialnych źródeł energii, w tym wytyczne ze strony UE. Artykuł powstał przy wykorzystaniu materiałów książkowych, danych statystycznych, jak również informacji netograficznych.

Metodę badawczą, zastosowaną w publikacji, stanowi krytyka piśmiennicza i analiza danych zastanych.

### **1. Odnawialne zasoby energii i ich miejsce w światowej energetyce**

Energetyka odnawialna stanowi obecnie istotne źródło pozyskiwania energii na świecie. Jej ekologiczny charakter wychodzi naprzeciw zasadom zrównoważonego rozwoju, idei, która swoje początki datuje na przełom XVII i XVIII wieku, i którą wprowadził do nauki Hans Carl von Carlowitz. Zrównoważony rozwój to rozwój, który zaspokaja podstawowe potrzeby wszystkich ludzi oraz zachowuje, chroni i przywraca zdrowie i integralność ekosystemu Ziemi, bez zagrożenia możliwości zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń i bez przekraczania długookresowych granic pojemności ekosystemu Ziemi.<sup>1</sup> Pojęcie rozwoju zrównoważonego, trwałego, jest tożsame pojęciu ekorozwoju. Ekorozwój to taki rozwój, który uwzględnia prawa ekologii, w celu zachowania zdolności samoregeneracji środowiska naturalnego.<sup>2</sup> Pomimo, że założenia rozwoju trwałego powstały już w okresie oświecenia, to dopiero pod koniec XX wieku zaczęły odgrywać istotną rolę. *Agenda 21*, jako dokument końcowy Szczytu Ziemi w Rio de

---

<sup>1</sup> R.K. Stappen, *A Sustainable World is Possible. Der Wisse Consensus: Problemlösungen für das 21. Jahrhundert*, „Impulsdokument Manuskript” 1.2/2006, s. 13

<sup>2</sup> E. Mazur, *Słownik ekologii i ochrony środowiska*. Szczecin 1999, s. 90

Janeiro w 1992 roku, przedstawiała sposób opracowania i wdrażania programów ekorozwoju w wymiarze lokalnym.<sup>3</sup>

Energetyka odnawialna to wszelkie źródła energii, których zasób odnawia się w krótkim czasie i nie wiąże się z długotrwałym ich deficytem. Takimi źródłami są między innymi: wiatr, promieniowanie słoneczne, opady, pływy i fale morskie oraz geotermia. Przeciwnością ich są nieodnawialne źródła energii, czyli źródła, których zasoby odtwarzają się bardzo powoli bądź wcale: ropa naftowa, węgiel, gaz ziemny i uran.

Energia słońca czy wiatru jest bezpłatna, jednakże aż do końca XX wieku ich praktyczne wykorzystanie było kosztowniejsze niż spalanie kopaliny. Znaczące zainteresowanie energetyką odnawialną datuje się na początek XXI wieku. Wiązało się to ze spadkiem kosztów ich wykorzystania. Postęp technologiczny i coraz powszechniejsze użytkowanie znacząco wpłynęły na opłacalność i ceny. Nie bez znaczenia był również fakt dotowania, przez szereg państw w formie subwencji inwestycji, w energetykę odnawialną, co dodatkowo pobudziło popularyzację tego rodzaju energii.

Na uwagę zasługuje również fakt nierównomiernego wykorzystania zasobów odnawialnych na świecie. Najintensywniej wykorzystywanym obecnie odnawialnym źródłem energii jest energia grawitacyjna wody. Według danych z 2014 roku, to źródło odpowiadało za 69% energii z zasobów odnawialnych. Na kolejnych miejscach znalazły się energia wiatru (13%), biomasa i biopaliwa (5,6%), energia słoneczna (3,3%) oraz energia geotermalna (1,4%).<sup>4</sup> Współczesne, dające się zauważyć, trendy wskazują, że do 2020 roku energia wiatrowa i słoneczna będą produkowały podobną ilość energii co hydroenergetyka, a udział energii odnawialnej przekroczy 20%.

Energia słoneczna jest najbogatszym źródłem energii odnawialnej. Do powierzchni Ziemi dociera 89 petawatów mocy, czyli około 6000 razy więcej niż wynosi zapotrzebowanie ludzkości. Około 1% tej mocy zamienia się w moc wiatrów, co oznacza, że sumaryczna moc wiatrów sięga 900 terawatów.<sup>5</sup> Część mocy wywołuje parowanie wody, która następnie spada na Ziemię w postaci opadów i tworzy rzeki. Potencjalna energia rzek, którą można wykorzystać do generowania mocy, jest szacowana na 7,2 terawata (około 50% światowego zapotrzebowania). Energia geotermalna ma inne źródło – jest generowana przez rozpad radioaktywnych izotopów we wnętrzu Ziemi. Jej moc szacowana jest na około 46 TW.

Rozwój odnawialnych źródeł energii to przede wszystkim na ochronę środowiska i wypełnienie unijnych zobowiązań zawartych w pakiecie energetyczno-klimatycznym.

## 2. Rozwój energetyki odnawialnej w Polsce

Produkcja energii w Polsce oparta jest przede wszystkim na tradycyjnych źródłach energii, takich jak węgiel kamienny i brunatny.<sup>6</sup> Taka sytuacja jest wynikiem zaszczości historycznych i znacznych inwestycji, jakich dokonywano w tym sektorze przez cały czas trwania realnego socjalizmu. Elektrociepłownie, wraz

<sup>3</sup> [http://www.prisonplanet.pl/polityka/agenda\\_21\\_plan\\_wdrozenia](http://www.prisonplanet.pl/polityka/agenda_21_plan_wdrozenia) (pobrano 2.04.2016 r.)

<sup>4</sup> <http://www.BP Statistical World Energy Review 2015/> (pobrano 16.06.2016 r.)

<sup>5</sup> [http://www. Our Energy Sources: The Sun. National Academies](http://www.Our Energy Sources: The Sun. National Academies) (pobrano 09.02.2016 r.)

<sup>6</sup> D. Laudyn, M. Pawlik, F. Strzelczyk (red.), *Elektrownie*. Warszawa 2004, s. 12

z kopalniami i systemami transportowymi, stały się systemem naczyń połączonych, zapewniających dostawę energii dla przemysłu i mieszkańców, jak również generujących wiele miejsc pracy.

W przeszłości podejmowano w Polsce próby zbudowania systemu elektrowni jądrowych, jako alternatywnego sposobu pozyskiwania energii, jednakże do dzisiaj nie udało się uruchomić ani jednego bloku energetycznego. Na taki stan rzeczy wpłynęło wiele czynników, w tym również argumenty wysuwane przez mieszkańców i ekologów.<sup>7</sup>

Wyczerpywanie się zasobów paliw kopalnianych, wysokie koszty wydobycia, a także problem nadmiernej emisji dwutlenku węgla powodują wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii (OZE). Największymi emitentami zanieczyszczeń i CO<sub>2</sub> do atmosfery w UE są elektrownie opalane węglem brunatnym. Do niechlubnego rankingu 10 największych trucielei w Europie należy również, zlokalizowana w Polsce, elektrownia Turów.<sup>8</sup> Od początku przemian ustrojowych rośnie w Polsce świadomość szkód środowiskowych, spowodowanych przez energię konwencjonalną, a członkostwo w Unii Europejskiej stworzyło dodatkowy impuls do restrukturyzacji polskiego sektora energetycznego.<sup>9</sup> W konsekwencji, pojęcie odnawialnych źródeł energii, czyli energii słonecznej, wiatrowej, wodnej, geotermalnej oraz pozyskiwanej z biomasy, zyskuje uznanie w polskiej polityce energetycznej i strategii ochrony środowiska.

Rozwój OZE jest jednym z priorytetów wymienionych w dokumencie *Polityka Energetyczna Polski do 2030 roku*. Dokument ten stanowi strategię państwa, która ma przygotować rozwiązania wychodzące naprzeciw wyzwaniom polskiej energetyki, przyjętą przez Radę Ministrów 10 listopada 2009 r. Przewiduje ona mechanizmy, które mają zachęcać do rozwoju odnawialnych źródeł energii, takie jak:

- zwolnienie z akcyzy energii elektrycznej, wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii;
- świadectwa pochodzenia i inne mechanizmy wspierające przedsiębiorstwa wytwarzające energię pochodzącą z OZE;
- mechanizmy podatkowe;
- wsparcie projektów OZE z funduszy UE i ochrony środowiska

W bardziej szczegółowy sposób założenia te zostały podsumowane w przyjętym przez Radę Ministrów, 7 grudnia 2010 r., *Krajowym Planie Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych*. W dokumencie tym Rada Ministrów podkreśliła, iż zakłada się utrzymanie wsparcia dla odnawialnych źródeł energii.

Zgodnie z nowymi celami Unii Europejskiej, określonymi w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, zmieniającej i w następstwie uchylającej dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE, do 2020 r. Polska powinna osiągnąć 15% udział energii elektrycznej z OZE w zużyciu energii elektrycznej brutto. Dążenie do osiągnięcia tego progu zostało potwierdzone w *Krajowym Planie Działania*, w zakresie energii ze źródeł

<sup>7</sup> G. Jezierski, *Kalendarium budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu, czyli... jak straciliśmy swoją szansę?*, <http://www.cire.pl/pliki/2/zarnowiec.pdf> (pobrano 9.04.2016 r.)

<sup>8</sup> [http://assets.panda.org/downloads/european\\_dirty\\_thirty\\_may\\_2007.pdf](http://assets.panda.org/downloads/european_dirty_thirty_may_2007.pdf) (pobrano 12.02.2016 r.)

<sup>9</sup> [http://www.paiz.gov.pl/prawo/odnawialne\\_zrodla\\_energii](http://www.paiz.gov.pl/prawo/odnawialne_zrodla_energii) (pobrano 2.01.2016 r.)

odnawialnych. Powyższe cele są widocznym dowodem na istnienie możliwości dla inwestorów zainteresowanych rozwojem OZE w Polsce.

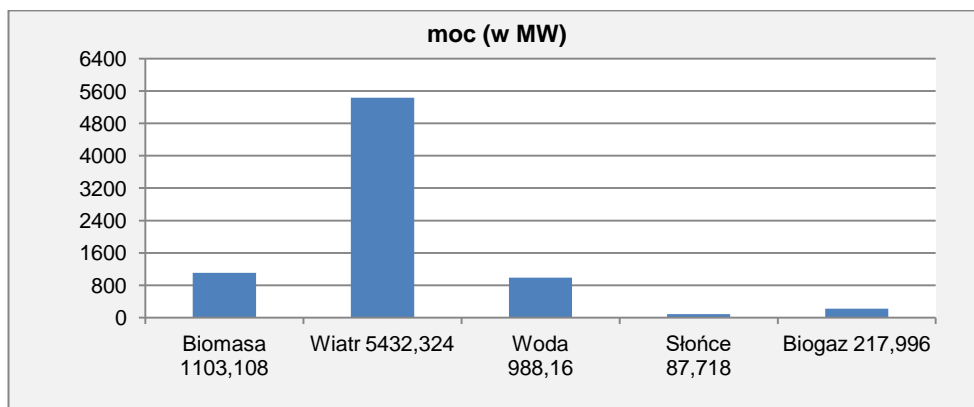
Energia odnawialna dopiero zaczyna być stosowana na większą skalę w Polsce, a farmy wiatrowe wykorzystywane są przez gminy oraz przez deweloperów. Pomimo tego, że popyt na energię elektryczną w Polsce nadal jest znacznie mniejszy niż w krajach Europy Zachodniej, stale wzrasta zarówno jej produkcja, jak i zużycie.

W ostatnich latach w Polsce można zaobserwować niewielki, ale jednak stały wzrost wykorzystania OZE. Na przykład w roku 2009, ze źródeł odnawialnych pozyskano 253.152 TJ, co stanowiło 9% ogólnej ilości wyprodukowanej energii, w 2010 r. 287.640 TJ, co stanowiło 10,2% ogólnej ilości pozyskanej energii, a w 2013 r. 357.537 TJ, co stanowiło 11,9% ogólnej ilości pozyskanej energii.<sup>10</sup> W Polsce odnawialne źródła energii zaspokajają około 4,2% zapotrzebowania na energię. Głównymi źródłami są: biomasa (2%), wiatr (1,4%) oraz hydroenergetyka (0,6%). Do tego należy dodać źródła pochodzące z energetyki słonecznej i geotermalnej. Udział energii elektrycznej z odnawialnych źródeł nieustannie wzrasta.<sup>11</sup>

### 3. Wykorzystanie energii odnawialnej w Polsce

Energia ze źródeł odnawialnych w Polsce jest wykorzystywana w różnorodny sposób, jednakże w zróżnicowanej skali. Wynika to przede wszystkim ze specyfiki położenia geograficznego naszego kraju (liczba dni słonecznych w roku, intensywność wiatrów), jak również warunków opłacalności wykorzystania danego źródła energii. Na pierwszym miejscu należy tutaj wymienić źródła pochodzące z biomasy, elektrowni wiatrowych oraz hydroelektrowni. Nie bez znaczenia w naszym kraju pozostaje również energia pozyskana ze słońca, a także, w nieco mniejszym stopniu, energia geotermalna. W Polsce nie wykorzystuje się natomiast energii fal i pływów morskich. Moc zainstalowanych urządzeń w zakresie najważniejszych źródeł energii odnawialnej przedstawia wykres nr 1.

**Wykres nr 1:** Moc zainstalowanych głównych źródeł odnawialnych w Polsce w 2016 r.



**Źródło:** Opracowanie własne wg PSEW

<sup>10</sup> [http://www.paiz.gov.pl/prawo/odnawialne\\_zrodla\\_energii](http://www.paiz.gov.pl/prawo/odnawialne_zrodla_energii) (pobrano 2.01.2016 r.)

<sup>11</sup> <http://www.stat.gov.pl> (pobrano 4.06.2016 r.)

Łączna moc zainstalowanych najważniejszych źródeł energii odnawialnej w 2016 roku wynosiła ponad 7800 MW, w tym około 69% pochodziła z siłowni wiatrowych. Dla porównania, łączna moc wszystkich elektrowni węglowych w Polsce to 30000 MW,<sup>12</sup> co stanowi 88,6% udziału w całkowitym wytwarzaniu energii. W 2013 roku udział energetyki odnawialnej w całkowitej produkcji energii wynosił około 12%. Przewidywane unijne minimum w 2020 zakłada udział na poziomie 15%, a w 2030 nawet 38%.<sup>13</sup>

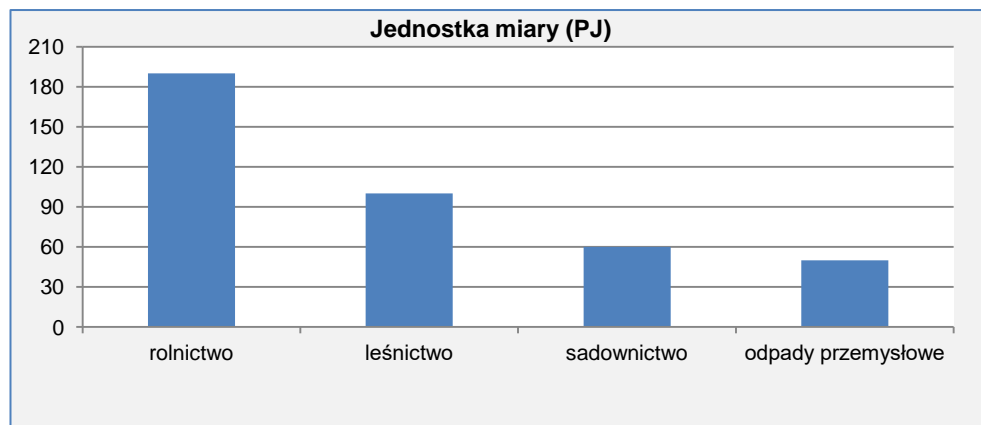
### 3.1. Biomasa

Kluczową rolę w wykorzystaniu energii odnawialnej w Polsce posiada biomasa. Największe możliwości w zakresie produkcji biomasy należy upatrywać w uprawie roślin energetycznych, w tym szczególnie wierzby. Jeżeli pod uprawy zostałyby oddane wszystkie nieużytki i gleby zdegradowane, to istnieje możliwość pozyskiwania z nich potencjalnie od 400 do 450 PJ energii. Znaczna ilość energii możliwa jest do pozyskania z przetworzenia słomy, której nadwyżka w rolnictwie stanowi odpad, szacuje się że obecnie ponad 11 mln ton słomy rocznie może być przekazywane na potrzeby energetyczne (195PJ).<sup>14</sup>

Północna i zachodnia Polska dysponuje dużym potencjałem biomasy stałej, ze względu na nadwyżki słomy w gospodarstwach rolnych. Również północne oraz północno-wschodnie i północno-zachodnie rejony kraju posiadają największe możliwości wykorzystania biogazu z odpadów zwierzęcych.<sup>15</sup>

Według szacunków, Polska wykorzystuje jedynie ok. 7% swojego potencjału w zakresie biomasy wobec średniej 20% w całej UE. Zasoby biomasy w Polsce przedstawia wykres nr 2.

**Wykres nr 2:** Zasoby biomasy w Polsce



**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie: [www.biomasa.org](http://www.biomasa.org)

<sup>12</sup> <http://www.stopep.org/pl,ep-elektrownie-weglowe-w-polsce-istniejace-elektrownie-weglowe> (pobrano 3.02.2016 r.)

<sup>13</sup> <http://www.globenergia.pl/informacje/aktualnosci/174-aktualnosci-2/5717> (pobrano 10.05.2016 r.)

<sup>14</sup> W. Ciechanowicz, *Metanol z biomasy, węgla przy udziale neutronów o wysokich energiach o zerowej emisji dwutlenku węgla (w:)* W. Ciechanowicz, S. Szczukowski (red.), *Paliwa i Energia XXI wieku szansą rozwoju miast i wsi*. Warszawa 2006

<sup>15</sup> P. Gradziuk (red.), *Biopaliwa*. Lublin 2003, s. 23

Z danych Generalnej Dyrekcji Lasów Państwowych wynika, że do bezpośredniego wykorzystania w energetyce można przeznaczyć 6,1 mln m<sup>3</sup> drewna rocznie, co odpowiada 42PJ. Dalsze 58PJ możliwe jest do uzyskania z odpadów drzewnych z przemysłu. W pozyskiwaniu energii z biomasy, istotnym zagadnieniem jest biogaz powstały w procesie rozkładu lub zgasowywania substancji organicznych. Szacunkowo, z tego źródła można pozyskać 15PJ energii jeśli chodzi o biogaz rolniczy oraz 12PJ z terenów wysypisk śmieci. Daje to w sumie do zagospodarowania rocznie od 722 do 772 PJ energii. W niniejszym bilansie uwzględniono jedynie biomasę, niebudzącą wątpliwości co do możliwości przeznaczenia jej na potrzeby energetyczne. Potencjał biomasy jest dużo wyższy, jeśli uwzględni się biomasę przeznaczoną na paszę (siano, zboża, ziemniaki), produkty spożywcze (zboża, ziemniaki), walory roślinne i krajobrazowe (trzciny, drewno).

W Polsce większość energetycznego wykorzystania biomasy opiera się na produkcji ciepła, szczególnie w małych, lokalnych (często przydomowych) instalacjach energetycznych. W Unii Europejskiej przemysł energetyczny jest zobligowany do korzystania z biomasy jako paliwa. Spalanie biomasy jest korzystniejsze dla środowiska, z uwagi na zredukowany poziom CO<sub>2</sub> uwalnianego do atmosfery, a co za tym idzie, ma mniejszy wpływ na efekt cieplarniany. Biomasa zawiera również mniejszą ilość szkodliwych pierwiastków.

W ostatnich latach duży udział w wykorzystaniu biomasy występuje w energetyce zawodowej, która coraz częściej stosuje współspalanie biomasy z węglem. Największy w Polsce kocioł opalany biomasą znajduje się w Elektrowni Połaniec. Powstały również bloki całkowicie bazujące na biomasie jako paliwie, a w 2012 oddano blok o mocy 190MW opalany głównie przez zrębki drewna i palety słomy. Potencjał elektrowni biomasowych w 2015 roku był szacowany na 1122,6 MW.<sup>16</sup> Dla osiągnięcia zaplanowanych celów zwiększenia udziału biomasy w produkcji energii do 2020 roku, największe elektrownie potrzebowałyby 11 mln ton biomasy stałej w stanie suchym.<sup>17</sup> Spalanie biomasy może przyczynić się do zmniejszenia zapotrzebowania na ropę naftową.

Zauważa się także znaczący wzrost ilości małych biogazowni, wykorzystujących odpady pochodzenia rolniczego, zarówno z produkcji roślinnej, jak i zwierzęcej. Wciąż niewielkie jest natomiast użytkowanie biogazu wytwarzanego w procesach rozkładu szczątków na wysypiskach odpadów, co stało się dość popularne w krajach wysoko rozwiniętych. Korzystanie z biomasy, jako źródła energii, posiada jednak mankamenty. Wadą stosowania biomasy do uzyskiwania energii jest wydzielanie szkodliwych substancji podczas spalania białek i tłuszczów. Ponadto, instalacje współspalania biomasy z węglem ulegały w przeszłości poważnym awariom.

<sup>16</sup> <http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/20285/potencjal-fotowoltaiki-w-polsce-przekroczy-70-mw> (pobrano 05.24.2016 r.)

<sup>17</sup> R. Pudełko, A. Faber (red.), *Dobór roślin energetycznych dostosowanych do uprawy w wybranych krajach. Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy*. Warszawa 2010, s. 50

### 3.2. Energetyka wiatrowa

Wykorzystanie energii wiatrowej w Polsce rozwija się od początku lat 90. XX wieku. Na tle całego kraju, najkorzystniejsze lokalizacje dla farm występują w północnej Polsce. Biorąc pod uwagę warunki wiatrowe, najlepsze tereny pod ich budowę to pas pobrzeża Bałtyku i krańce północno-wschodnie. Taka sytuacja determinuje lokalizacje i rozwój polskiej energetyki wiatrowej. Największą mocą elektrowni dysponują regiony: zachodniopomorski, pomorski i wielkopolski (Tabela nr 1.)

**Tabela nr 1:** Liczba elektrowni wiatrowych i ich moc w poszczególnych województwach w Polsce w 2014 roku

Województwo	Liczba instalacji	Moc w (MW)
zachodniopomorskie	62	1154,1
pomorskie	40	459,8
wielkopolskie	142	454,2
łódzkie	183	319,2
kujawsko-pomorskie	237	315,7
warmińsko-mazurskie	28	238,0
mazowieckie	72	222,4
dolnośląskie	10	162,3
podlaskie	20	122,7
opolskie	9	103,6
podkarpackie	26	85,3
lubuskie	7	56,6
śląskie	20	17,9
świętokrzyskie	17	8,9
małopolskie	12	3,4
lubelskie	5	2,1

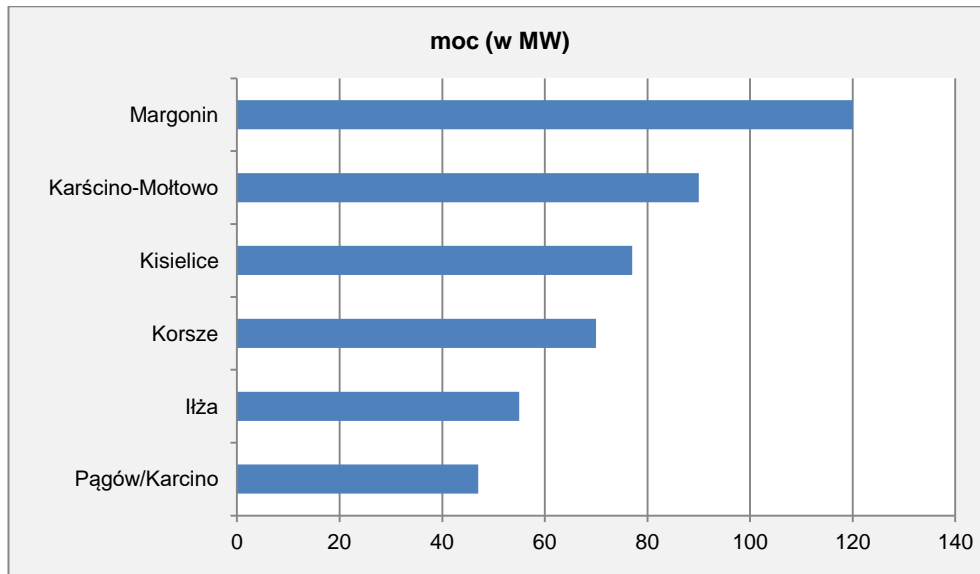
**Źródło:** Urząd Regulacji Energetyki

Wykorzystanie energii wiatru możemy podzielić na przemysłowe oraz do użytku domowego. Pierwszy wiatrak energetyczny w Polsce został postawiony w 1991 r., przy istniejącej od lat 80. Elektrowni Wodnej w Żarnowcu. W wyniku dokonywanych inwestycji, powstała następnie pierwsza farma wiatrowa w Lisewie. Pierwszą przemysłową farmą wiatrową w Polsce była farma wiatrowa Barzowice, leżąca w województwie zachodniopomorskim, uruchomiona w kwietniu 2001 roku. Składała się ona z sześciu siłowni, o łącznej mocy 5 MW.

W XXI wieku nastąpił w naszym kraju dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej. Moc zainstalowana wzrosła od 83,3 MW w 2005 roku, do 4117 MW w 2015 roku. W 2015 roku wiatraki wyprodukowały w Polsce 9757 GWh energii, czyli około 4% całkowitej wyprodukowanej energii elektrycznej w kraju.<sup>18</sup> Począwszy od 2013 r., w Polsce zaczęto instalować na większą skalę elektrownie o mocy 3MW i więcej. W 2009 roku Polska znajdowała się na 13. miejscu spośród państw Unii Europejskiej, pod względem mocy zainstalowanej w energetyce wiatrowej, natomiast w 2014 już na 5.<sup>19</sup> Listę najważniejszych elektrowni wiatrowych w naszym kraju i ich moc prezentuje wykres nr 3.

<sup>18</sup> [http://www.psew.pl/pl/Energetyka\\_wiatrowa\\_w\\_Polsce](http://www.psew.pl/pl/Energetyka_wiatrowa_w_Polsce) (pobrano 4.03.2016 r.)

<sup>19</sup> [http://EWEA\\_Annual\\_Report\\_2009](http://EWEA_Annual_Report_2009). European Wind Energy Association (pobrano 9.04.2016 r.)

**Wykres nr 3: Największe polskie elektrownie wiatrowe w 2015 roku**

**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie: Energetyka wiatrowa w Polsce, Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej, [www.psew.pl](http://www.psew.pl)

Według danych URE, na koniec czerwca 2014 roku było w Polsce 890 instalacji wiatrowych, przy czym:

- siłownie duże 2,0 MW i większe: 2900 MW = około 1400 turbin (około 140 parków wiatrowych);
- siłownie średnie 1,0-1,9 MW: 500 MW = około 300 turbin (około 30 parków wiatrowych);
- siłownie małe 0,1-0,9 MW: 300 MW = około 600 turbin.<sup>20</sup>

Pod koniec 2015 roku liczba farm wiatrowych w Polsce wynosiła już 981. Nie brak przy tym również i rekordów. W 2012 roku powstała najwyższa instalacja wiatrowa na świecie we wsi Paproć, w pobliżu Nowego Tomysła. Instalację tworzą dwa wiatraki o wysokości 210 m każdy.<sup>21</sup>

Trudna do oszacowania jest liczba małych elektrowni przydomowych w Polsce, których moc waha się pomiędzy 100, a 5000 W.

Przydomowe elektrownie wiatrowe, jako zespół urządzeń terenowych, służą do wytworzenia i magazynowania energii elektrycznej dla celów jej użycia w jednym lub kilku domach, najczęściej montowanych w pobliżu odbiorców energii. W tym przypadku nie dochodzi do wykorzystywania sieci przesyłowej.

Energia elektryczna, pozyskiwana z energii wiatru, jest uważana za „ekologicznie czystą”, jednak nie jest całkowicie wolna od emisji i pozostałych innych oddziaływań na środowisko. Pośrednio przyczynia się do ubożenia zasobów, powoduje nietypowe i trudne do oceny oddziaływanie na środowisko,

<sup>20</sup> <http://www.wiatrowa.blox.pl> (pobrano 10.03.2016 r.)

<sup>21</sup> [http://epoznan.pl/news-news-36935-Nowy\\_Tomysl\\_powstaly\\_najwyzsze\\_wiatraki\\_na\\_swiecie](http://epoznan.pl/news-news-36935-Nowy_Tomysl_powstaly_najwyzsze_wiatraki_na_swiecie) (pobrano 12.05.2016 r.)



a także negatywnie wpływa na zdrowie ludzi. Za przykład może tutaj służyć głośny w mediach protest mieszkańców Jeleniewa koło Suwałk, skierowany przeciw koncepcji rozbudowy ferm wiatrowych na obszarze ich miejscowości.

### 3.3. Hydroelektrownie

Elektrownie wodne należą do najintensywniej wykorzystywanych źródeł energii odnawialnej na świecie. Działają w 150 krajach i w 2014 roku dostarczyły łącznie 3884 TWh energii elektrycznej, co stanowi 16,5% całkowitej produkcji energii elektrycznej na świecie.<sup>22</sup>

Energetyka wodna odgrywa istotną rolę również w Polsce. Było to pierwsze odnawialne źródło energii w naszym kraju. Pierwszych poważniejszych nakładów w ten sektor dokonano już w XX-leciu międzywojennym. Stanowiło to wówczas przykład racjonalnego i perspektywicznego myślenia. Okres powojenny to czas dalszych, często przeciągających się wiele lat, inwestycji. Obecnie w Polsce ponad 28% energii elektrycznej, produkowanej w technologii wykorzystującej Odnawialne Źródła Energii, pochodzi z energetyki wodnej. Stanowi to jednak zaledwie niecałe 2% w całkowitej produkcji energii elektrycznej w Polsce. Zasoby hydroenergetyczne Polski szacuje się na 13,7 TWh rocznie, z czego 45,3% przypada na Wisłę, 43,6% na dorzecza Wisły i Odry, 9,8% na Odrę i 1,8% na rzeki Pomorza.

W 2014 roku Polska wyprodukowała 2,2 TWh energii elektrycznej w hydroelektrowniach. W tym samym roku moc elektrowni wodnych wynosiła 977 MW.

Ukształtowanie terenu naszego kraju, w większości nizinne, a także brak dużych, naturalnych spadów, nie stwarza zbyt korzystnych warunków do budowania dużych elektrowni wodnych. W Polsce istnieje około 400 hydroelektrowni, w tym zaledwie kilkanaście o mocy większej niż 5 MW. W kilku ostatnich latach najwięcej hydroelektrowni przybyło na terenach byłych województw: olsztyńskiego, gdańskiego, śląskiego i bydgoskiego.<sup>23</sup>

Z uwagi na warunki hydrologiczne, rozwój sektora energii wodnej związany jest głównie z małymi elektrowniami wodnymi. Należy zwrócić uwagę na fakt, że w Polsce pracuje aż 727 elektrowni wodnych. Większość z nich to małe elektrownie wodne. Część z nich to również przydomowe instalacje dla celów prywatnych. Wśród dużych instalacji wymienić można zaledwie kilka (Tabela nr 2).

**Tabela nr 2:** Elektrownie wodne w Polsce

Nazwa	Rzeka	Rok uruchomienia	Moc zainstalowana (MW)
Żarnowiec	Piaśnica	1982	716,0
Porąbka-Żar	Soła	1979	550,0
Włocławek	Wisła	1970	162,0
Żydowo	Radew	1971	152,0
Solina	San	1968	137,2
Niedzica	Dunajec	1997	90,0
Dychów	Bóbr	1951	79,5

<sup>22</sup> <http://www.BP Statistical World Energy Review 2015> (pobrano 16.06.2016 r.)

<sup>23</sup> T. Chmielniak, *Technologie energetyczne*. Warszawa 2008, s. 12

Nazwa	Rzeka	Rok uruchomienia	Moc zainstalowana (MW)
Rożnów	Dunajec	1942	50,0
Koronowo	Brda	1960	26,0
Tresna	Soła	1967	21,0
Dębe	Narew	1962	20,0

**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie: [www.biomasa.org](http://www.biomasa.org)

W polskich warunkach klimatycznych, zwiększenie możliwości retencji wody powinno być jednym z priorytetowych zadań polityki ekologicznej państwa.<sup>24</sup> W przypadku zastosowania sztucznego piętrzenia wód rzecznych, oprócz efektów energetycznych i przeciwpowodziowych, można uzyskać szereg innych korzyści gospodarczych, takich jak: rozwój transportu wodnego, dodatkowe przejścia mostowe, wyższe plony roślin dzięki wzrostowi poziomu wód gruntowych, przyrost ryb w zbiornikach, rozwój turystyki i rekreacji. Istotną zaletą elektrowni wodnych jest także zerowy koszt „paliwa”. Biorąc pod uwagę wszystkie ww. korzyści, uczestnictwem w finansowaniu tego rodzaju inwestycji powinna być zainteresowana większa liczba podmiotów gospodarczych i instytucji.

Energetyka wodna, poza oczywistymi zaletami, posiada również wady. Budowa elektrowni znacząco zmienia ekosystem i przyczynia się do degradacji krajobrazu otoczenia. Ponadto, nagromadzona przy zaporach materia organiczna stanowi źródło emisji szkodliwego metanu.

### 3.4. Energetyka słoneczna

Energia słoneczna jest powszechnie dostępną, całkowicie czystą i najbardziej naturalną z istniejących źródeł energii. Najlepiej może być wykorzystana lokalnie, zaspokajając zapotrzebowanie na ciepłą wodę i ogrzewanie. Dużą zaletą jej użytkowania jest łatwa adaptacja, zwłaszcza do celów gospodarstwa domowego.

Energetyka słoneczna w Polsce należy do stosunkowo nowej dziedziny energetyki odnawialnej. Należy tutaj wymienić dwa sektory: energetyki ciepłej, przekształcającej energię słoneczną na ciepło i elektroenergetyki – produkującej energię elektryczną. Warunki meteorologiczne w Polsce charakteryzują się bardzo nierównomiernym rozkładem promieniowania słonecznego w cyklu rocznym. 80% całkowitej rocznej sumy nasłonecznienia przypada na sześć miesięcy sezonu wiosenno-letniego (od początku kwietnia do końca września). Czas aktywności słońca w zimie skraca się do 8 godzin dziennie, zaś w lecie, w miesiącach najbardziej słonecznych, osiąga 16 godzin.

Z punktu widzenia wykorzystania energii promieniowania słonecznego, najistotniejszymi parametrami są roczne wartości nasłonecznienia (insolacji) – wyrażające ilość energii słonecznej, padającej na jednostkę powierzchni płaszczyzny w określonym czasie. Najbardziej uprzywilejowanym rejonem Polski, pod względem napromieniowania słonecznego, jest południowa część województwa lubelskiego. Centralna część Polski, tj. około 50% powierzchni kraju, uzyskuje napromieniowanie rzędu 1022-1048 kWh/m<sup>2</sup>/rok, a południowa, wschodnia i północna część Polski – 1000 kWh/m<sup>2</sup>/rok i mniej. Najmniejszy w skali

<sup>24</sup> J. Steller, A. Henke, M. Kaniecki (red.), *Jak zbudować małą elektrownie wodną? Przewodnik inwestora*. Bruksela/Gdańsk 2010, s. 8

roku dopływ energii obserwuje się w rejonie Śląska oraz w obszarze znajdującym się na styku Czech, Niemiec i Polski, do niedawna nazywanym „Czarnym Trójkątem”, z uwagi na wysokie zanieczyszczenie powietrza. Do obszarów słabo nasłonecznionych należy również rejon północny, obejmujący pas wybrzeża, z wyjątkiem Wybrzeża Zachodniego (Tabela nr 3).

**Tabela nr 3:** Potencjalna energia użyteczna w kWh/m<sup>2</sup>/rok w wyróżnionych rejonach Polski

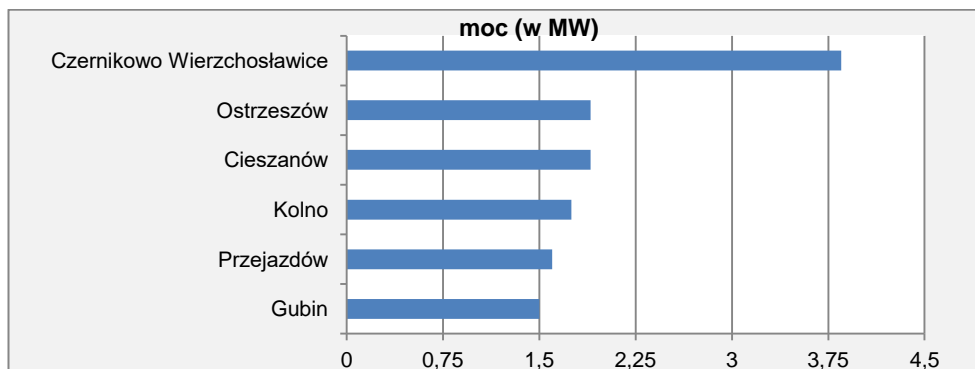
Województwo	KWH/m2/rok	Półrocze letnie	Sezon letni	Półrocze zimowe
Pas nadmorski	1076	881	497	195
Polska wschodnia	1081	821	461	260
Polska centralna	985	785	449	200
Polska zachodnia	985	785	438	204
Polska południowa	962	682	373	280

**Źródło:** <http://ioze.pl/energetyka-sloneczna/zasoby-energii-slonecznej-w-Polsce>

W 2012 roku Polska zajęła drugie miejsce w sprzedaży instalacji słonecznych wśród krajów europejskich.<sup>25</sup> Na koniec 2012 roku, łączna moc cieplna krajowych kolektorów słonecznych wynosiła blisko 1,3 MW, natomiast na koniec 2015 roku już 21 MW. Całkowita zainstalowana moc kolektorów słonecznych stanowi drugie, po ciepłowniach na biomasę, źródło odnawialne wytwarzania „zielonego ciepła” w Polsce.

W 2015 roku oddano w Polsce do użytku elektrownie fotowoltaiczne, o łącznej mocy 50 MW. Dzięki temu, moc podłączonych do sieci elektrowni fotowoltaicznych w Polsce wynosiła na początku 2016 roku około 71 MW.<sup>26</sup> Obecnie planuje się największą tego typu inwestycję w Otmuchowie, w regionie opolskim. Listę największych systemów fotowoltaicznych prezentuje wykres nr 4.

**Wykres nr 4:** Lokalizacja największych systemów fotowoltaicznych w Polsce w 2014 r.



**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie: [www.gramwzielone.pl](http://www.gramwzielone.pl)

<sup>25</sup> [http://www.ekonews.com.pl/pl/0,282,11313,rozwoj\\_rynku\\_kolektorow\\_slonecznych\\_w\\_polsce.html](http://www.ekonews.com.pl/pl/0,282,11313,rozwoj_rynku_kolektorow_slonecznych_w_polsce.html) (pobrano 2.02.2016 r.)

<sup>26</sup> <http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/20285/potencjal-fotowoltaiki-w-polsce-przekroczyl-70-mw> (pobrano 13.06.2016 r.)

Obecnie energia słoneczna wykorzystywana jest w Polsce głównie jako źródło ciepła, poprzez instalacje kolektorów słonecznych, ogrzewających powietrze lub wodę.<sup>27</sup> Baterie słoneczne, wykorzystujące promieniowanie słoneczne do produkcji energii elektrycznej, ze względów ekonomicznych, wykorzystywane są wyłącznie w instalacjach małej mocy, zasilających głównie obiekty wolnostojące, oddalone od sieci elektroenergetycznych, np. znaki drogowe, lampy oświetleniowe.

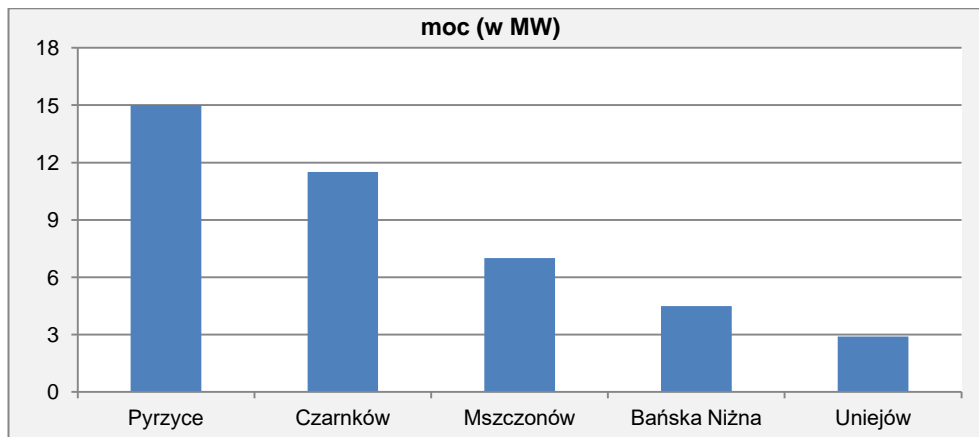
### 3.5. Energetyka geotermalna

Energia geotermalna jest nadwyżką energii cieplnej w stosunku do energii odpowiadającej średniej temperaturze powierzchni Ziemi.<sup>28</sup> Polska ma bardzo dobre warunki geotermalne, gdyż 80% powierzchni kraju jest pokryte przez 3 prowincje geotermalne: centralnoeuropejską, przedkarpacką i karpacką. Temperatura wody dla tych obszarów wynosi od 30-130°C (a lokalnie nawet 200°C), a głębokość występowania w skałach osadowych to od 1 do 10 km.

Możliwości wykorzystania wód geotermalnych dotyczą 40% obszaru kraju (wydobycie jest opłacalne, gdy do głębokości 2 km temperatura osiąga 65°C, zasolenie nie przekracza 30 g/l, a także gdy wydajność źródła jest odpowiednia).<sup>29</sup>

W Polsce najkorzystniejsze warunki wykorzystania energii geotermalnej występują w niecce podhalańskiej. Wynika to z sytuacji geologicznej, wysokiej temperatury przy wypływie, niskiej mineralizacji, wysokiej wydajności oraz łatwej dostępności terenowej. Pierwszy zakład geotermalny Bańska Niżna powstał w 1993 roku (Wykres nr 6).

**Wykres nr 6:** Lokalizacje największych geotermalnych zakładów ciepłowniczych w Polsce w 2014 roku



**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie: [www.cire.pl](http://www.cire.pl)

<sup>27</sup> K. Michałowska-Knap, G. Wiśniewski (red.), *Stan obecny i potencjał energetyki odnawialnej w Polsce*. Warszawa 2008, s. 3

<sup>28</sup> W. Bujakowski, *Energia geotermalna. Przegląd polskich doświadczeń. Systemy energetyczne wykorzystujące czyste, odnawialne źródła energii na przykładzie energetyki geotermalnej*. Kraków 2003, s. 97

<sup>29</sup> <http://www.tvp.pl/publicystyka/tematyka-spoleczna/warto-rozmawiac/wideo/przyszlosc-polskiej-energetyki-29012009> (pobrano 12.03.2016 r.)

Największe znaczenie w Polsce posiada zakład geotermalny w Pyrzycach. Oddany do użytku w 1996 roku, bazuje na wodach o temperaturze 64°C. Energia cieplna służy do zasilania czternastotysięcznego miasta. Zakład geotermalny w Mszczonowie zastąpił trzy nieekologiczne kotłownie w centrum miasta. Miasto bazuje na wykorzystaniu słodkiej wody o temperaturze 40°C. Słomniki korzystają z instalacji geotermalnej do ogrzewania szkoły i budynków indywidualnych. Woda geotermalna jest po schłodzeniu wprowadzana do sieci wodociągowej miasta.<sup>30</sup> Wartym odnotowania jest fakt planowanego zwiększenia mocy zakładów geotermalnych w Bańskiej Niżnej i Pyrzycach do poziomu odpowiednio 70 i 50 MW.<sup>31</sup>

Wody geotermalne, poza wykorzystaniem w ciepłownictwie, są stosowane w balneologii, rekreacji i agroturystyce. Tutaj przykład mogą stanowić Uniejów i Zakopane, gdzie na bazie wód termalnych powstały aquaparki.

Oprócz zastosowania przemysłowego, energia geotermalna może być wykorzystana indywidualnie. Stosowanie coraz tańszych pomp ciepła umożliwia zastosowanie tej energii do:

- ogrzewania podłogowego;
- podgrzewania wody użytkowej;
- klimatyzacji;
- podgrzewania wody basenowej;
- zastosowań do celów komunalnych.<sup>32</sup>

Energetyka geotermalna posiada również wady. Przede wszystkim są to wysokie koszty instalacji i niewielka dostępność. Dodatkowymi mankamentami są korozja rur oraz niebezpieczeństwo zanieczyszczenia atmosfery, a także wód powierzchniowych i głębinowych przez szkodliwe gazy i minerały.

### Zakończenie

Rynek energetyczny w Polsce podlega ciągle nieustannym zmianom pod wpływem różnorodnych impulsów i bodźców płynących z otoczenia międzynarodowego. Niebagatelną rolę odgrywają również czynniki wynikające z uwarunkowań krajowych, regionalnych i lokalnych. Nie bez znaczenia jest także sytuacja gospodarcza, która bezpośrednio decyduje o podejmowaniu konkretnych inwestycji.

Postęp w zakresie energetyki odnawialnej może wpłynąć znacząco na sytuację energetyczną Polski. Może stanowić istotną alternatywę dla konwencjonalnych, nieekologicznych źródeł energii i jest w stanie przyczynić się do poprawy stanu środowiska naturalnego. Tempo powstawania nowych inwestycji w zakresie energii odnawialnej oraz jej propagowanie mogą również wpłynąć na plany budowy pierwszych polskich elektrowni jądrowych i wymusić rezygnację z ich realizacji.

Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że odnawialne źródła energii nie niosą ze sobą samych pozytywnych skutków. Negatywne aspekty mogą wpłynąć na stopień ich rozpowszechniania.

<sup>30</sup> W.M. Lewandowski, *Proekologiczne źródła energii odnawialnej*. Warszawa 2002, s. 16

<sup>31</sup> A. Niewiarowski, *Przyczyny upadku ciepłowni geotermalnej w Stargardzie Szczecińskim*, „GLOBEnergia, Odnawialne źródła energii”, nr 3/2007, s. 12

<sup>32</sup> W. Ciechanowicz, S. Szczukowski (red.), *Paliwa i energia XXI wieku szansa rozwoju wsi i miast*. Warszawa 2006, s. 6

### Streszczenie

Motywy wyboru tematu publikacji było poruszenie ważnej tematyki pozyskiwania i wykorzystywania energii w Polsce. Czynniki wpływające na polską energetykę, to z jednej strony rosnące zapotrzebowanie na energię i wyczerpywanie się tradycyjnych źródeł, z drugiej to istotne aspekty ekologiczne oraz wpływ na środowisko naturalne. Celem publikacji było ukazanie złożonej problematyki energetyki odnawialnej w Polsce. Artykuł prezentuje przyczyny i uwarunkowania rozwoju tego rodzaju energetyki w Polsce, w porównaniu do tradycyjnych źródeł, opartych zasadniczo na procesach spalania. W pracy dokonano charakterystyki najważniejszych źródeł energii odnawialnej w Polsce. Opisano ich znaczenie gospodarcze i sposoby wykorzystania. Artykuł zawiera również dane statystyczne i ich analizę w odniesieniu do zmian, jakie zaszły w ostatnich dziesięcioleciach. Publikacja stanowi również próbę prognozy przyszłej sytuacji energetycznej Polski, z uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii.

Artykuł powstał przy wykorzystaniu materiałów książkowych, danych statystycznych, jak również informacji netograficznych. Metodę badawczą, zastosowaną w publikacji, stanowi krytyka piśmiennicza i analiza danych zastanych. Wnioski z badań wyraźnie wskazują na rosnącą rolę OZE w bilansie energetycznym Polski, co może wpłynąć na sytuację energetyki konwencjonalnej i plany budowy elektrowni jądrowych. Nie należy jednak zapominać o negatywnych elementach związanych z funkcjonowaniem źródeł odnawialnych.

**Słowa kluczowe:** biomasa, energia geotermalna, energia odnawialna, energetyka słoneczna, elektrownie wiatrowe, hydroelektrownie, zrównoważony rozwój

### Summary

The motive choice of topic publication was commotion important subject acquisition and use of energy in Poland. Factors affecting the Polish energy sector on the one hand, the growing demand for energy, depletion of traditional sources, with the other relevant aspects of the ecological and environmental impact. The aim of the publication was to show the complex issues of renewable energy in Poland.

The article presents the causes and conditions of the development of this type of energy in Poland in comparison to traditional sources, essentially based on combustion processes. The paper characteristics of the most important sources of renewable energy in Poland. They described their economic importance and usage. Article also contains statistical data and analysis in relation to the changes that have occurred in recent decades. The publication also attempts to forecast the future situation of the Polish energy including renewable energy sources.

This article was written using materials books, statistical data as well as information netography. The research method used in the publication is the literary criticism and analysis of existing data. Conclusions from the study clearly indicate the growing role of renewable energy in Polish energy balance, which may affect the situation of conventional energy and plans to build nuclear power plants. However, do not forget about the negative elements associated with the operation of renewable energy sources.

**Key words:** biomass, geothermal energy, renewable energy, solar power, wind power, hydro power, sustainable development

## Bibliografia

1. Bujakowski W., *Energia geotermalna. Przegląd polskich doświadczeń. Systemy energetyczne wykorzystujące czyste, odnawialne źródła energii na przykładzie energetyki geotermalnej*. Kraków 2003
2. Chmielniak T., *Technologie energetyczne*. Warszawa 2008
3. Ciechanowicz W., *Metanol z biomasy, węgla przy udziale neutronów o wysokich energiach o zerowej emisji dwutlenku węgla (w:) Paliwa i Energia XXI wieku szansą rozwoju miast i wsi*, W. Ciechanowicz, S. Szczukowski (red.). Warszawa 2006
4. Gradziuk P. (red.), *Biopaliwa*. Lublin 2003
5. [http://assets.panda.org/downloads/european\\_dirty\\_thirty\\_may\\_2007.pdf](http://assets.panda.org/downloads/european_dirty_thirty_may_2007.pdf) (pobrano 12.02.2016 r.)
6. [http://epoznan.pl/news-news-36935-Nowy\\_Tomysl\\_powstaly\\_najwyzsze\\_w\\_iatraki\\_na\\_swiecie](http://epoznan.pl/news-news-36935-Nowy_Tomysl_powstaly_najwyzsze_w_iatraki_na_swiecie) (pobrano 12.05.2016 r.)
7. [http://EWEA\\_Annual\\_Raport\\_2009](http://EWEA_Annual_Raport_2009). European Wind Energy Association (pobrano 9.04.2016 r.)
8. <http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/20285/potencjal-fotowoltaiki-w-polsce-przekroczyl-70-mw> (pobrano 5.24.2016 r.)
9. <http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/20285/potencjal-fotowoltaiki-w-polsce-przekroczyl-70-mw> (pobrano 13.06.2016 r.)
10. <http://www.OurEnergySources:TheSun.NationalAcademies> (pobrano 9.02.2016 r.)
11. <http://www.BPStatisticalWorldEnergyReview2015> (pobrano 16.06.2016 r.)
12. [http://www.ekonews.com.pl/pl/0,282,11313,rozwoj\\_rynku\\_kolektorow\\_slonecznych\\_w\\_polsce.html](http://www.ekonews.com.pl/pl/0,282,11313,rozwoj_rynku_kolektorow_slonecznych_w_polsce.html) (pobrano 2.02.2016 r.)
13. <http://www.globenergia.pl/informacje/aktualnosci/174-aktualnosci-2/5717> (pobrano 10.05.2016 r.)
14. [http://www.paiz.gov.pl/prawo/odnawialne\\_zrodla\\_energii](http://www.paiz.gov.pl/prawo/odnawialne_zrodla_energii) (pobrano 2.01.2016 r.)
15. [http://www.prisonplanet.pl/polityka/agenda\\_21\\_plan\\_wdrozenia](http://www.prisonplanet.pl/polityka/agenda_21_plan_wdrozenia) (pobrano 2.04.2016 r.)
16. <http://www.psew.pl/pl/EnergetykawiatrowawPolsce> (pobrano 4.03.2016 r.)
17. <http://www.stat.gov.pl> (pobrano 4.06.2016 r.)
18. <http://www.stopep.org/pl,ep-elektrownie-weglowe-w-polsce-istniejace-elektrownie-weglowe> (pobrano 3.02.2016 r.)
19. <http://www.tvp.pl/publicystyka/tematyka-spoleczna/warto-rozmawiac/wideo/przyszosc-polskiej-energetyki-29012009> (pobrano 12.03.2016 r.)
20. <http://www.wiatrowa.blox.pl> (pobrano 10.03.2016 r.)
21. Jezierski G., *Kalendarium budowy elektrowni jądrowej w Żarnowcu, czyli... jak straciliśmy swoją szansę?*, <http://www.cire.pl/pliki/2/zarnowiec.pdf> (pobrano 2016.04.09 r.)
22. Laudyn D., Pawlik M., Strzelczyk F. (red.), *Elektrownie*. Warszawa 2004
23. Lewandowski W.M., *Proekologiczne źródła energii odnawialnej*. Warszawa 2002
24. Mazur E., *Słownik ekologii i Ochrony środowiska*. Szczecin 1999

25. Michałowska-Knap K., Wiśniewski G., *Stan obecny i potencjał energetyki odnawialnej w Polsce*. Warszawa 2008
26. Niewiarowski A., *Przyczyny upadku ciepłowni geotermalnej w Stargardzie Szczecińskim*, „GLOBEnergia, Odnawialne źródła energii”, nr 3/2007
27. Stappen R.K., *A Sustainable World is Possible. Der Wisse Consensus: Problemslosungen für das 21 Jahrhundert*. „Impulsdokument Manuskript” 1.2/2006
28. Steller J., Henke A., Kaniecki M., *Jak zbudować małą elektrownie wodną? Przewodnik inwestora*. Bruksela/Gdańsk 2010
29. Pudelko R., Faber A. (red.), *Dobór roślin energetycznych dostosowanych do uprawy w wybranych krajach. Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy*. Warszawa 2010



**Jakub FRANKOWSKI, Jacek PRZYBYŁ, Natalia MIODUSZEWSKA,  
Sylwia BARTNIKOWSKA**

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
Instytut Inżynierii Biosystemów

## **BIOMASA ROŚLIN ENERGETYCZNYCH JAKO ELEMENT DYWERSYFIKACJI ŹRÓDEŁ ENERGII W POLSCE**

### **1. Wstęp**

Wraz ze wzrostem zapotrzebowania na energię oraz rosnącym niepokojem społeczeństwa o bezpieczeństwo energetyczne kraju, które związane jest z uzależnieniem od dostaw paliw kopalnych z zagranicy, konieczne staje się poszukiwanie rozwiązań prowadzących do osiągnięcia samowystarczalności Polski w zakresie energetyki. Z uwagi na duże pokłady węgla kamiennego i brunatnego na terenie naszego kraju, surowce te są głównym paliwem wykorzystywanym do produkcji energii elektrycznej i w ciepłownictwie. Jednakże ze względu na unijne, jak i krajowe plany działań w zakresie wytwarzania energii, w najbliższym czasie postępować powinna dywersyfikacja jej źródeł i stopniowe odejście od kopalin.

Zgodnie z założeniami przyjętymi przez Radę Unii Europejskiej, do 2020 roku Polska ma osiągnąć piętnastoprocentowy udział energii ze źródeł odnawialnych w całym bilansie produkcji energii końcowej brutto.<sup>1</sup> Z powodu geograficznego usytuowania oraz związanej z tym ograniczoną możliwością rozwoju energetyki wiatrowej czy fotowoltaicznej, według prognoz naukowców, głównym filarem zwiększenia udziału produkcji energii ze źródeł odnawialnych w Polsce powinna być biomasa.<sup>1</sup> Ekspertki postulują, aby rozpowszechnić pozyskiwanie biomasy z różnych gatunków roślin. Taka dywersyfikacja umożliwiłaby wzrost bezpieczeństwa energetycznego Polski, równocześnie ograniczając nadmierną emisję gazów cieplarnianych i innych szkodliwych substancji powstających w głównej mierze z nieefektywnego spalania paliw konwencjonalnych.<sup>2</sup>

Ponadto opracowanie ekologicznej produkcji biomasy, stanowiącej substrat do wytworzenia bioenergii oraz bioproduktów, jest obecnie priorytetem dla Unii Europejskiej.<sup>3</sup> Z tego względu także wykorzystywanie biomasy na cele energetyczne powinno być coraz bardziej powszechne. Zwłaszcza, iż w wyniku prac hodowlanych, a także poprzez udoskonalanie maszyn do wykonywania zabiegów agrotechnicznych i procesów technologicznych następuje wzrost efektywności i opłacalności prowadzenia plantacji roślin energetycznych.

---

<sup>1</sup> J. Tworkowski, *Ogólna charakterystyka roślin energetycznych* (w:) S. Szczukowski (red.), *Wieloletnie rośliny energetyczne*. Warszawa 2012; P. Gradziuk, A. Grzybek, *Charakterystyka odnawialnych źródeł energii* (w:) A. Grzybek (red.), *Słoma. Energetyczne paliwo*. Warszawa 2001

<sup>2</sup> J. Kuś, M. Matyka, *Uprawa roślin na cele energetyczne*. Puławy 2010

<sup>3</sup> Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE

## 2. Stan obecny i prognozy rozwoju energetyki w Polsce

### 2.1. Zużycie energii w Polsce

Energetyka to jedna ze strategicznych gałęzi przemysłu w każdym kraju. Skuteczne zarządzanie nią nie jest możliwe bez długofalowych strategii działania, które tworzy się na podstawie analizy szeregu danych statystycznych dotyczących obecnego oraz prognozowanego zużycia energii.<sup>4</sup>

W ciągu ostatnich kilku lat sporządzono wiele prognoz dotyczących zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce. Porównując te opracowania, można zauważyć znaczne rozbieżności pomiędzy przewidywanymi niegdyś wielkościami zużycia energii na początku XXI wieku, a jej rzeczywistym zużyciem dzisiaj. Świadczy to o potrzebie okresowej weryfikacji już wykonanych analiz i uaktualniania ich pod względem kwantytatywnym.<sup>5</sup>

Poniżej zaprezentowano i omówiono produkcję elektryczności w latach 2010-2013 (Tabela nr 1), a w dalszej części jedną z prognoz dotyczącą zużycia energii pierwotnej w Polsce do 2030 roku (Wykres nr 1, Tabela nr 2).

**Tabela nr 1:** Produkcja energii elektrycznej według opracowania Agencji Rynku Energii

Wyszczególnienie	Produkcja energii [GWh]			
	2010	2011	2012	2013
Łącznie:	157 658	163 548	162 139	164 557
w tym wg typów źródeł:				
- elektrownie ciepłone i elektrociepłownie zawodowe:	144 541	149 242	146 480	146 642
- elektrociepłownie przemysłowe:	7 549	7 861	7 818	8 124
- elektrownie wodne przepływowe:	2 920	2 331	2 037	2 439
- elektrownie wiatrowe:	1 664	3 205	4 747	6 004
OZE:	416	479		
Import:	6 310	6 780	9 803	7 801
Export:	7 664	12 022	12 643	12 322
Zużycie energii elektrycznej:	156 304	158 306	159 299	160 036

**Źródło:** M. Zatorska, I. Wrońska, G. Parciński, E. Zarek, E. Stępnik, H. Bojanowska, J. Brasse, D. Zaborska, *Statystyka Elektroenergetyki Polskiej*. Warszawa 2014

Na podstawie danych zawartych w Roczniku ARE „Statystyka elektroenergetyki polskiej” można stwierdzić, iż w ostatnich latach postępował wzrost produkcji energii elektrycznej w Polsce z 157 658 GWh w 2010 roku do 164 557 GWh w 2013 roku, przy czym pomiędzy 2010 r. a 2011 r., wzrost ten był największy, następnie zaś odnotowano niewielki spadek jej produkcji. Spośród

<sup>4</sup> M. Lewandowski, M. Ryms, *Biopaliwa. Proekologiczne odnawialne źródła energii*. Warszawa 2013; K. Badyga, *Energetyka w Polsce. Czy mamy koncepcje rozwoju?*, „Energetyka”, 2015, nr 5, s. 321-330

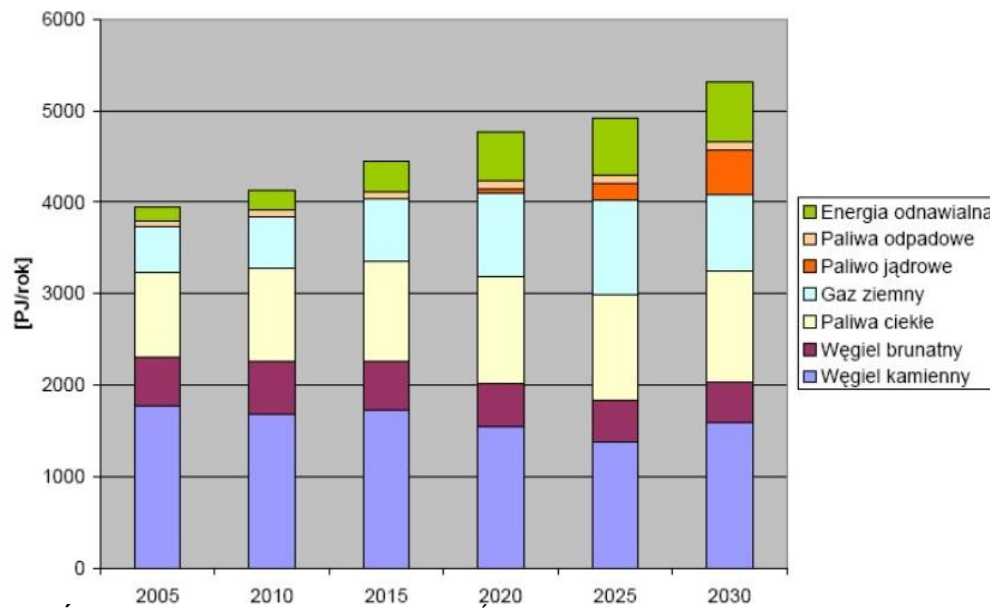
<sup>5</sup> M. Zatorska, I. Wrońska, G. Parciński, E. Zarek, E. Stępnik, H. Bojanowska, J. Brasse, D. Zaborska, *Statystyka Elektroenergetyki Polskiej*. Warszawa 2014

niekonwencjonalnych typów źródeł energii najbardziej dynamiczny rozwój dotyczył elektrowni wiatrowych. Przeważająca część energii elektrycznej nadal jest jednak wytwarzana w elektrociepłowniach zawodowych i elektrowniach ciepłych. W latach 2010-2013 produkcja energii elektrycznej rokrocznie przewyższała jej zużycie. Niemniej jednak, najnowsze dane wskazują, że ten wieloletni trend uległ niekorzystnej zmianie, gdyż w ostatnim czasie odnotowano nadwyżkę konsumpcji nad krajową podażą energii elektrycznej.<sup>6</sup>

Z uwagi na wpływ wielu czynników na efektywność produkcji energii elektrycznej, niezbędne powinno być szacowanie zapotrzebowania na energię pierwotną, czyli sumę energii zawartej w pierwotnych nośnikach energii, takich jak ropa naftowa, energia wiatru czy drewno opałowe.<sup>7</sup>

Poniżej zademonstrowano prognozę zużycia energii pierwotnej w Polsce do 2030 r., w ilości zawartej w nich energii (Wykres nr 1) oraz ich masy (Tabela nr 2).

**Wykres nr 1:** Prognoza zużycia energii pierwotnej [PJ/rok]



**Źródło:** Prognoza Oddziaływania na Środowisko dokumentu „Polityka energetyczna Polski do 2030 r.” (Raport końcowy) Proeko CDM Sp. z o.o. Warszawa. Warszawa 2009

<sup>6</sup> Ł. Musiałkiewicz, P. Grzejszczak, S. Skoczek, K. Kosiarski, P. Michalczyk, K. Michalak, *Raport o rynku energii elektrycznej i gazu ziemnego w Polsce w 2014 roku*. Warszawa 2014

<sup>7</sup> A. Wiszniewski, L. Bonder, *Wskaźniki nieodnawialnej energii pierwotnej oraz emisji CO<sub>2</sub> dla scentralizowanych i indywidualnych systemów zaopatrzenia w ciepło oraz ogrzewania budynków*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2009, 40(2), s. 10-16

**Tabela nr 2:** Zapotrzebowanie na energię pierwotną w scenariuszu Ministerstwa Gospodarki według nośników energii

Rodzaj nośnika	Jedn.	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Węgiel brunatny*)	Mtoe	12,6	11,22	12,16	9,39	11,21	9,72
	mIn ton	59,4	52,8	57,2	44,2	52,7	45,7
Węgiel kamienny**)	Mtoe	43,8	37,9	35,3	34,6	34,0	36,7
	mIn ton	76,5	66,1	61,7	60,4	59,3	64,0
Ropa i produkty naftowe	Mtoe	24,3	25,1	26,1	27,4	29,5	31,1
	mIn ton	24,3	25,1	26,1	27,4	29,5	31,1
Gaz ziemny***)	Mtoe	12,3	12,0	13,0	14,5	16,1	17,2
	mld m3	14,5	14,1	15,4	17,1	19,0	20,2
Energia „odnawialna”	Mtoe	5,0	6,3	8,4	12,2	13,8	14,7
Pozostałe paliwa	Mtoe	0,7	0,7	0,9	1,1	1,4	1,6
Paliwo jądrowe	Mtoe	0,0	0	0	2,5	5,0	7,5
Eksport energii elektrycznej	Mtoe	-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>RAZEM ENERGIA PIERWOTNA</b>	Mtoe	<b>97,8<sup>53</sup></b>	<b>93,2</b>	<b>95,8</b>	<b>101,7</b>	<b>111,0</b>	<b>118,5</b>

\*) - wartość opałowa węgla brunatnego 8,9 MJ/kg

\*\*) - wartość opałowa węgla kamiennego 24 MJ/kg

\*\*\*) - wartość opałowa gazu ziemnego 35,5 MJ/m<sup>3</sup>

**Źródło:** Prognoza Oddziaływania na Środowisko dokumentu „Polityka energetyczna Polski do 2030 r.” (Raport końcowy) Proeko CDM Sp. z o.o. Warszawa. Warszawa 2009

Raport, który został opublikowany przez Ministerstwo Gospodarki w 2009 roku, zakładał nieustanny wzrost zużycia energii pierwotnej od 2010 roku. Przewidywano zwiększenie wykorzystania źródeł odnawialnych oraz ropy naftowej i gazu ziemnego, a nieznaczny spadek znaczenia węgla kamiennego oraz brunatnego. Nowo otwarty Terminal LNG (skroplonego gazu ziemnego) w Świnoujściu, jak i dotacje dla inwestycji w OZE (odnawialne źródła energii), świadczą o stopniowej realizacji opracowanych prognoz, jednakże choćby z uwagi na znaczne opóźnienia w budowie pierwszej w Polsce elektrowni na paliwo jądrowe, nie będzie możliwe spełnienie się scenariusza Ministerstwa Gospodarki zakładającego rozwój energetyki jądrowej w Polsce od 2020 roku.<sup>8</sup>

## 2.2. Rozwój odnawialnych źródeł energii

W kolejnej tabeli przedstawiono dane dotyczące energii elektrycznej, wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii w Polsce w latach 2005-2010.

<sup>8</sup> J. Frankowski, *Biomasa jako element dywersyfikacji źródeł energii w Polsce na przykładzie biogazowni w Przybrodzie*, Materiał niepublikowany – praca podyplomowa. Poznań 2016

**Tabela nr 3:** Energia elektryczna wytworzona ze źródeł odnawialnych w krajowym zużyciu energii elektrycznej brutto

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Produkcja energii elektrycznej w OZE [TWh] wg celów wskazanych w <i>Raporcie z 2005 r.</i>	3,12	3,72	4,61	5,80	7,74	11,10
Faktyczna produkcja energii elektrycznej w OZE [TWh]	3,76	4,22	5,23	6,49	8,60	10,90
Zużycie energii elektrycznej brutto w Polsce [TWh]	145,7	150,8	154,0	153,4	149,5	156,1
Udział energii elektrycznej wytworzonej w OZE [%] wg celów wskazanych w <i>Raporcie z 2005 r.</i>	2,5	3,0	3,9	5,0	6,2	7,5
Faktyczny udział energii elektrycznej wytworzonej w OZE [%]	2,58	2,80	3,40	4,23	5,76	6,98

**Źródło:** Najwyższa Izba Kontroli, *Rozwój i wykorzystanie odnawialnych źródeł energii elektrycznej*, Nr ewid. 45/2012/P/11/044/KGP KGP-4101-02-00/2011. Warszawa 2012

Raport NIK<sup>9</sup> wskazuje na dynamiczny rozwój produkcji energii elektrycznej pochodzącej z OZE. W ciągu sześciu lat faktyczny udział odnawialnych źródeł energii w ogólnym bilansie wytworzonej energii elektrycznej wzrósł o 4,4%. Ta tendencja jest wciąż utrzymana, głównie za sprawą wzrostu wykorzystania energii słonecznej, wiatru oraz poprzez konwersję biomasy.

Jak już wspomniano wcześniej, do 2020 roku Polska powinna osiągnąć piętnastoprocentowy udział energii ze źródeł odnawialnych w całym bilansie produkcji energii końcowej brutto,<sup>10</sup> a jednym z filarów zwiększenia udziału energii z odnawialnych źródeł powinna być biomasa.<sup>11</sup> Opracowanie ekologicznej produkcji biomasy jako substratu do wytworzenia bioenergii i bioproduktów to priorytet dla Unii Europejskiej.<sup>12</sup> Z tego powodu, od kilkunastu lat wykorzystywanie biomasy na cele energetyczne staje się więc coraz powszechniejsze. Zwiększa się również wykorzystanie biomasy odpadowej i leśnej, gdyż także one mają duży potencjał energetyczny (Wykres nr 2).

Dane opublikowane przez Ministerstwo Gospodarki<sup>13</sup> pokazują ogromny potencjał ekonomiczny drzemiący w biomasie. Biorąc pod uwagę zarówno tę pochodzącą z upraw energetycznych, jak i biomasę odpadową oraz leśną, szacowany potencjał tego rodzaju OZE wynosi około 600 PJ. Z tego względu za bardzo istotne należy uznać rozpowszechnienie pozyskiwania biomasy z różnych źródeł, gdyż może mieć to znaczący wpływ na rozwiązanie problemów dotyczących bezpieczeństwa energetycznego kraju, a także nadmiernej emisji gazów cieplarnianych przez spalanie paliw kopalnych.<sup>14</sup>

<sup>9</sup> Najwyższa Izba Kontroli, *Rozwój i wykorzystanie odnawialnych źródeł energii elektrycznej*, Nr ewid. 45/2012/P/11/044/KGP KGP-4101-02-00/2011. Warszawa 2012

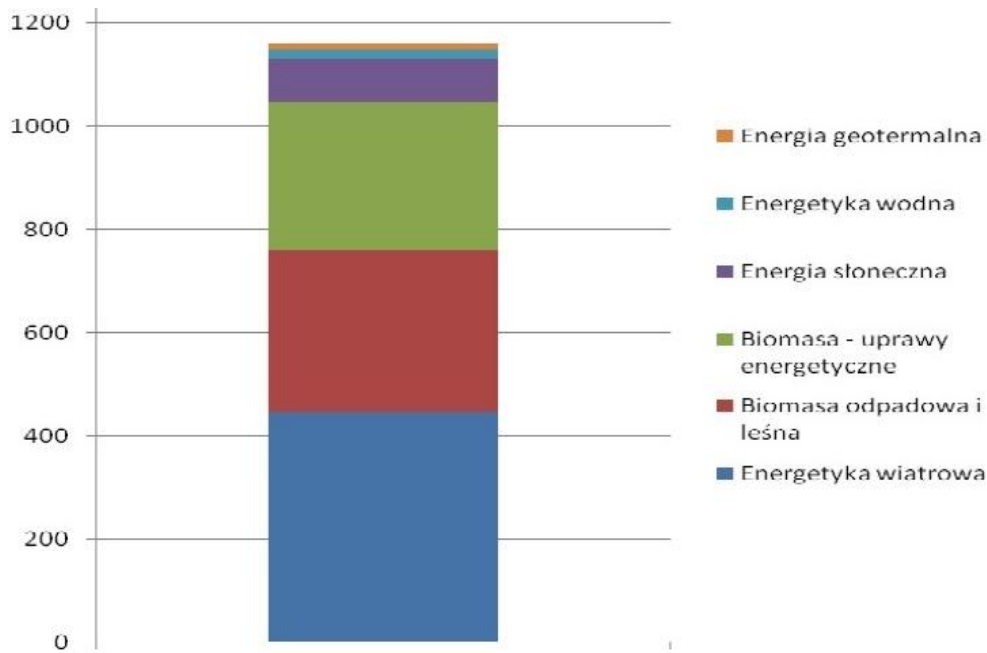
<sup>10</sup> J. Tworowski, *Ogólna charakterystyka roślin energetycznych* (w:) S. Szczukowski (red.), *Wieloletnie rośliny energetyczne*. Warszawa 2012

<sup>11</sup> P. Gradziuk, A. Grzybek, *Charakterystyka odnawialnych źródeł energii* (w:) A. Grzybek (red.), *Słoma. Energetyczne paliwo*. Warszawa 2001

<sup>12</sup> Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE

<sup>13</sup> *Prognoza Oddziaływania na Środowisko dokumentu „Polityka energetyczna Polski do 2030 r.”* (Raport końcowy) Proeko CDM Sp. z o.o. Warszawa. Warszawa 2009

<sup>14</sup> J. Kuś, M. Matyka, *Uprawa roślin na cele energetyczne*. Puławy 2010

**Wykres nr 2: Potencjał ekonomiczny poszczególnych rodzajów OZE [PJ]**

Źródło: Prognoza Oddziaływania na Środowisko dokumentu „Polityka energetyczna Polski do 2030 r.” (Raport końcowy) Proeko CDM Sp. z o.o. Warszawa. Warszawa 2009

### 3. Energia z biomasy

#### 3.1. Ogólna charakterystyka biomasy pochodzenia roślinnego jako surowca energetycznego

Biomasa uważana jest powszechnie za alternatywne źródło energii w stosunku do paliw kopalnych. Jakkolwiek do jej produkcji, a następnie przetworzenia, niezbędna jest energia, ocenia się, iż pomimo tego jej wykorzystanie w znacznie mniejszym stopniu obciąża środowisko naturalne, niż stosowanie węgla czy ropy naftowej. Wiąże się to przede wszystkim z pochłanianiem przez biomasę pochodzenia roślinnego dwutlenku węgla podczas wzrostu roślin. Niweluje to ogólny bilans jej wpływu na ekosystem. Ponadto szybki przyrost biomasy powoduje, że w stosunku do paliw kopalnych jest ona uważana za źródło odnawialne.<sup>15</sup> W tabeli nr 4 przedstawiono realny potencjał ekonomiczny biomasy w Polsce, z uwzględnieniem jej struktury.

<sup>15</sup> J. Kuś, M. Matyka, *Uprawa roślin na cele energetyczne*. Puławy 2010

**Tabela nr 4:** Realny potencjał ekonomiczny biomasy pochodzenia roślinnego w Polsce

	Realny potencjał	Struktura	Ryzyka
Biomasa	600 PJ	<ul style="list-style-type: none"> <li>– odpady stałe - 166 PJ</li> <li>– biogaz z odpadów -123 PJ</li> <li>– drewno opałowe - 24 PJ</li> <li>– uprawy energetyczne<sup>50</sup> - 287 PJ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– zagrożenia dla równowagi pomiędzy produkcją żywności, a biopaliw;</li> <li>– niedostatecznie rozpoznane konsekwencje rozwoju plantacji wielkoobszarowych;</li> <li>– wysoki popyt na eksport przetworzonych paliw stałych i ciekłych: ograniczenie możliwości osiągnięcia celów krajowych;</li> <li>– ograniczenia logistyczne dla wykorzystania biomasy nieprzetworzonej;</li> <li>– rosnąca presja na wykorzystanie zasobów leśnych.</li> </ul>

**Źródło:** *Prognoza Oddziaływania na Środowisko dokumentu „Polityka energetyczna Polski do 2030 r.” (Raport końcowy)* Proeko CDM Sp. z o.o. Warszawa. Warszawa 2009

Przy szacowanym na 600 PJ realnym potencjale energii możliwej do uzyskania z biomasy największe znaczenie mają uprawy energetyczne, a także odpady stałe i biogaz z nich uzyskiwany. Energetyczne wykorzystanie odpadów eliminuje szkodliwe skutki ich składowania, jednakże biomasa odpadowa nierzadko zawiera domieszki innych śmieci lub posiada nieodpowiednie właściwości, które uniemożliwiają efektywną konwersję zawartej w niej energii.

Plantacje roślin energetycznych mogą z kolei konkurować z produkcją żywności. Niemniej jednak, ocenia się, iż takie ryzyko można brać pod uwagę jedynie, gdy prowadzi się je na gruntach ornych o wysokiej klasie bonitacyjnej gleb. Najczęściej jednak uprawę roślin energetycznych prowadzi się w Polsce na polach o małej przydatności rolniczej, więc ocenia się je jako mało istotne.

### 3.2. Klasyfikacja roślin energetycznych

Rośliny energetyczne są klasyfikowane według wielu kryteriów. Najczęściej w tym celu stosuje się najprostszy podział: ze względu na długość okresu ich użytkowania. W ten sposób wszystkie gatunki przydatne w energetyce są usystematyzowane w dwóch grupach skupiających rośliny jednoroczne oraz wieloletnie (w tym: byliny, drzewa, krzewy). Jednoroczne rośliny energetyczne to przede wszystkim zboża, w tym kukurydza i sorgo. Ze względu na okres od siewu do zbioru, zalicza się do tej grupy także rzepak oraz buraki cukrowe, które z biologicznego punktu widzenia są roślinami dwuletnimi, jednak gospodarczo są wykorzystywane w cyklu rocznym. Terofity te mogą być przeznaczane do bezpośredniego spalania (przede wszystkim słoma) lub do produkcji biopaliw ciekłych czy biogazu.<sup>16</sup>

W opinii niektórych badaczy na obszarach o częstym deficycie wilgoci, występujących zwłaszcza w okresie wegetacyjnym na obszarze centralnej Polski, najlepszym rozwiązaniem jest produkcja biomasy na cele energetyczne właśnie z roślin jednorocznych, które dają znacznie większy plon niż gatunki bylin, krzewów czy drzew krótkiej rotacji.<sup>17</sup> Ich uprawa co roku wiąże się jednak

<sup>16</sup> J. Frankowski, *Projekt uprawy wybranych roślin energetycznych w warunkach glebowo-klimatycznych Wielkopolski*, Materiał niepublikowany – praca inżynierska. Poznań 2015

<sup>17</sup> H. Burczyk, *Przydatność jednorocznych roślin, uprawianych do produkcji biomasy na potrzeby energetyki zawodowej*, „Problemy Inżynierii Rolniczej”, 2012, nr 1 (75), s. 59-68



z koniecznością poniesienia wysokich nakładów finansowych, z uwagi na potrzebę corocznego przeprowadzania wielu zabiegów agrotechnicznych.<sup>18</sup>

Gatunki wieloletnich roślin energetycznych, których okres użytkowania wynosi od kilkunastu do nawet 25 lat w przypadku miskanta<sup>19</sup> i 30 lat w przypadku róży wielokwiatowej,<sup>20</sup> są rekomendowane do uprawy na cele energetyczne, z uwagi na generowanie wieloletnich przychodów, w tym większego zysku w kolejnych latach prowadzenia plantacji, gdy nie wymaga już ona aż takich nakładów finansowych, jak przy jej zakładaniu.<sup>21</sup>

Według G. Wiśniewskiego i S. Podlaskiego,<sup>22</sup> a także J. Kusia i M. Matyki,<sup>23</sup> w Polsce zapleczem surowcowym biomasy na cele energetyczne są trzy grupy roślin wieloletnich:

- a) Drzewa i krzewy krótkiej rotacji, zbierane w cyklach 1-, 2-, 3-, 4- lub 5- letnich:
  - wierzba (rodzaj *Salix* L.),
  - robinia akacjowa (*Robinia pseudoacacia* L.),
  - topola (rodzaj *Populus* L.),
  - róża wielokwiatowa (*Rosa multiflora* Thunb.).
- b) Trawy wieloletnie:
  - miskant olbrzymi (*Miscanthus × giganteus* J. M. Greef & M. Deuter),
  - mozga trzcinowata (*Phalaris arundinacea* L.),
  - spartina preriowa (*Spartina pectinata* Link),
  - palczatka Gerarda (*Andropogon gerardii* Vitman),
  - perz wydłużony (*Elytrigia elongata* L.),
  - proso różgowe (*Panicum virgatum* L.).
- c) Byliny:
  - słonecznik bulwiasty (*Helianthus tuberosus* L.),
  - rdestowiec sachaliński (*Reynoutria sachalinensis* Nakai),
  - ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby).

Niniejsza klasyfikacja uwzględnia podział roślin wieloletnich, ze względu na charakterystyczne cechy ich morfologii. Determinuje ona rodzaj pozyskiwanej biomasy.

Z krzewów i drzew krótkiej rotacji po kilku latach (lub rokrocznie, jak w przypadku róży wielokwiatowej) pozyskuje się zdrewniałe pędy o wysokiej zawartości struktur lignocelulozowych. Z traw wieloletnich każdego roku (jedno- lub kilkakrotnie w ciągu sezonu wegetacyjnego) otrzymuje się żdźbła wraz z liśćmi.

<sup>18</sup> H. Burczyk, *Przydatność zbóż na potrzeby produkcji energii odnawialnej w świetle wyników doświadczeń*, „Problemy Inżynierii Rolniczej”, 2011, nr 3 (73), s. 43-51

<sup>19</sup> G. Wiśniewski, S. Podlaski, *Agrotechnika roślin uprawianych na cele energetyczne* (w:) P. Gradziuk (red.), *Energia odnawialna*. Płońsk 2008

<sup>20</sup> B. Kołodziej, M. Matyka, *Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne*. Poznań 2012

<sup>21</sup> J. Tworkowski, *Ogólna charakterystyka roślin energetycznych* (w:) S. Szczukowski (red.), *Wieloletnie rośliny energetyczne*. Warszawa 2012

<sup>22</sup> G. Wiśniewski, S. Podlaski, *Agrotechnika...*, op. cit.

<sup>23</sup> J. Kuś, M. Matyka, *Uprawa roślin na cele energetyczne*. Puławy 2010



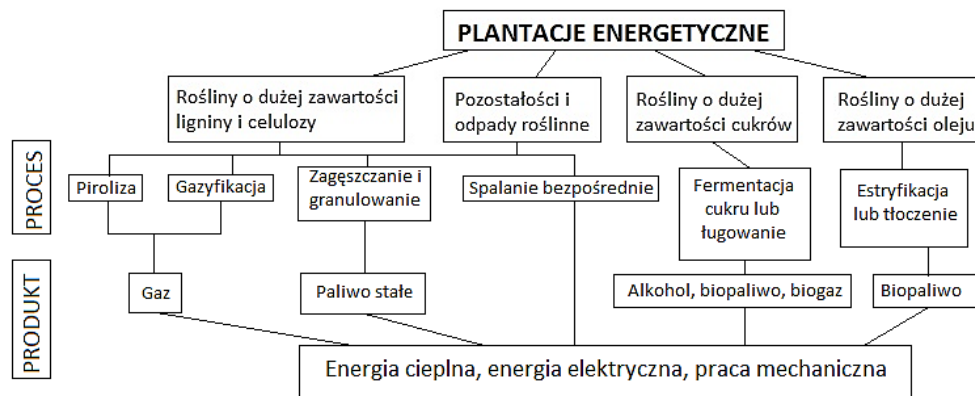
Z bylin natomiast przetwarza się niezdrewniałe łodygi.<sup>24</sup> Dodatkowo, ze słonecznika bulwiastego można pozyskiwać także bulwy pędowe.<sup>25</sup>

### 3.3. Możliwości wykorzystania roślin energetycznych

Wybierając dany gatunek czy też odmianę rośliny energetycznej powinno się zwrócić uwagę na szereg czynników. Najbardziej istotne jest określenie popytu i podaży na rynku w obszarze, w jakim inwestor chciałby prowadzić działalność. Jest to istotne do określenia docelowych odbiorców biomasy oraz wprowadzenia konkurencyjnych cenowo produktów.

Kluczowe przy tym jest określenie przez plantatora, jakie w ogóle produkty będą otrzymywane z pozyskanej biomasy i czy będzie ona przetwarzana. Istnieje bowiem szerokie spektrum możliwości energetycznego wykorzystania biomasy roślinnej pochodzącej z celowych upraw (Rycina nr 1).

Rycina nr 1: Schemat wykorzystania roślin na cele energetyczne



**Źródło:** J. Frankowski, *Projekt uprawy wybranych roślin energetycznych w warunkach glebowo-klimatycznych Wielkopolski*, Materiał niepublikowany – praca inżynierska. Poznań 2015

Rośliny o dużej zawartości struktur lignocelulozowych, czyli najczęściej zdrewniałe fragmenty gatunków wieloletnich, w procesie gazyfikacji lub pirolizy mogą być przekształcane w gaz, którego spalanie stanowi w efekcie źródło energii cieplnej. Drobne kawałki roślin, takie jak trociny, drobna zrębka, połamane pędy, mogą być poddawane ciśnieniowej aglomeracji, w celu uformowania biopaliw stałych, np. brykietów. Bulwy słonecznika bulwiastego, dzięki dużej zawartości inuliny, są dobrym substratem do produkcji biogazu,<sup>26</sup> a nasiona rzepaku bądź słonecznika mogą być w procesie estryfikacji przekształcane na biopaliwo płynne.

<sup>24</sup> J. Frankowski, *Projekt uprawy wybranych roślin energetycznych w warunkach glebowo-klimatycznych Wielkopolski*, Materiał niepublikowany – praca inżynierska. Poznań 2015

<sup>25</sup> K. Bzdęga, T. Nowak, B. Tokarska-Guzik, *Słonecznik bulwiasty* (w:) Z. Dajdok, P. Pawlaczyk (red.), *Inwazyjne gatunki roślin ekosystemów mokradłowych Polski*. Świebodzin 2009

<sup>26</sup> J. Kuś, M. Matyka, *Uprawa roślin na cele energetyczne*. Puławy 2010; K. Bzdęga, T. Nowak, B. Tokarska-Guzik, *Słonecznik...*, op. cit.

### 3.4. Rośliny energetyczne a warunki glebowo-klimatyczne Polski

W celu uzyskania surowca wysokiej jakości do produkcji biopaliw należy dokonać odpowiedniego wyboru roślin energetycznych. Choć gatunki te wykazują szereg właściwości, dzięki którym ich uprawa nie jest stosunkowo kosztowna, przy jednoczesnym znacznym uzysku plonu biomasy, to ważne jest dostosowanie gatunku czy odmiany do panujących w danym miejscu warunków glebowych i klimatycznych.

W stosunku do innych roślin przemysłowych gatunki uprawiane w celu konwersji zawartej w nich energii wykazują z reguły stosunkowo małe wymagania glebowe oraz wodne. Należy mieć jednak na uwadze fakt, że ich uprawa na glebach o niższej klasie bonitacyjnej zazwyczaj wiąże się z mniejszym plonem biomasy w stosunku do tożsamej uprawy na żyzniejszych polach. Stosowanie nawożenia może znacznie zwiększyć uzysk biomasy, jednak drastycznie spada wówczas opłacalność prowadzenia plantacji. Dlatego też zaleca się ograniczenie lub nawet wyeliminowanie nawożenia mineralnego do niezbędnego minimum na poczet organicznego

Właściwością wyróżniającą klimat Polski jest jego przejściowość, którą powodują ścierające się nad tym obszarem oceaniczne i kontynentalne masy powietrza. Skutkiem tego są częste zmiany pogody, związane z przemieszczaniem się frontów atmosferycznych. Znaczne wahania temperatury, późnowiosenne czy wczesnowiosenne przymrozki, mogą istotnie wpływać na kondycję upraw roślin energetycznych. Zwłaszcza jesienią niewskazane jest zakładanie plantacji z materiału sadzeniowego, pochodzącego z kultur *in vitro*, ponieważ rośliny pozyskane w ten sposób często wykazują małą odporność na niskie temperatury. Podczas surowszych zim młode rośliny mogą wymarzać, co generuje dodatkowe koszty, podczas gdy plantacja nie przynosi jeszcze dochodów.

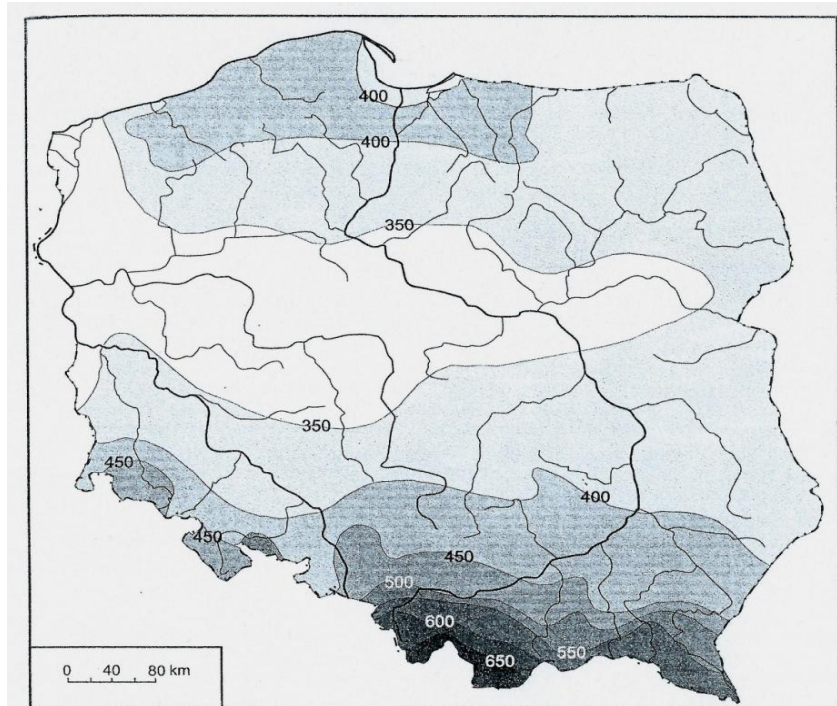
Również uprawa gatunków, które nie występują w środowisku naturalnym w warunkach glebowo-klimatycznych zbliżonych do tych w Polsce, może skutkować osłabionym wzrostem roślin (a tym samym mniejszym plonem biomasy) lub ich wymarzeniem (także najczęściej podczas pierwszej zimy, gdy rośliny są młode, jak w przypadku nasadzeń pozyskanych z kultur *in vitro*). Niektórzy sprzedawcy materiału sadzeniowego sugerują okrywanie wrażliwszych roślin, jednak w warunkach polowych jest to zabieg całkowicie nieopłacalny. W Polsce północno-wschodniej zaleca się uprawę jedynie tych gatunków, które są zupełnie niewrażliwe na niskie temperatury (np. słonecznik bulwiasty czy rdestowiec sachaliński) lub też uprawę jednorocznych roślin energetycznych o krótkim okresie wegetacji, na przykład wczesnych odmian kukurydzy zwyczajnej (FAO do 220).<sup>27</sup>

Z uwagi na przejściowość klimatu Polski, roczne opady atmosferyczne mogą znacznie wahać się w różnych latach, co także należy uwzględnić przy wyborze roślin energetycznych, gdyż ze względów ekonomicznych takich upraw nie nawadnia się. Zazwyczaj największe opady notowane są w Polsce w miesiącach letnich (czerwiec-wrzesień), przy czym średnie roczne opady atmosferyczne dla centralnej oraz zachodniej Polski kształtują się na poziomie około 550 mm, co jest

<sup>27</sup> M. Lewandowski, M. Ryms, *Biopaliwa. Proekologiczne odnawialne źródła energii*. Warszawa 2013; K. Badyga, *Energetyka w Polsce. Czy mamy koncepcje rozwoju?*, „Energetyka”, 2015, nr 5, s. 321-330; Frankowski, *Projekt uprawy wybranych roślin energetycznych w warunkach glebowo-klimatycznych Wielkopolski*, Materiał niepublikowany – praca inżynierska. Poznań 2015; B. Kołodziej, M. Matyka, *Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne*. Poznań 2012

niewystarczające i powoduje deficyt wilgoci na znacznym obszarze kraju. Odnosi się on w szczególności do okresu wegetacyjnego, gdyż suma opadów na Kujawach, Ziemi Lubuskiej, części Mazowsza i w Wielkopolsce w cieplejszym półroczu należy do najniższych w kraju. Od początku maja do końca października średnie wieloletnie sumy opadów atmosferycznych nie przekraczają w tych regionach 350 mm (Rycina nr 2). Analizując historyczne dane dotyczące opadów, naukowcy dowiedli permanentnych zmian klimatu. Między innymi procesy antropogeniczne sprawiły, iż szczególnie pod koniec XX wieku doświadczone zjawiska zwanego „stepowaniem Wielkopolski”, czyli występującej latem długotrwałej suszy w centralnej Polsce, czasami przeplatanej bardzo intensywnymi, nieregularnymi opadami.<sup>28</sup>

**Rycina nr 2:** Średnie wieloletnie sumy opadów w Polsce, w okresie maj-październik



**Źródło:** J. Chmiel, M. Kasprowicz, *Flora i roślinność środkowej Wielkopolski. Przewodnik do ćwiczeń terenowych*. Poznań 2004

Jak wynika z powyższej mapy, w centralnej Polsce nie panują zbyt korzystne warunki do uprawy gatunków, które potrzebują stale wilgotnej gleby, dużej ilości opadów atmosferycznych i nie tolerują występowania okresowej suszy.

Pomimo mroźnych zim i stosunkowo niewielkich opadów, które są pewnymi ograniczeniami w uprawie roślin energetycznych na terenie Polski, poprzez dobór

<sup>28</sup> J. Chmiel, M. Kasprowicz, *Flora i roślinność środkowej Wielkopolski. Przewodnik do ćwiczeń terenowych*. Poznań 2004; H. Burczyk, *Przydatność zbóż na potrzeby produkcji energii odnawialnej w świetle wyników doświadczeń*, „Problemy Inżynierii Rolniczej”, 2011, nr 3 (73), s. 43-51

odpowiednich gatunków, możliwy jest dynamiczny rozwój tej gałęzi gospodarki na dużych obszarach kraju. Z uwagi na nieustanne postępy w hodowli nowych odmian oraz wzrost areału ich upraw, plantatorzy mają możliwość zakupu materiału siewnego czy sadzeniowego z wielu źródeł. Kształtuje to konkurencję i w efekcie wpływa na jakość oferowanych produktów oraz usług, takich jak kompleksowe doradztwo czy pełna oferta prac polowych na plantacji.

### **Podsumowanie**

Podsumowując powyższe rozważania należy stwierdzić, iż w Polsce istnieje duży potencjał biomasy roślinnej, która może być wykorzystywana do produkcji energii. O ile oszacowanie potencjału roślinnej biomasy odpadowej, pod względem ilościowym i jakościowym, jest trudne i może powodować problemy organizacyjne w jej wykorzystaniu, to wzrost powierzchni upraw roślin energetycznych może pozwolić na dostarczenie dobrych jakościowo substratów do produkcji energii cieplnej, elektrycznej lub pracy mechanicznej.

Planując rozpoczęcie uprawy roślin na cele energetyczne, należy zasięgnąć porady specjalistów i przeanalizować różne warianty, adekwatne do panujących na danym terenie warunków klimatycznych, glebowych i ekonomicznych. Zwłaszcza prowadzenie plantacji gatunków wieloletnich wiąże się z co najmniej kilkunastoletnim okresem monokultury oraz generowaniem zysków dopiero po pewnym czasie. Pojawiające się jednak na rynku nowe odmiany roślin, przeznaczone *sensu stricto* dla celów energetycznych oraz coraz większy wybór maszyn rolniczych, przeznaczonych dla tej dziedziny rolnictwa, jak również niesłabnący popyt na biomasę, powodują, iż warto rozważyć uprawę, a także przetwórstwo tej grupy roślin, by lepiej gospodarować roślinną biomasą odpadową. Wzrost wykorzystania krajowej biomasy pochodzenia roślinnego mógłby w znaczący sposób umożliwić uniezależnienie się od dostaw paliw kopalnych z zagranicy oraz zwiększyć udział OZE w ogólnej produkcji energii, pozytywnie wpływając na dywersyfikację jej źródeł.

### **Streszczenie**

Biomasa stanowi jedno z kluczowych źródeł energii odnawialnej i jest alternatywą dla stosowania paliw kopalnych. W artykule opisano stan obecny oraz prognozy dotyczące energetyki w Polsce. Wskazano perspektywy wykorzystania biomasy roślinnej, a szczególnie efektywnej konwersji energii z roślin energetycznych. Przedstawiono ich klasyfikację oraz możliwości rozwoju sektora zajmującego się ich uprawą. Uwzględniono przy tym wpływ warunków glebowo-klimatycznych na jakość uzyskiwanego surowca do produkcji biopaliw. Dzięki wzrostowi zastosowania biomasy roślin energetycznych możliwe będzie zminimalizowanie negatywnego wpływu węgla kamiennego czy brunatnego na środowisko naturalne i jednoczesna poprawa dywersyfikacji źródeł energii w Polsce.

**Słowa kluczowe:** biomasa, rośliny energetyczne, bioenergia, odnawialne źródła energii

### Summary

Biomass is a pivotal source of renewable energy and it is an alternative to the fossil fuels usage. The article presents the current condition and the prognosis for the energy sector in Poland. The usage plant biomass prospects and especially efficient energy conversion of energy crops were indicated. Moreover, the classification of energy crops and the possibility of sector development were presented. Soil and climate conditions influence on the material quality for biofuels production was also taken into account. Owing to biomass increasing usage of energy crops, a minimizing of the negative impact of coal or lignite for the environment will be possible. Simultaneously, a diversification of energy sources improvement will be proceeded in Poland.

**Key words:** biomass, energy crops, bioenergy, renewable energy sources

### Bibliografia

1. Badyga K., *Energetyka w Polsce. Czy mamy koncepcje rozwoju?* „Energetyka”, 2015, nr 5
2. Burczyk H., *Przydatność jednorocznych roślin, uprawianych do produkcji biomasy na potrzeby energetyki zawodowej*, „Problemy Inżynierii Rolniczej”, 2012, nr 1 (75)
3. Burczyk H., *Przydatność zbóż na potrzeby produkcji energii odnawialnej w świetle wyników doświadczeń*, „Problemy Inżynierii Rolniczej”, 2011, nr 3 (73)
4. Bzdęga K., Nowak T., Tokarska-Guzik B., *Słonecznik bulwiasty*, (w:) Z. Dajdok, P. Pawlaczyk (red.), *Inwazyjne gatunki roślin ekosystemów mokradłowych Polski*. Świebodzin 2009
5. Chmiel J., Kasprowicz M., *Flora i roślinność środkowej Wielkopolski. Przewodnik do ćwiczeń terenowych*. Poznań 2004
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE
7. Frankowski J., *Biomasa jako element dywersyfikacji źródeł energii w Polsce na przykładzie biogazowni w Przybrodzie*, Materiał niepublikowany – praca podyplomowa. Poznań 2016
8. Frankowski J., *Projekt uprawy wybranych roślin energetycznych w warunkach glebowo-klimatycznych Wielkopolski*, Materiał niepublikowany – praca inżynierska. Poznań 2015
9. Gradziuk P., Grzybek A., *Charakterystyka odnawialnych źródeł energii* (w:) A. Grzybek (red.), *Słoma. Energetyczne paliwo*. Warszawa 2001
10. Kołodziej B., Matyka M., *Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne*. Poznań 2012
11. Kuś J., Matyka M., *Uprawa roślin na cele energetyczne*. Puławy 2010
12. Lewandowski M., Ryms M., *Biopaliwa. Proekologiczne odnawialne źródła energii*. Warszawa 2013
13. Musiałkiewicz Ł., Grzejszczak P., Skoczek S., Kosiarski K., Michalczyk P., Michalak K., *Raport o rynku energii elektrycznej i gazu ziemnego w Polsce w 2014 roku*. Warszawa 2014

14. Najwyższa Izba Kontroli, *Rozwój i wykorzystanie odnawialnych źródeł energii elektrycznej*, Nr ewid. 45/2012/P/11/044/KGP KGP-4101-02-00/2011. Warszawa 2012
15. *Prognoza Oddziaływania na Środowisko dokumentu „Polityka energetyczna Polski do 2030 r.” (Raport końcowy)* Proeko CDM Sp. z o.o. Warszawa. Warszawa 2009
16. Tworkowski J., *Ogólna charakterystyka roślin energetycznych* (w:) S. Szczukowski (red.), *Wieloletnie rośliny energetyczne*. Warszawa 2012
17. Wiśniewski G., Podlaski S., *Agrotechnika roślin uprawianych na cele energetyczne* (w:) P. Gradziuk (red.), *Energia odnawialna*. Płońsk 2008
18. Wiszniewski, A., Bonder, L., *Wskaźniki nieodnawialnej energii pierwotnej oraz emisji CO<sub>2</sub> dla scentralizowanych i indywidualnych systemów zaopatrzenia w ciepło oraz ogrzewania budynków*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja”, 2009, 40(2)
19. Zatorska M., Wrońska I., Parciński G., Zarek E., Stępnia E., Bojanowska H., Brasse J., Zaborska D., *Statystyka Elektroenergetyki Polskiej*. Warszawa 2014