



Szkoła Główna Handlowa w Warszawie  
Kolegium Analiz Ekonomicznych

Mgr inż. Paweł Czyżak

## **Autoreferat**

**Zastosowanie odnawialnych źródeł energii w minimalizacji ryzyka  
działalności przedsiębiorstw**

Dziedzina: Nauki ekonomiczne

Dyscyplina: Ekonomia

Autoreferat rozprawy doktorskiej  
przygotowanej pod kierunkiem naukowym:

dr hab. Doroty Niedziółki, prof. SGH

Katedra Geografii Ekonomicznej

Warszawa, 26.01.2022

# 1. Wprowadzenie – uzasadnienie wyboru tematu

Ryzyko jest nieodłącznym elementem działalności gospodarczej. Osiągnięcie sukcesu, wypracowanie zysku, czy zajęcie pozycji na rynku oznacza konieczność delimitacji ryzyka. Pojęcie ryzyka jest więc niejako wpisane w funkcjonowanie przedsiębiorstw, a samo ryzyko determinowane jest przez szereg czynników wewnętrznych i zewnętrznych<sup>1</sup>, w tym także aspektów globalnych<sup>2</sup>. Analizując determinanty funkcjonowania podmiotu gospodarczego często umniejsza się rolę energii – traktując jej koszt jako nieznaczny, a bezpieczeństwo jej dostaw jako oczywiste. Ostatnie lata pokazują jednak, że zrównoważone pozyskiwanie energii staje się globalnym wyzwaniem, a polskie przedsiębiorstwa muszą liczyć się z nowym czynnikiem ryzyka – ryzykiem energetycznym, które nie tylko obniża ich konkurencyjność na arenie międzynarodowej, ale zaczyna zagrażać ich bytności. Konieczne jest nie tylko zdefiniowanie i oszacowanie skali ryzyka energetycznego w przedsiębiorstwach, ale także zaproponowanie metod jego mitygacji, co uczyniono w rozprawie doktorskiej.

Aby wyjaśnić istotność zagadnień poruszanych w ramach rozprawy, należy wyjść od określenia roli energii w gospodarce. Od początków obecności na Ziemi człowiek korzystał z różnych form energii, a jej wykorzystanie było motorem postępu. Rozwój miejskich sieci ciepłowniczych i początki przemysłowej produkcji energii elektrycznej w drugiej połowie XIX w. były katalizatorami drugiej rewolucji przemysłowej. Od tego czasu, globalne zużycie energii pierwotnej<sup>3</sup> rośnie w zasadzie nieprzerwanie<sup>4</sup>, a rozwój energetyki miał ogromny wpływ na poprawę warunków życia społeczeństwa i mógł być jednym z czynników wspierających wzrost światowej populacji w XX w. Obecnie, energia elektryczna i ciepła wykorzystywana jest we wszystkich sektorach gospodarki – rolnictwie, przemyśle, handlu, usługach, ale także w ogrzewaniu wszelkiego typu budynków, zasilaniu urządzeń codziennego użytku – energia stała się nieodłącznym elementem życia społecznego, a także stymulatorem rozwoju gospodarczego.

Tak istotna rola energii spowodowała, że zapewnienie jej stabilnych dostaw było i jest uznawane za jedną z determinant bezpieczeństwa kraju. Opisując ten aspekt bezpieczeństwa,

---

<sup>1</sup> J. Woźniak, *Uwarunkowania zarządzania ryzykiem we współczesnej organizacji*, w: *Mapa ryzyka w zarządzaniu organizacją*, red. J. Woźniak, W. Wereda, CeDeWu, Warszawa 2018, s. 17-41.

<sup>2</sup> WEF, *Global Risks 2019*, World Economic Forum, Genewa 2019.

<sup>3</sup> W myśl przepisów art. 3 pkt 3 *Ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 r. - Prawo energetyczne*, (Dz.U. 2006 nr 89 poz. 625), energia pierwotna to energia zawarta w pierwotnych nośnikach energii, pozyskiwanych bezpośrednio ze środowiska, np. węgla, ropy naftowej, gazy ziemnym, lub energia wody, wiatru, słoneczna, geotermalna, a także biomasa.

<sup>4</sup> V. Smil, *Energy Transitions: Global and National Perspectives*, Praeger, 2017.

stworzono definicję *bezpieczeństwa energetycznego* – zgodnie z ustawą *Prawo energetyczne*<sup>5</sup>, jest to „stan gospodarki umożliwiający pokrycie perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię, w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska”. W przypadku zagrożenia bezpieczeństwa energetycznego państwa mówi się o pojęciu *ryzyka energetycznego*. Jego przyczynami mogą być<sup>6</sup> aspekty techniczne – np. wymagające modernizacji bloki energetyczne, aspekty ekonomiczne – np. wzrost cen surowców, aspekty środowiskowe – rosnący poziom zanieczyszczenia powietrza w kraju lub regionie, aspekty instytucjonalne – biurokracja, korupcja, niestabilność prawa, niesprawnie działające instytucje regulacyjne, nieefektywne mechanizmy wsparcia, brak konkurencji na rynku.

Kluczowa rola energii w gospodarce widoczna jest nie tylko na poziomie makroekonomicznym, ale także w skali mikro – pozyskiwanie energii ma bowiem istotny wpływ na działalność przedsiębiorstw, a same sektory usług i przemysłu odpowiadają łącznie za 35% zużycia energii finalnej w Polsce<sup>7</sup>. Niemal każde przedsiębiorstwo ponosi koszty pozyskiwania energii, a jego działalność jest uzależniona od jej stabilnych dostaw. Udział energii w strukturze kosztów przedsiębiorstw zależy od wielu czynników, a jak wykazano w rozprawie doktorskiej, w polskich przedsiębiorstwach może to być nawet kilkanaście procent przychodów. Analiza kosztów energii w działalności gospodarczej jest tematem licznych opracowań, w tym także Komisji Europejskiej<sup>8</sup>, a wysokość tych kosztów silnie zależy od branży. Przykładowo, w branży tekstylnej, koszty energii oszacowano na 8-10% całkowitych kosztów wytworzenia produktu<sup>9,10</sup>, w przypadku przemysłu metalurgicznego jest to 16%<sup>11</sup>, w przypadku przemysłu petrochemicznego nawet 50%<sup>12</sup>. W usługach energia odpowiada za średnio 4 do 9% całkowitych kosztów operacyjnych<sup>13</sup>. Wzrost tych kosztów w ostatnich latach,

---

<sup>5</sup> Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. - *Prawo energetyczne*, Dz.U. 2006 nr 89 poz. 625, art. 3 p. 16.

<sup>6</sup> D. Niedzółka, P. Czyżak, *The economic security of power plants*, “E3S Web Conf.” 2017, no. 14, art. 01007.

<sup>7</sup> Eurostat, *Energy statistical pocketbook*, <https://ec.europa.eu/energy/en/data/energy-statistical-pocketbook> (data dostępu: 26.05.2021).

<sup>8</sup> Komisja Europejska, *Energy costs and EU industrial competitiveness*, “Study Factsheet – Background Study for the European Competitiveness Report 2014”, Bruksela 2014.

<sup>9</sup> S. Palamutcu, *Electric energy consumption in the cotton textile processing stages*, “Energy” 2010, no. 35, s. 2945-2952.

<sup>10</sup> A. Hasanbeigi, L. Price, *A review of energy use and energy efficiency technologies for the textile industry*, “Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2012, no. 16, s. 3648–3665.

<sup>11</sup> N. Karali, T. Xu, J. Sathaye, *Reducing energy consumption and CO2 emissions by energy efficiency measures and international trading: a bottom-up modeling for the U.S. iron and steel sector*, “Applied Energy” 2014, no. 120, s. 133-146.

<sup>12</sup> Z. Geng, J. Bai, D. Jiang, Y. Han, *Energy structure analysis and energy saving of complex chemical industries: A novel fuzzy interpretative structural model*, “Applied Thermal Engineering” 2018, no. 142, s. 433-443.

<sup>13</sup> M. Jamieson, A. Renaud, *A \$3 Billion Opportunity: Energy Management in Retail Operations*, “Schneider Electric White Paper”, Schneider Electric, 2014.

oraz planowana kontynuacja tego trendu w przyszłości, stanowią istotny czynnik ryzyka działalności przedsiębiorstw i zagrażają ich rentowności, jednak prognozy skali tego zjawiska w Polsce są nieliczne<sup>14</sup>. Rosnącym wyzwaniem staje się także sama stabilność dostaw energii, możliwości wytwórcze polskiego systemu elektroenergetycznego nie wystarczają bowiem na pokrycie rosnącego zapotrzebowania<sup>15</sup>. Skutkiem tego mogą być coraz częstsze ograniczenia dostaw energii, co ma szereg negatywnych konsekwencji, w tym m.in. utratę potencjalnych przychodów ze sprzedaży produktów i usług, koszty utraconych lub zniszczonych towarów, koszty zatrzymania i uruchamiania maszyn, straty wizerunkowe, a nawet zagrożenie zdrowia pracowników i klientów<sup>16,17</sup>. Koszty dziennej utraty zasilania w największych polskich budynkach usługowych oszacowano na kilkadziesiąt tysięcy złotych, w obiektach przemysłowych mogą one być znacznie wyższe. Mimo skali zjawiska, większość publikacji dotyczących niedoborów energii skupia się na krajach Azji, Ameryki Południowej i Afryki, a jedynie wybrane omawiają tę tematykę w kontekście globalnej północy<sup>18,19,20,21,22,23</sup>. Co więcej, tylko nieliczne prace skupiają się na skutkach nieciągłości dostaw energii konkretnie dla działalności gospodarczej<sup>24, 25, 26, 27</sup>. Analiza ryzyka energetycznego w polskich

---

<sup>14</sup> P. Czyżak, A. Wrona, M. Borkowski, *Brakujący element układanki. Rozważania o bezpieczeństwie energetycznym*, „Instrat Policy Paper” 2021, no. 9.

<sup>15</sup> Polskie Sieci Elektroenergetyczne, *Prognoza pokrycia zapotrzebowania szczytowego na moc w latach 2016 – 2035*, <https://www.pse.pl/documents/20182/f0b419f3-b8b9-49b9-87e4-490ffcb1cc31?safeargs=646f776e6c6f61643d74727565> (data dostępu: 27.01.2021).

<sup>16</sup> A. Castillo, *Risk analysis and management in power outage and restoration: A literature survey*, “Electric Power Systems Research” 2014, no. 107, s. 9-15.

<sup>17</sup> T. Schröder, W. Kuckshinrichs, *Value of Lost Load: An Efficient Economic Indicator for Power Supply Security? A Literature Review*, “Frontiers in Energy Research” 2015, no. 3, s. 55.

<sup>18</sup> D. Coll-Mayor, J. Pardo, M. Perez-Donsion, *Methodology based on the value of lost load for evaluating economical losses due to disturbances in the power quality*, “Energy Policy” 2012, no. 50, s. 407-418.

<sup>19</sup> F. Trengereid, *Quality of supply regulation in Norway*, “Proceedings of 17<sup>th</sup> CIRED” 2003, Round Table BETA 2–6.

<sup>20</sup> M. de Nooija, C. Koopmans, C. Bijvoet, *The value of supply security: The costs of power interruptions: Economic input for damage reduction and investment in networks*, “Energy Economics” 2007, no. 29, s. 277-295

<sup>21</sup> E. Leahy, R. S. J. Tol, *An estimate of the value of lost load for Ireland*, “Energy Policy” 2011, no. 39, s. 1514–1520.

<sup>22</sup> London Economics, *The Value of Lost Load (VoLL) for Electricity in Great Britain*, OFGEM i DECC, Londyn 2013.

<sup>23</sup> C. Growitsch, R. Malischeck, S. Nick, H. Wetzel, *The cost of power interruptions in Germany: a regional and sectoral analysis*, “Ger. Econ. Rev.” 2014, no. 13, s. 307–323.

<sup>24</sup> S. M. Harish, G. M. Morgan, E. Subrahmanian, *When does unreliable grid supply become unacceptable policy? Costs of power supply and outages in rural India*, “Energy Policy” 2014, no. 68, s. 158–169.

<sup>25</sup> K. Kim, Y. Cho, *Estimation of power outage costs in the industrial sector of South Korea*, “Energy Policy” 2017, no. 101, s. 236–245.

<sup>26</sup> P. Linares, L. Rey, *The costs of electricity interruptions in Spain. Are we sending the right signals?*, “Energy Policy” 2013, no. 61, s. 751–760.

<sup>27</sup> J. Reichl, M. Schmidthaler, F. Schneider, *The value of supply security: The costs of power outages to Austrian households, firms and the public sector*, “Energy Economics” 2013, no. 36, s. 256–261.

przedsiębiorstwach jest więc wyraźną luką w literaturze, a rozprawa doktorska pomaga w jej wypełnieniu.

Badanie skali ryzyka energetycznego ma umożliwić podjęcie działań zapobiegawczych i ochronę przedsiębiorstwa przed poniesieniem strat finansowych<sup>28</sup>. Wśród proponowanych rozwiązań rekomenduje się inwestycję w odnawialne źródła energii (OZE)<sup>29</sup> – np. energię słoneczną czy wiatrową, które pozwalają na osiągnięcie samowystarczalności energetycznej, uniezależniając firmy od rosnących cen energii czy jej potencjalnej niedostępności, niosąc ze sobą dodatkowe korzyści finansowe czy wizerunkowe. Temat zastosowania OZE w przedsiębiorstwach omawiany jest w coraz liczniejszej literaturze naukowej. Potencjał wykorzystania odnawialnych źródeł energii ocenia się jako szczególnie wysoki w obiektach handlowych<sup>30,31</sup>, ale także w przemyśle<sup>32,33</sup>, czy budynkach biurowych<sup>34,35</sup>. Niektóre przedsiębiorstwa w Polsce już zdecydowały się na wykorzystanie tego potencjału, a do przykładów można zaliczyć firmy takie jak Mercedes-Benz<sup>36</sup>, KGHM<sup>37</sup>, Grupę Dino<sup>38</sup>, czy Żabkę Polska<sup>39</sup>. Tego typu przykładów jest jednak wciąż niewiele, nie są też dostępne szczegółowe analizy ekonomiczne poszczególnych projektów, co stanowi niewątpliwą lukę w literaturze, adresowaną częściowo przez niniejszą pracę.

---

<sup>28</sup> K. Jajuga, *Zarządzanie ryzykiem*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 2009, s. 40.

<sup>29</sup> Są to źródła, których zasoby nie wyczerpują się na skutek eksploatacji i/lub odnawiają się. [za:] F. Krawiec (red.), *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego*, Difin, Warszawa 2010, s. 16.

<sup>30</sup> A. Colmenar-Santos, S. Campfñez-Romero, C. Pérez-Molina, F. Mur, *An Assessment of Photovoltaic Potential in Shopping Centres*, "Solar Energy" 2016, no. 135, s. 662–73.

<sup>31</sup> J. H. Braslavsky, J. R. Wall, L. J. Reedman, *Optimal distributed energy resources and the cost of reduced greenhouse gas emissions in a large retail shopping centre*, "Applied Energy" 2015, no. 155, s. 120-130.

<sup>32</sup> M. A. Butturi, F. Lolli, M. A. Sellitto, E. Balugani, R. Gamberini, B. Rimini, *Renewable energy in eco-industrial parks and urban-industrial symbiosis: A literature review and a conceptual synthesis*, "Applied Energy" 2019, no. 255, art. 113825.

<sup>33</sup> F. Bandejas, M. Gomes, P. Coelho, J. Fernandes, *Towards net zero energy in industrial and commercial buildings in Portugal*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2020, no. 119, art. 109580.

<sup>34</sup> N. T. Mbungu, R. M. Naidoo, R. C. Bansal, M. W. Siti, D. H. Tungadio, *An overview of renewable energy resources and grid integration for commercial building applications*, "Journal of Energy Storage" 2020, no. 29, art. 101385.

<sup>35</sup> P. Bailera, E. Lisbona, E. Llera, B. Peña, L.M. Romeo, *Renewable energy sources and power-to-gas aided cogeneration for non-residential buildings*, "Energy" 2019, no. 181, s. 226-238.

<sup>36</sup> GramWZielone.pl, *Fabrykę Mercedesa w Jaworze zasili energia wiatrowa*, <https://www.gramwzielone.pl/energia-wiatrowa/32068/fabryke-mercedesa-w-jaworze-zasili-energia-wiatrowa> (data dostępu: 10.01.2021).

<sup>37</sup> GramWZielone.pl, *Pierwsza farma fotowoltaiczna KGHM*, <https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/104333/pierwsza-farma-fotowoltaiczna-kghm-najnowoczesniejsza-w-polsce> (data dostępu: 10.01.2021).

<sup>38</sup> GramWZielone.pl, *Polska sieć supermarketów ma już 100 instalacji fotowoltaicznych*, <https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/103571/polska-siec-supermarketow-ma-juz-100-instalacji-fotowoltaicznych> (data dostępu: 10.01.2021).

<sup>39</sup> DlaHandlu.pl, *Żabka otworzyła sklep całkowicie zasilany zieloną energią*, <https://www.dlahandlu.pl/detal-hurt/wiadomosci/zabka-otworzyla-sklep-calkowicie-zasilany-zielona-energia,93139.html> (data dostępu: 10.01.2021).

Niezwykle nieliczne są prace łączące OZE z zagadnieniem ryzyka energetycznego – typowo, tematy te traktowane są odrębnie, co utrudnia ocenę potencjału OZE jako narzędzia mitygacji ryzyka. Wśród tego typu prac wspomnieć można publikację I. Henriques i P. Sadorsky z 2010 r., pokazującą jak firmy mogą zmniejszać ekspozycję na ryzyko energetyczne stosując zasady zrównoważonego rozwoju<sup>40</sup>. Brak jednak aktualnej literatury, kompleksowo aplikującej powyższe rozważania do przypadku polskiego, a tę lukę wypełnia rozprawa doktorska.

Warto zwrócić uwagę na aktualność poruszanej tematyki. Sektor energii podlega dynamicznej transformacji zarówno w Polsce, jak i w całej Unii Europejskiej, co ma bezprecedensowy wpływ na działalność polskich przedsiębiorstw. Polskie firmy muszą wziąć udział w unijnej transformacji energetycznej, aby utrzymać konkurencyjność na wspólnotowym rynku.

## 2. Cel, teza i hipotezy pracy

**Przedmiotem** rozprawy jest analiza potencjału OZE w minimalizacji ryzyka działalności polskich przedsiębiorstw. Autor postawił przed sobą dwa główne **cele**. Pierwszym z nich jest zwrócenie uwagi na problem występowania ryzyka energetycznego w polskich przedsiębiorstwach oraz opracowanie modelu pozwalającego na skwantyfikowanie tegoż ryzyka. Drugim celem jest pokazanie korzyści wynikających z zastosowania odnawialnych źródeł energii, poprzez pryzmat ich potencjału w niwelacji ryzyka działalności przedsiębiorstw. Oba cele osiągnięto przygotowując szacując skalę ryzyka energetycznego za pomocą wykonanego modelu wyceny oraz oceniając potencjał i opłacalność inwestycji w OZE w przykładowych przedsiębiorstwach.

W rozprawie udowodniono następującą **tezę**: zastosowanie odnawialnych źródeł energii pozwala na ograniczenie ryzyka działalności przedsiębiorstw. Zweryfikowano także **hipotezy badawcze**:

1. Pozyskiwanie energii pełni kluczową rolę w działalności przedsiębiorstw;
2. Ceny energii w Polsce będą rosły, zwiększając koszty operacyjne i stanowiąc ryzyko dla rentowności przedsiębiorstw;
3. Ograniczenia dostaw energii powodują zauważalne straty finansowe dla właścicieli przedsiębiorstw, stanowiąc istotny czynnik ryzyka. Ograniczenia te będą występowały

---

<sup>40</sup> I. Henriques, P. Sadorsky, *Can environmental sustainability be used to manage energy price risk?*, "Energy Economics" 2010, no. 32, s. 1131–1138.

coraz częściej z uwagi na stan infrastruktury czy sposób prowadzenia krajowej polityki energetycznej;

4. Zastosowanie OZE w przedsiębiorstwie pozwala na stabilizację poziomu cen pozyskiwania energii i zapewnia niezależność energetyczną;
5. Inwestycja w OZE pozwala nie tylko na niwelację ryzyka energetycznego, ale może przynieść dodatkowe korzyści finansowe.

### 3. Metodyka badań

W weryfikacji tezy oraz hipotez użyto szeregu metod badawczych. Rozprawę podzielono na dwa etapy odpowiadające dwóm celom – pierwszy, skupiający się na zdefiniowaniu i oszacowaniu skali ryzyka energetycznego w przedsiębiorstwach, i drugi, wprowadzający mechanizmy mitygacji tegoż ryzyka z użyciem odnawialnych źródeł energii.

W pierwszej kolejności zdefiniowano i sklasyfikowano ryzyko w działalności gospodarczej, dzieląc czynniki ryzyka na wynikające z otoczenia wewnętrznego oraz zewnętrznego bliższego i dalszego. Zwrócono szczególną uwagę na globalne czynniki ryzyka, mające coraz większy wpływ na działalność przedsiębiorstw. Omówiono także podstawowe elementy procesu zarządzania ryzykiem, w szczególności możliwe do podjęcia działania zapobiegawcze. Następnie zdefiniowano ryzyko energetyczne oraz pokazano jego znaczenie w działalności polskich przedsiębiorstw. Oceniono wysokość nakładów finansowych, jakie ponoszą przedsiębiorstwa w związku z koniecznością pozyskiwania energii i potwierdzono pierwszą hipotezę badawczą. Wskazano także na ogromne koszty związane z potencjalną utratą zasilania w przedsiębiorstwach z różnych sektorów gospodarki. Zaproponowano autorski model wyceny ryzyka energetycznego, biorący pod uwagę prognozy wzrostu cen energii oraz prawdopodobieństwo potencjalnej nieciągłości dostaw energii w przyszłości. Bazując na licznych źródłach danych, przygotowano autorską prognozę cen energii w perspektywie 2040 r. W weryfikacji czynników kształtujących cenę energii użyto modeli ekonometrycznych – wektorowej autoregresji (VAR) i korekty błędem (ECM), badano również przyczynowość w sensie Grangera<sup>41</sup>. Wykonane analizy potwierdziły drugą i trzecią hipotezę badawczą, wskazując na ogromną skalę ryzyka energetycznego w polskich przedsiębiorstwach.

Jako najkorzystniejszą metodę mitygacji ryzyka energetycznego zaproponowano zastosowanie odnawialnych źródeł energii. Wprowadzono pojęcie odnawialnych źródeł

---

<sup>41</sup> C.W.J. Granger, *Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods*, „Econometrica” 1969, no. 37 (3), s. 424–438.

energii, dokonując koniecznej klasyfikacji i omawiając charakterystykę każdego ze współcześnie stosowanych typów OZE, a także nakreślając obecną rolę OZE w gospodarce światowej. Wskazano cechy szczególne odnawialnych źródeł energii odróżniające je od źródeł konwencjonalnych oraz szanse i zagrożenia wynikające z ich stosowania, w nawiązaniu do drugiego celu rozprawy doktorskiej. Wyjaśniono czynniki wpływające na dotychczasowy rozwój OZE w polskich przedsiębiorstwach, w szczególności czynniki instytucjonalne – regulacje prawne, politykę energetyczną, działalność instytucji państwowych i prywatnych, które mają kluczowy wpływ na rentowność stosowania OZE w działalności gospodarczej<sup>42</sup>.

Następnie, oceniono potencjał stosowania OZE w wybranych polskich przedsiębiorstwach, biorąc pod uwagę uwarunkowania techniczne, przestrzenne, ekonomiczne, instytucjonalne i korzystając z narzędzi do ewaluacji zapotrzebowania na energię (EnergyPlus)<sup>43</sup>, czy też narzędzi do projektowania 3D (Sketchup<sup>44</sup> i Skelion<sup>45</sup>). Za pomocą liniowego programu mieszano-całkowitoliczbowego (MILP)<sup>46</sup> zaproponowano optymalny ekonomicznie miks technologii OZE pozwalający na eliminację ryzyka energetycznego w badanych przedsiębiorstwach. Przeprowadzono rachunek zysków i strat oraz analizę przepływów pieniężnych dla proponowanych inwestycji w OZE, oceniając ich rentowność. Porównano wyniki finansowe przedsiębiorstw w scenariuszach zakładających podjęcie działań na rzecz mitygacji ryzyka energetycznego ze scenariuszem „status-quo” i wykazano, że inwestycja w OZE może nie tylko zniwelować to ryzyko, ale także zapewnić firmom dodatkowe strumienie przychodów. Zweryfikowano tym samym dwie ostatnie hipotezy badawcze, potwierdzono tezę rozprawy i osiągnięto drugi z jej celów.

## 4. Główne wyniki

Uzyskane wyniki pozwoliły na weryfikację hipotez badawczych oraz tezy głównej. Wyniki te można podsumować następująco:

1. Energia jest kluczowa dla działalności przedsiębiorstw. Badając znaczenie kosztów energii w strukturze kosztów przedsiębiorstw dowiedziono, że koszty energii obecnie stanowią od 1-2 do nawet kilkunastu procent przychodów polskich spółek i sięgają

---

<sup>42</sup> P. Czyżak, *Instytucjonalne komponenty bezpieczeństwa ekonomicznego prosumentów*, w: *Komponenty bezpieczeństwa ekonomicznego przedsiębiorstw*, red: K. Kuciński, CeDeWu, Warszawa 2018.

<sup>43</sup> EnergyPlus, <https://energyplus.net/> (data dostępu: 15.11.2020).

<sup>44</sup> Sketchup, <https://www.sketchup.com/> (data dostępu: 19.12.2020).

<sup>45</sup> Skelion, <http://skelion.com/> (data dostępu: 19.12.2020).

<sup>46</sup> T. Ommen, W. B. Markussen, B. Elmegaard, *Comparison of linear, mixed integer and non-linear programming methods in energy system dispatch modelling*, “Energy” 2014, no. 74, s. 109-118.



kilkunastu-kilkudziesięciu milionów złotych rocznie w największych polskich przedsiębiorstwach.

2. Z drugiej strony, dla podmiotów gospodarczych kluczowa jest sama stabilność dostaw energii, która do niedawna traktowana była za pewność, lecz od kilku lat stoi pod coraz większym znakiem zapytania. W momentach niedostępności zasilania, polskie przedsiębiorstwa narażone są na tysiące złotych strat dziennie wynikających z zatrzymania produkcji, niemożności ogrzewania lub chłodzenia budynków, niedostępności kanałów komunikacji, zniszczenia maszyn lub produktów. Każda kilowatogodzina utraconej energii generuje od kilku do kilkunastu złotych strat. Przykładowo, w największych budynkach usługowych oznacza to dzienne koszty awarii zasilania na poziomie 80 tys. PLN.
3. Rola ryzyka energetycznego w funkcjonowaniu podmiotów gospodarczych będzie w przyszłości rosła. Prognoza cen energii wskazała na bardzo wysoki wzrost komponentu obrotowego taryfy w średniej perspektywie czasowej – między rokiem 2020 a 2030 średnio o 128%. Przekłada się to na istotny wzrost końcowych cen energii dla odbiorców instytucjonalnych – w okresie 2020-2040 łączny koszt energii dla najmniejszych konsumentów rośnie o 54%, dla dużych przedsiębiorstw jest to nawet 97%.
4. Dodatkowo, w latach 2033-2040 wystąpi niedobór wymaganej nadwyżki mocy w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym. Procent niepokrytego zapotrzebowania na energię w polskich przedsiębiorstwach rośnie od 0,24% w 2033 r. do 11,92% w 2040 r. co grozi znacznymi stratami finansowymi.
5. We wszystkich kategoriach usług, ryzyko energetyczne do roku 2030 kilukrotnie przekracza obecne roczne wydatki na energię elektryczną. Dla największych warszawskich centrów handlowych ryzyko szacuje się na 853 mln PLN w perspektywie 2040 r. Skala ryzyka dla największych warszawskich biurowców to nawet 144 mln PLN do 2040 r. W przypadku obiektów przemysłowych, skala ryzyka energetycznego do roku 2030 to nawet 5-krotność obecnych wydatków na energię, do roku 2040 ryzyko sięga setek milionów złotych.
6. W obliczu przedstawionej skali ryzyka energetycznego, przedsiębiorstwa muszą podjąć działania zaradcze. Jako najbardziej skuteczną strategię minimalizacji ryzyka zaproponowano osiągnięcie samowystarczalności energetycznej z użyciem odnawialnych źródeł energii.

7. Analiza potencjału OZE w wybranych przedsiębiorstwach pokazała, że inwestycja w OZE może nie tylko zniwelować ryzyko energetyczne, ale także zapewnić firmom dodatkowe strumienie przychodów.
8. W obiekcie przemysłowym zlokalizowanym na terenie rzadko zabudowanym, możliwe technicznie jest osiągnięcie samowystarczalności energetycznej, co oznacza potencjalnie całkowitą eliminację ryzyka energetycznego. Dzięki możliwości sprzedaży nadwyżek energii, inwestycja w OZE w obiekcie przemysłowym cechuje się dodatnią wartością bieżącą netto (NPV) na poziomie 8,8 mln PLN jeszcze przed uwzględnieniem oszczędności na obecnych i przyszłych kosztach energii. Koszty inwestycyjne wynoszą 37 mln PLN, a obiekt jest w stanie generować znaczne przychody ze sprzedaży nadwyżek energii. Od roku 2024 inwestycja przynosi dodatni zysk netto, a od 2032 dodatnie zdyskontowane przepływy pieniężne – zainwestowany kapitał zwraca się w całości po 12 latach. Uwzględniając, że w okresie 2021-2040 koszty energii w dzisiejszych cenach wyniosłyby 43,2 mln PLN i powiększając tę wartość o ryzyko energetyczne szacowane na 37,5 mln PLN okazuje się, że podjęcie proponowanej inwestycji przynosi korzyść ekonomiczną w wysokości 89,5 mln PLN.
9. W przypadku badanego przedsiębiorstwa handlowego zlokalizowanego w gęsto zabudowanym terenie miejskim, potencjał zastosowania OZE jest mniejszy, nadal jednak obiekt ten jest w stanie zminimalizować ryzyko energetyczne poprzez uniezależnienie się od dostaw energii z KSE w krytycznych miesiącach letnich, a także ustabilizowanie kosztów zakupu energii. Inwestycja kosztuje 77,3 mln PLN i pozwala na obniżenie rachunków za energię elektryczną o 88,8 mln PLN w okresie 2021-2040 przy założeniu stałych cen energii – zastosowanie odnawialnych źródeł energii pozwala więc na wypracowanie 11,5 mln PLN zysku nawet bez uwzględnienia ryzyka energetycznego. To ostatnie szacowane jest na 104,3 mln PLN, a realizując proponowany projekt, właściciele obiektu zanotują oszczędności w wysokości aż 115,8 mln PLN.

Przeprowadzone badania pozwoliły na **potwierdzenie tezy pracy – z całą pewnością można stwierdzić, że zastosowanie odnawialnych źródeł energii pozwala na ograniczenie ryzyka działalności przedsiębiorstw**, w szczególności komponentu tego ryzyka związanego z energią. Co więcej, OZE niosą ze sobą dodatkowe zalety – w tym poprawę wizerunku, potencjał marketingowy, a w wielu przypadkach mogą nie tylko przynosić oszczędności, ale także stanowić nowe strumienie przychodów.

## 5. Uwagi końcowe

Rozprawa doktorska stanowi oryginalny wkład do literatury przedmiotu. Autor podjął się kompleksowej analizy tematyki ryzyka energetycznego w przedsiębiorstwach. Dotychczasowe publikacje skupiały się przede wszystkim na wybranych komponentach ryzyka – np. wpływie nieciągłości dostaw energii na przedsiębiorstwa, a niewątpliwą lukę w literaturze stanowiło całościowe spojrzenie na zagadnienie ryzyka energetycznego w działalności gospodarczej, wraz z omówieniem potencjału działań zaradczych. Co więcej, o ile istnieją pojedyncze opracowania w literaturze zagranicznej stanowiące próbę podejścia do omawianej tematyki, żadne z nich nie uwzględnia szczególnych cech polskiego rynku energii – w tym niespotykanej skali zagrożenia nieciągłością dostaw energii oraz wzrostem jej, już i tak wysokich, cen. Rozprawa wypełnia lukę w literaturze krajowej, stanowiąc także pogłębienie i usystematyzowanie dostępnej literatury zagranicznej.

Omówione badania stanowią podstawę dla szeregu dalszych rozważań naukowych. Zaproponowany model szacowania ryzyka energetycznego może być zastosowany do szeregu zróżnicowanych przykładów – przedsiębiorstw z innych sektorów, czy też np. instytucji sektora publicznego. Model ryzyka może być aktualizowany, a także uzupełniany nowymi komponentami (np. rosnącym ryzykiem katastrof naturalnych powodującym coraz częstsze awarie sieci elektroenergetycznej). Podobnie, analizę potencjału działań zaradczych również można poszerzyć o kolejne obiekty i przykłady.

Wśród rekomendacji wynikających z przeprowadzonych badań należy zawrzeć: konieczność ustabilizowania sytuacji legislacyjnej w obszarze energii; konieczność zapewnienia atrakcyjnych form finansowania inwestycji w OZE; zwiększenie dostępności wiarygodnych analiz, badań naukowych, prognoz i scenariuszy, które pozwoliłyby przedsiębiorcom na oszacowanie ryzyka energetycznego i podjęcie działań zaradczych z odpowiednim wyprzedzeniem; edukację i poszerzanie wiedzy wśród przedsiębiorców na temat czynników ryzyka mających rosnący wpływ na działalność gospodarczą; konieczność oszacowania przez rząd całościowego wpływu ryzyka energetycznego na konkurencyjność polskiej gospodarki, która może gwałtownie zmaleć już w najbliższych latach; zwiększenie dostępności danych koniecznych do prowadzenia analiz – w tym np. informacji o profilach zużycia energii w polskich przedsiębiorstwach. Pula rekomendacji wynikająca ze zrealizowanych badań jest więc niezwykle szeroka i należy się spodziewać, że w niedalekiej przyszłości zagadnienie stanie się nie tylko przedmiotem dyskusji naukowej, ale także dyskusji publicznej i politycznej.

Paweł Gyda

## 6. Bibliografia

- Bailera P., Lisbona E., Llera E., Peña B., Romeo L. M., *Renewable energy sources and power-to-gas aided cogeneration for non-residential buildings*, "Energy" 2019, no. 181.
- Bandeiras F., Gomes M., Coelho P., Fernandes J., *Towards net zero energy in industrial and commercial buildings in Portugal*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2020, no. 119, art. 109580.
- Braslavsky J. H., Wall J. R., Reedman L. J., *Optimal distributed energy resources and the cost of reduced greenhouse gas emissions in a large retail shopping centre*, "Applied Energy" 2015, no. 155.
- Butturi M. A., Lolli F., Sellitto M. A., Balugani E., Gamberini R., Rimini B., *Renewable energy in eco-industrial parks and urban-industrial symbiosis: A literature review and a conceptual synthesis*, "Applied Energy" 2019, no. 255, art. 113825.
- Castillo A., *Risk analysis and management in power outage and restoration: A literature survey*, "Electric Power Systems Research" 2014, no. 107.
- Coll-Mayor D., Pardo J., Perez-Donsion M., *Methodology based on the value of lost load for evaluating economical losses due to disturbances in the power quality*, "Energy Policy" 2012, no. 50.
- Colmenar-Santos A. et al., *An Assessment of Photovoltaic Potential in Shopping Centres*, "Solar Energy" 2016, no. 135.
- Czyżak P., *Instytucjonalne komponenty bezpieczeństwa ekonomicznego prosumentów*, w: Komponenty bezpieczeństwa ekonomicznego przedsiębiorstw, red: K. Kuciński, CeDeWu, Warszawa 2018.
- Czyżak P., Wrona A., Borkowski M., Brakujący element układanki. Rozważania o bezpieczeństwie energetycznym, „Instrat Policy Paper” 2021, no. 9.
- DlaHandlu.pl, *Żabka otworzyła sklep całkowicie zasilany zieloną energią*, <https://www.dlahandlu.pl/detal-hurt/wiadomosci/zabka-otworzylo-sklep-calkowicie-zasilany-zielona-energia,93139.html> (data dostępu: 10.01.2021).
- Encyklopedia PWN, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/ogien;3950211.html> (data dostępu: 27.01.2021).
- EnergyPlus, <https://energyplus.net/> (data dostępu: 15.11.2020).
- Eurostat, *Energy statistical pocketbook*, <https://ec.europa.eu/energy/en/data/energy-statistical-pocketbook> (data dostępu: 26.05.2021).
- Geng Z., Bai J., Jiang D., Han Y., *Energy structure analysis and energy saving of complex chemical industries: A novel fuzzy interpretative structural model*, "Applied Thermal Engineering" 2018, no. 142.
- GramWZielone.pl, *Fabrykę Mercedesa w Jaworze zasili energia wiatrowa*, <https://www.gramwzielone.pl/energia-wiatrowa/32068/fabryke-mercedesa-w-jaworze-zasili-energia-wiatrowa> (data dostępu: 10.01.2021).
- GramWZielone.pl, *Pierwsza farma fotowoltaiczna KGHM*, <https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/104333/pierwsza-farma-fotowoltaiczna-kghm-najnowoczesniejsza-w-polsce> (data dostępu: 10.01.2021).
- GramWZielone.pl, *Polska sieć supermarketów ma już 100 instalacji fotowoltaicznych*, <https://www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/103571/polska-siec-supermarketow-ma-juz-100-instalacji-fotowoltaicznych> (data dostępu: 10.01.2021).
- Granger C. W. J., *Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods*, „Econometrica” 1969, no. 37 (3).
- Growth C., Malischek R., Nick S., Wetzel H., *The cost of power interruptions in Germany: a regional and sectoral analysis*, "Ger. Econ. Rev." 2014, no. 13.
- Harish S.M., Morgan G.M., Subrahmanian E., *When does unreliable grid supply become unacceptable policy? Costs of power supply and outages in rural India*, "Energy Policy" 2014, no. 68.
- Hasanbeigi A., Price L., *A review of energy use and energy efficiency technologies for the textile industry*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2012, no. 16.
- Henriques I., Sadorsky, P., *Can environmental sustainability be used to manage energy price risk?*, "Energy Economics" 2010, no. 32.

Hetrick L., Hoffman S., Swartz S., *Turning down the Cost of Utilities in Retail*, McKinsey&Company, <http://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/turning-down-the-cost-of-utilities-in-retail> (data dostępu: 27.01.2021).

Jajuga K., *Zarządzanie ryzykiem*, Wydawnictwo PWN, Warszawa 2009.

Jamieson M., Renaud A., *A \$3 Billion Opportunity: Energy Management in Retail Operations*, “Schneider Electric White Paper”, Schneider Electric, 2014.

Karali N., Xu T., Sathaye J., *Reducing energy consumption and CO2 emissions by energy efficiency measures and international trading: a bottom-up modeling for the U.S. iron and steel sector*, “Applied Energy” 2014, no. 120.

Kim K., Cho Y., *Estimation of power outage costs in the industrial sector of South Korea*, “Energy Policy” 2017, no. 101.

Komisja Europejska, *Energy costs and EU industrial competitiveness*, “Study Factsheet – Background Study for the European Competitiveness Report 2014”, Bruksela 2014.

Krawiec F. [red.], *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego*, Difin, Warszawa 2010.

Leahy E., Tol R. S. J., *An estimate of the value of lost load for Ireland*, “Energy Policy” 2011, no. 39.

Linares P., Rey L., *The costs of electricity interruptions in Spain. Are we sending the right signals?*, “Energy Policy” 2013, no. 61.

London Economics, *The Value of Lost Load (VoLL) for Electricity in Great Britain*, OFGEM i DECC, 2013.

Mbungu N. T., Naidoo R. M., Bansal R. C., Siti M. W., Tungadio D. H., *An overview of renewable energy resources and grid integration for commercial building applications*, “Journal of Energy Storage” 2020, no. 29, art. 101385.

Niedzółka D., Czyżak P., *The economic security of power plants*, “E3S Web Conf.” 2017, no. 14, art. 01007.

Nooija M., Koopmans C., Bijvoet C., *The value of supply security: The costs of power interruptions: Economic input for damage reduction and investment in networks*, “Energy Economics” 2007, no. 29.

Ommen T., Markussen W. B., Elmegaard B., *Comparison of linear, mixed integer and non-linear programming methods in energy system dispatch modelling*, “Energy” 2014, no. 74.

Palamutcu S., *Electric energy consumption in the cotton textile processing stages*, “Energy” 2010, no. 35.

Polskie Sieci Elektroenergetyczne, *Prognoza pokrycia zapotrzebowania szczytowego na moc w latach 2016 – 2035*, <https://www.pse.pl/documents/20182/f0b419f3-b8b9-49b9-87e4-490ffcb1cc31?safeargs=646f776e6c6f61643d74727565> (data dostępu: 27.01.2021).

Reichl J., Schmidthaler M., Schneider F., *The value of supply security: The costs of power outages to Austrian households, firms and the public sector*, “Energy Economics” 2013, no. 36.

Schröder T., Kuckshinrichs W., *Value of Lost Load: An Efficient Economic Indicator for Power Supply Security? A Literature Review*, “Frontiers in Energy Research” 2015, no. 3, s. 55.

Skelion, <http://skelion.com/> (data dostępu: 19.12.2020).

Sketchup, <https://www.sketchup.com/> (data dostępu: 19.12.2020).

Smil V., *Energy Transitions: Global and National Perspectives*, Praeger, 2017.

Trengereid F., *Quality of supply regulation in Norway*, “Proceedings of 17<sup>th</sup> CIRED” 2003, no. 2–6.

*Ustawa z Dnia 10 Kwietnia 1997 r. - Prawo energetyczne*, Dz.U. 2006, nr 89, poz. 625.

WEF, *Global Risks 2019*, World Economic Forum, Genewa 2019.

Woźniak J., *Uwarunkowania zarządzania ryzykiem we współczesnej organizacji*, w: *Mapa ryzyka w zarządzaniu organizacją*, red. Woźniak J., Wereda W., CeDeWu, Warszawa 2018.