

GRZEGORZ KUNIKOWSKI¹

Przegląd ilościowych metod ocen stanu bezpieczeństwa energetycznego

1. Wstęp

Bezpieczeństwo energetyczne jest to „stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska”². Przytoczona definicja uwzględnia kluczowe znaczenie ciągłości dostaw oraz wskazuje na techniczne, ekonomiczne i środowiskowe wymiary bezpieczeństwa energetycznego. W obszarze ocen ilościowych prezentowanych w publikacjach naukowych i branżowych oraz w strategiach (międzynarodowych, krajowych, firmowych) widoczna jest różnorodność podejść oraz stosowanej terminologii. Ich mnogość wynika z rozległości tematycznej obszaru energetyki i paliw, a także ma związek z ujęciem obszaru bezpieczeństwa. P. Soroka wymienia aspekty polityczne, ekonomiczne, techniczne, geologiczne i ekologiczne, co „powoduje, że trudno mówić o jednolitej i wspólnej siatce terminologicznej i pojęciowej odzwierciedlającej dziedzinę rzeczywistości”³. Spróbujemy poddać analizie wskaźniki z uwagi na ich wykorzystanie. Użyta klasyfikacja zastosowań jest zbieżna z wymiarami bezpieczeństwa energetycznego uwzględnionymi we wcześniej przytoczonej definicji i została zaczerpnięta z publikacji B. Johanssona⁴, w której system energetyczny potraktowano jako przedmiot i podmiot zagrożeń oraz ryzyka bezpieczeństwa.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Zarządzania.

² Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne, Dz.U. z 1997 r. nr 54, poz. 348 z późn. zm., art. 3 podp. 16.

³ P. Soroka, *Bezpieczeństwo energetyczne: między teorią a praktyką*, Dom Wydawniczy Elipsa, Warszawa 2015, s. 23–24.

⁴ B. Johansson, *A Broadened Typology on Energy and Security*, „Energy” 2013, t. 53, s. 199–205.

Celem artykułu jest charakterystyka stosowanych podejść i metod ocen stanu bezpieczeństwa energetycznego oraz próba oceny ich użyteczności wg kryterium zastosowania wyników.

Jako punkt wyjścia do szczegółowych rozważań posłużyły artykuły naukowe nt. metod wykorzystywanych w ocenach stanu bezpieczeństwa energetycznego⁵, definicji bezpieczeństwa energetycznego⁶ i stosowanych wskaźników⁷ oraz prace dotyczące bezpieczeństwa energetycznego Polski⁸.

Podjęcie problematyki podyktowane było intencją opracowania klasyfikacji ilościowych ocen stanu bezpieczeństwa energetycznego, która jest wstępem do pogłębionych badań w zakresie bezpieczeństwa energetycznego w naukach o zarządzaniu. Ilościowe oceny są potrzebne, ponieważ pozwalają na racjonalne podejście do problemu i stanowią przeciwwagę dla formułowanych ocen, częstokroć mających publicystyczny charakter i alarmistyczny wydźwięk. Ponadto tematyka jest częścią prac badawczych, prowadzonych w projekcie rozwojowym dotyczącym planowania cywilnego i ratownictwa w administracji publicznej, gdzie analizowane było zagrożenie bezpieczeństwa energetycznego w kontekście zarządzania infrastrukturą krytyczną⁹.

2. Metoda i zakres badań

Przegląd metod wykonany został na podstawie artykułów naukowych dostępnych w krajowych i międzynarodowych bazach naukowych czasopism¹⁰. Z uzyskanych wyników wybrane zostały artykuły najbardziej reprezentatywne,

⁵ A. Månsson, B. Johansson, L.J. Nilsson, *Assessing Energy Security: An Overview of Commonly Used Methodologies*, „Energy” 2014, t. 73, s. 1–14.

⁶ C. Winzer, *Conceptualizing Energy Security*, „Energy Policy” 2012, t. 46, s. 42–43; B. Johansson, op. cit.

⁷ B.W. Ang, W.L. Choong, T.S. Ng, *Energy Security: Definitions, Dimensions and Indexes*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2015, t. 42, nr 2, s. 1077–1093.

⁸ P. Soroka, op. cit.; P. Bożyk, *Bezpieczeństwo energetyczne Polski w ujęciu autonomicznym i zintegrowanym z Unią Europejską*, Akademia Finansów i Biznesu Vistula, Warszawa 2013.

⁹ Infrastruktura krytyczna, według ustawy o zarządzaniu kryzysowym, to systemy oraz wchodzące w ich skład powiązane ze sobą funkcjonalnie obiekty, w tym obiekty budowlane, urządzenia, instalacje, usługi kluczowe dla bezpieczeństwa państwa i jego obywateli oraz służące zapewnieniu sprawnego funkcjonowania administracji publicznej, a także instytucji i przedsiębiorców.

¹⁰ Publikacje były wyszukiwane z użyciem słów kluczowych w języku polskim i angielskim (np. bezpieczeństwo energetyczne, wskaźniki bezpieczeństwa energetycznego, zarządzanie bezpieczeństwem energetycznym).

unikano powtórzeń i publikacji traktujących przedmiotowe zagadnienie w ujęciu jakościowym (opisowym). Oprócz tego zastosowano technikę *snowballing*¹¹, gdzie do poszukiwania źródeł wykorzystywane są m.in. spisy bibliograficzne w zakresie publikacji tego samego autorstwa, stosuje się ograniczenia do wyselekcjonowanych pozycji.

Oprócz źródeł o charakterze naukowym analizie poddano opracowania specjalistyczne, w których wykorzystywano metody będące właściwym przedmiotem badań.

W pierwszym kroku przeglądu opracowana została wstępna klasyfikacja podejść do ocen stanu bezpieczeństwa energetycznego, która po wykonaniu przeglądu literatury została zweryfikowana do postaci przedstawionej w tabeli 1.

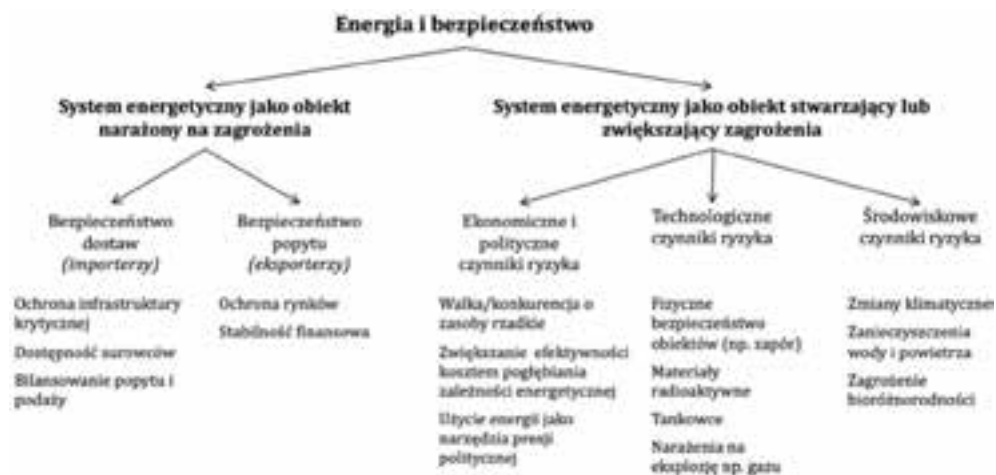
Tabela 1. Klasyfikacja podejść stosowanych w ocenach stanu bezpieczeństwa energetycznego

Podjęcie	Opis
Wskaźniki ogólne, charakteryzujące sektor	Charakteryzują sektor paliwowo-energetyczny kraju. Przedstawiają podstawowe dane statystyczne dotyczące wielkości zużycia poszczególnych rodzajów energii, miks energetycznego, cen i kosztów, emisyjności i oddziaływania na środowisko. Odnoszą się do całego sektora i wartości wyrażonych w jednostkach na mieszkańca (<i>per capita</i>)
Wskaźniki charakteryzujące rynek	Pozwalają na pomiar koncentracji strukturalnej rynku. Zaczepnięte z ogólnych metod badań struktur rynkowych, po zaadoptowaniu, są wykorzystywane na potrzeby analityczne sektora paliwowo-energetycznego
Oceny wielowymiarowe	Uwzględniają złożone wymiary bezpieczeństwa energetycznego, które są agregowane do jednego wskaźnika i/lub przedstawiane jako zbiór poszczególnych wskaźników oceniających brane pod uwagę wymiary. Wymiary dotyczą aspektów technologicznych, energochłonności i efektywności energetycznej, ekonomicznych, politycznych, środowiskowych, w tym emisyjności (CO ₂)
Oceny jakościowe	Charakteryzują przerwy w dostawach energii. Powszechnie stosowane dla energii elektrycznej służą celom sprawozdawczym i są publikowane przez regulatora rynku

Źródło: opracowanie własne.

Do charakterystyki zastosowań metod wykorzystane zostało podejście, które opracował B. Johansson, przedstawione na rysunku 1.

¹¹ C. Wohlin, *Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering*, Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, ACM, New York, NY, USA 2014, EASE'14.



Rysunek 1. Zależności energii i bezpieczeństwa

Źródło: opracowane na podstawie B. Johansson, *A Broadened Typology on Energy and Security*, „Energy” 2013, t. 53, s. 200.

Na potrzeby wskazania zastosowań analizowanych podejść do ocen bezpieczeństwa energetycznego wybrane zostały czynniki ryzyka (ekonomiczne, polityczne, technologiczne oraz środowiskowe) oraz kategoria określona jako „bezpieczeństwo dostaw”.

3. Charakterystyka stosowanych podejść

W analizowanych artykułach dominowała tematyka międzynarodowych ocen i porównań stanu bezpieczeństwa energetycznego, rozważań teoretycznych nt. nowych lub zmodyfikowanych wskaźników oraz publikacje przeglądowe i porządkujące ten obszar wiedzy.

Co do liczby samych wskaźników to B.W. Ang i in. wskazują na ponad 200 wskaźników bezpieczeństwa energetycznego zidentyfikowanych w literaturze¹².

Poniżej omówiono artykuły wg zaproponowanej kategoryzacji, uwzględniającej cztery niżej opisane podejścia, do których podano przykładowe artykuły.

¹² B.W. Ang, W.L. Choong, T.S. Ng, op. cit., s. 1084.

3.1. Wskaźniki charakteryzujące sektor

W opracowaniach dotyczących bezpieczeństwa energetycznego stosowane są ogólne charakterystyki krajowego systemu paliwowo-energetycznego, gdzie głównym źródłem są dane statystyczne. Wskaźniki dotyczą m.in.:

- strukturalnego bilansu paliw i energii w zakresie dostępności i dostaw, przetwarzania, przedstawiane ogółem i/lub odniesione do mieszkańca (*per capita*), do wartości Produktu Krajowego Brutto,
- informacji o posiadanej infrastrukturze technicznej przesyłu, wytwarzania i dystrybucji,
- charakterystyk energochłonności gospodarki i efektywności energetycznej,
- cen paliw i energii, z uwzględnieniem udziału podatków i opłat oraz rodzajów odbiorców,
- stopnia samowystarczalności energetycznej oraz informacji nt. kierunków importu,
- emisyjności i sprawności energetycznej wytwarzania energii finalnej, podawanych ogółem i/lub jednostkowo.

Podstawowe charakterystyki pozwalają oceniać mocne i słabe strony systemu paliwowo-energetycznego kraju i tym samym identyfikować potencjalne przyczyny zakłóceń. Można powiedzieć, że w zaawansowanym stopniu charakteryzują sektor, nie są jednak wystarczające do tworzenia zestawień benchmarkingowych. Warto też nadmienić, że duża część wskaźników jest wykorzystywana w ocenach wielowymiarowych.

3.2. Wskaźniki charakteryzujące rynek

Wskaźniki opisują strukturę konkurencyjną danego rynku paliwowo-energetycznego. Najczęściej stosowane są dla rynku energii elektrycznej, gazu i ropy naftowej¹³. W opracowaniach branżowych najczęściej używany jest Indeks Koncentracji Herfindahla-Hirschmana (HHI) oraz Współczynnik Koncentracji (CR). Wskaźniki te są stosowane w Polsce przez Prezesa URE w cyklicznych

¹³ COM(2014) 330 final, *In-depth Study of European Energy Security. Accompanying the Document to European Energy Security Strategy*, European Commission, Brussels 2014; *Sprawozdanie z działalności Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2017 r.*, Urząd Regulacji Energetyki, Warszawa 2018.

sprawozdaniach i służą charakterystyce struktury podmiotowej hurtowego rynku energii elektrycznej¹⁴. W publikacjach naukowych używane są również inne indeksy, zaczerpnięte z ogólnych metod analiz struktur rynkowych. Na przykład analiza koncentracji rynku energetycznego Chorwacji uwzględnia indeks Halla-Tidemana (HTI), Indeks Entropi (H), Indeks Landesa-Posnera (LP) oraz wspomniane wcześniej indeksy HHI i CR¹⁵.

Inne przykłady zastosowania indeksu HHI¹⁶ i jego modyfikacji:

- ocena koncentracji na światowym rynku gazu¹⁷;
- modyfikowany HHI na potrzeby uwzględniania dodatkowych aspektów, takich jak możliwości importu i eksportu, stabilność gospodarcza i polityczna¹⁸;
- wskaźnik HTI¹⁹ – jest modyfikacją wskaźnika HHI; indeks jest bardziej wrażliwy na liczbę podmiotów niż na ich udziały.

Większy nacisk na małe podmioty działające na rynku kładzie również Indeks Shannona-Wienera (SWI), który służy do pomiaru stopnia dywersyfikacji dostawców energii pierwotnej, paliw. Omówienie obu indeksów (SWI i HHI) wraz z opracowanym własnym indeksem CERE przedstawiają C. Le Coq i E. Paltseva²⁰.

3.3. Oceny wielowymiarowe

Publikowane przez uznane instytucje, zajmujące się analizami sektora paliw i energii, oceny wielowymiarowe zyskują na znaczeniu, szczególnie gdy są dostępne dla dłuższego okresu i pozwalają dostrzec trendy sektora energetycznego. Są to rozbudowane pod względem metodycznym oceny, będące

¹⁴ *Sprawozdanie...*, op. cit., s. 45–47.

¹⁵ E. Banovac, *Measuring Concentration in the Energy Markets*, „Nafta” 2005, t. 56, nr 6, s. 249–256.

¹⁶ Obliczany jest jako suma kwadratów udziałów w sprzedaży wszystkich przedsiębiorstw działających na rynku (w ujęciu teorii ekonomii) lub jako suma kwadratów udziałów w rynku wyrażona w procentach (stosowana przez prawników i ekonomistów). Współczynnik przyjmuje wartości z przedziału $<0, 1>$. Dla nierównomiernego podziału rynku między przedsiębiorstwa wartość wskaźnika rośnie, zaś wartość 1 oznacza monopol.

¹⁷ D. Kryzia, *Analiza zmian koncentracji na światowym rynku gazu ziemnego*, „Wiertnictwo, Nafta, Gaz” 2010, t. 27, z. 3, s. 539–555.

¹⁸ Szczegółowe wyniki z przeglądu podaje P. Bożyk, op. cit.

¹⁹ M. Hall, N. Tideman, *Measures of Concentration*, „Journal of the American Statistical Association” 1967, t. 62, nr 317, s. 162–168.

²⁰ C. Le Coq, E. Paltseva, *Measuring the Security of External Energy Supply in the European Union*, „Energy Policy” 2009, t. 37, nr 11, s. 4474–4481.

w istocie agregatami, uwzględniającymi zagrożenia techniczne, socjoekonomiczne, gospodarcze i środowiskowe, a w niektórych przypadkach biorącymi pod uwagę także aspekty geopolityczne. Obliczane są głównie na podstawie danych statystycznych. Przykładem wielowymiarowej oceny może być analiza ryzyka w bezpieczeństwie energetycznym w ujęciu międzynarodowym, którą od 1980 r. publikuje Instytut Energii XXI w. – analityczny ośrodek działający przy Izbie Gospodarczej USA. Innym przykładem wskaźnikowej metody, która uwzględnia zrównoważony charakter systemów energetycznych, jest metoda stosowana przez Światową Radę Energii (World Energy Council, WRC).

Stale podejmowane są prace naukowe, w których opracowywane są nowe wielowymiarowe wskaźniki bezpieczeństwa energetycznego, np.:

- zastosowana globalnie (dla 162 krajów) metoda klasyfikacji ocen z wykorzystaniem średnich ważonych, uwzględniająca trzy składowe elementy, tj. łańcuchy dostaw energii, konsumpcję energii oraz środowisko polityczno-ekonomiczne²¹,
- opracowany dla krajów rozwijających się indeks zrównoważonego bezpieczeństwa energetycznego²².

Wskaźniki wielowymiarowe pozwalają tworzyć rankingi bezpieczeństwa energetycznego krajów, które można wykorzystywać do analiz porównawczych²³. Interpretując wyniki końcowe ocen wielowymiarowych, należy brać pod uwagę pewien subiektywizm, którego nie można wykluczyć przy nadawaniu wagi poszczególnym wymiarom.

3.4. Wskaźniki jakościowe

Wskaźniki jakościowe dotyczą stanów zakłóceń dostaw, czyli odzwierciedlają techniczną sprawność systemów energetycznych. Stosowane są głównie na potrzeby zarządzania operacyjnego i sprawozdawczości przedsiębiorstw sektora, a także w ocenach stanu bezpieczeństwa energetycznego²⁴. W Polsce

²¹ Q. Wang, K. Zhou, *A Framework for Evaluating Global National Energy Security*, „Applied Energy” 2017, t. 188, s. 19–31. Jako interesujący wynik warto nadmienić, że spośród 162 krajów poddanych analizie, Norwegia oceniona została najwyższej pod względem bezpieczeństwa energetycznego, ibidem, s. 23.

²² K. Narula, B.S. Reddy, *A SES (Sustainable Energy Security) Index for Developing Countries*, „Energy” 2016, t. 94, s. 326–343.

²³ G. Kunikowski, G. Esteves, *Comparative Analysis of Polish and Brazil Energy Security Risks*, „Journal of Polish-Brazilian Science and Technology” 2016, t. 2, s. 304–324.

²⁴ C. Winzer, op. cit.

najczęściej stosuje się wskaźniki dla dostaw energii elektrycznej, które w krajowych regulacjach są definiowane następująco:

- wskaźnik przeciętnego systemowego czasu trwania przerwy długiej (SAIDI), stanowiący sumę iloczynów czasu jej trwania i liczby odbiorców narażonych na skutki tej przerwy w ciągu roku, podzieloną przez łączną liczbę obsługiwanych odbiorców;
- wskaźnik przeciętnej systemowej częstości przerw długich (SAIFI), stanowiący liczbę wszystkich tych przerw w ciągu roku, podzieloną przez łączną liczbę obsługiwanych odbiorców²⁵.

4. Zastosowania wskaźników

Zgodnie z przyjętą metodą analizy, zidentyfikowane w literaturze podejścia i wskaźniki ilościowych ocen stanu bezpieczeństwa energetycznego zostały scharakteryzowane wg kryterium zastosowania wyników²⁶ (tabela 2).

Tabela 2. Charakterystyka podejść stosowanych w ocenach stanu bezpieczeństwa energetycznego

Podejście	Bezpieczeństwo dostaw	Ryzyka		
		ekonomiczne i polityczne	technologiczne	środowiskowe
Wskaźniki ogólne, charakteryzujące sektor	++	+	+	+
Wskaźniki charakteryzujące rynek	+	++	-	-
Oceny wielowymiarowe	++	++	++	++
Oceny jakościowe	-	-	+++	-

Źródło: opracowanie własne.

²⁵ Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, Dz.U. z 2007 r. nr 93, poz. 623, §41 ust. 3.

²⁶ Przyjęto czterostopniową skalę, tj.: +++ silna, bezpośrednia relacja, ++ istotna relacja, + istniejąca relacja, - brak związku.

Podsumowanie charakterystyki podejść stosowanych w ocenach stanu bezpieczeństwa energetycznego (por. tabele 1 i 2) przedstawiono poniżej.

- **Wskaźniki ogólne, charakteryzujące sektor.** Charakteryzują sektor w sposób ogólny, ale w szerokim zakresie, wykorzystują głównie dane statystyczne, zawierają istotne informacje nt. potencjalnych problemów z zakłóceniami dostaw (np. zależności od importu, stanu infrastruktury technicznej), w zakresie szczegółowej analizy ryzyka wymagają jednak interpretacji wyników.
- **Wskaźniki charakteryzujące rynek.** Są ściśle zdefiniowanymi miarami opisującymi funkcjonowanie przedsiębiorstw na danym rynku energetycznym, pozwalają ocenić stan bezpieczeństwa dostaw w wymiarze ryzyka ekonomicznego, z uwagi na konkurencyjność struktury rynku nie zawierają informacji o ryzyku technicznym i środowiskowym.
- **Oceny wielowymiarowe.** Są zbliżone do wskaźników ogólnych pod względem istotności relacji z obszarami zastosowań, posiadają przewagę w postaci agregacji wielu wymiarów do końcowych wskaźników, co pozwala na identyfikację silnych i słabych stron sektora w ujęciu międzynarodowym w każdym uwzględnionym wymiarze.
- **Oceny jakościowe.** Dotyczą awaryjności danego systemu energetycznego, ich związek z ryzykiem technicznym jest bezpośredni i silny.

Oprócz zidentyfikowanych zastosowań należy uwzględnić pragmatyczną kwestię potrzeb potencjalnych interesariuszy, zainteresowanych zastosowaniem i wynikami ocen stanu bezpieczeństwa energetycznego. W tym kontekście można powiedzieć, że im precyzyjniejszy jest wskaźnik, tym bardziej specjalistyczne będzie jego zastosowanie. Dla administracji państwowej, odpowiedzialnej za bezpieczeństwo energetyczne w sposób kompleksowy i w ujęciu międzynarodowym użyteczne będą wskaźniki ogólne i oceny wielowymiarowe. Przedsiębiorstwa sektora energetycznego będą sięgać po podejścia, które są adekwatne w obszarze poszczególnych rodzajów ryzyka, zarówno na poziomie strategicznym (np. ryzyko ekonomiczne i środowiskowe), jak i operacyjnym (ryzyko technologiczne). Warto zwrócić uwagę na ryzyko środowiskowe, które przedsiębiorstwa sektora uznają za coraz poważniejsze²⁷.

²⁷ Na przykład Grupa Kapitałowa Polskiej Grupy Energetycznej (GK PGE) w rocznym raporcie przedstawiającym ryzyko strategiczne, jako ważne wskazuje m.in.: **restrykcje środowiskowe**, tj. ryzyko zaostrzenia restrykcji środowiskowych związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej i ciepła oraz prowadzeniem działalności wydobywczej. Raport w wersji on-line: <http://raportzintegrowany2016.gkpgge.pl/pl/rozwoj/ryzyka/ryzyka-strategiczne>. Stąd też podejścia uwzględniające wymiar środowiskowy będą przydatne również dla przedsiębiorstw sektora.

5. Podsumowanie

W artykule zaprezentowana została klasyfikacja i charakterystyka stosowanych podejść i metod z obszaru ocen stanu bezpieczeństwa energetycznego oraz podjęto próbę oceny ich użyteczności wg kryterium wykorzystania wyników.

Ilościowe oceny sprzyjają racjonalnemu podejściu do problemu, umożliwiając diagnozę stanu krajowego sektora, a w przypadku wieloletnich ocen – umożliwiają dostrzeżenie zmian niewidocznych w krótkim horyzoncie czasu i prognozowanie trendów na potrzeby planowania strategicznego.

Przyjęte w artykule klasyfikacje: podejść i obszarów zastosowań wraz z oceną użyteczności miały na celu uporządkowanie stanu wiedzy. Przeprowadzona analiza wskazała na użyteczność każdego z podejść z uwagi na zastosowania. Ogólne wskaźniki mogą być przydatne dla administracji publicznej i przedsiębiorstw sektora. Wskaźniki rynkowe najlepiej służą identyfikacji ryzyka ekonomicznego, przy czym dobór konkretnych wskaźników powinien wynikać ze zidentyfikowanej struktury rynku, np. pod względem centralizacji lub konkurencyjności. Oceny wielowymiarowe są użyteczne z uwagi na możliwości międzynarodowych porównań i mogą być przydatne zarówno dla administracji publicznej, jak i przedsiębiorstw. Wskaźniki jakościowe ściśle dotyczą ryzyka technologicznego i są przedmiotem zainteresowania firm oraz regulatora rynku.

Podziękowania

Artykuł jest wynikiem prac przeprowadzonych w ramach uczestnictwa w projekcie rozwojowym NCBiR pt. Wysokospecjalistyczna platforma wspomagająca planowanie cywilne i ratownictwo w administracji publicznej RP oraz jednostkach organizacyjnych KSRG umowa nr DOB – BIO7/11/02/2015 na wykonanie projektów w zakresie badań naukowych i projektów rozwojowych na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa, przez konsorcjum: Politechnika Warszawska (Wydział Zarządzania), Medcore sp. z o.o.

Bibliografia

Ang B.W., Choong W.L., Ng T.S., *Energy Security: Definitions, Dimensions and Indexes*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2015, t. 42, nr 2, s. 1077–1093.

- Banovac E., *Measuring Concentration in the Energy Markets*, „Nafta” 2005, t. 56, nr 6, s. 249–256.
- Bożyk P., *Bezpieczeństwo energetyczne Polski w ujęciu autonomicznym i zintegrowanym z Unią Europejską*, Akademia Finansów i Biznesu Vistula, Warszawa 2013.
- COM (2014) 330 final, *In-depth Study of European Energy Security. Accompanying the Document to European Energy Security Strategy*, European Commission, Brussels 2014.
- Hall M., Tideman N., *Measures of Concentration*, „Journal of the American Statistical Association” 1967, t. 62, nr 317, s. 162–168.
- Johansson B., *A Broadened Typology on Energy and Security*, „Energy” 2013, t. 53, s. 199–205.
- Kryzia D., *Analiza zmian koncentracji na światowym rynku gazu ziemnego*, „Wiertnictwo, Nafta, Gaz” 2010, t. 27, z. 3, s. 539–555.
- Kunikowski G., Esteves G., *Comparative Analysis of Polish and Brazil Energy Security Risks*, „Journal of Polish-Brazilian Science and Technology” 2016, t. 2, s. 304–324.
- Le Coq C., Paltseva E., *Measuring the Security of External Energy Supply in the European Union*, „Energy Policy” 2009, t. 37, nr 11, s. 4474–4481.
- Månsson A., Johansson B., Nilsson L.J., *Assessing Energy Security: An Overview of Commonly Used Methodologies*, „Energy” 2014, t. 73, s. 1–14.
- Narula K., Reddy B.S., *A SES (Sustainable Energy Security) Index for Developing Countries*, „Energy” 2016, t. 94, s. 326–343.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 4 maja 2007 r. w sprawie szczegółowych warunków funkcjonowania systemu elektroenergetycznego, Dz.U. z 2007 r. nr 93, poz. 623.
- Rzyzka strategiczne, PGE, 2016, <http://raportzintegrowany2016.gkpge.pl/pl/rozwoj/ryzka/ryzka-strategiczne> (dostęp: 29.11.2018).
- Soroka P., *Bezpieczeństwo energetyczne: między teorią a praktyką*, Dom Wydawniczy Elipsa, Warszawa 2015.
- Sprawozdanie z działalności Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2017 r.*, Urząd Regulacji Energetyki, Warszawa 2018.
- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne, Dz.U. z 1997 r. nr 54, poz. 348. z późn. zm.
- Wang Q., Zhou K., *A Framework for Evaluating Global National Energy Security*, „Applied Energy” 2017, t. 188, s. 19–31.
- Winzer C., *Conceptualizing Energy Security*, „Energy Policy” 2012, t. 46, s. 36–48.
- Wohlin C., *Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering*, Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, ACM, New York, NY, USA 2014, EASE '14.

* * *

Review of quantitative methods of assessing the state of energy security

Abstract

Energy security is a key for the contemporary economies and societies, and approaches of its quantitative assessment allow monitoring the current state and more accurate forecasting for the development of the sector in a complex technological, economic, legal and political environment. The article aims to characterize the approaches and methods used in the field of assessing the state of energy security and is an attempt to categorize them by the criterion of the areas of applications. For indicating the applications of the analyzed energy security indicators, the general category “security of supply” was selected as well as four risk factors: economic, political, technological and environmental.

Keywords: energy security, energy risk indexes, energy security indexes