

Alicja Maciejewska*
Paulina Kirpo*

ROZDZIAŁ 4.

PORÓWNANIE KRÓTKOOKRESOWYCH WAHAŃ CEN ENERGII ELEKTRYCZNEJ NA PRZYKŁADZIE HUPX I NORD POOL

1. Wprowadzenie

Podstawowym celem działania rynku energii elektrycznej jest zagwarantowanie akceptowalnych cen dla klienta, dostaw energii o wysokiej jakości i zapewnienie rentowności podmiotów rynkowych, które funkcjonują w elektroenergetyce⁸⁷. Rynki energii elektrycznej działają na dwóch płaszczyznach: rynku detalicznym i rynku hurtowym⁸⁸. Aby zapewnić racjonalne ceny energii dla nabywców oraz zwielokrotnić efektywność rozwoju i funkcjonowania energetyki wprowadzono mechanizmy rynkowe, które uruchomiły rynek energii⁸⁹. Dlatego właśnie energia elektryczna jest oferowana za pomocą trzech mechanizmów konkurencyjnych – rynku ofertowego (pool), transakcji dwustronnych i giełd energii⁹⁰. Transakcje dwustronne polegają na zmniejszeniu ryzyka bądź podziale ryzyka przez zawieranie kontraktów po ustalonej wcześniej cenie i wolumenie na każdy okres handlowy. Ceny i moc tych kontraktów mogą być stałe, jednak najczęściej spotykane

* Lic. Alicja Maciejewska, studentka kierunku Ekonomia, Wydział Nauk Ekonomicznych Politechniki Koszalińskiej

* Lic. Paulina Kirpo, studentka kierunku Ekonomia, Wydział Nauk Ekonomicznych Politechniki Koszalińskiej

⁸⁷ J. Malko, A. Weron, *Rynek energii elektrycznej; Mechanizmy funkcjonowania*, JASE, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1999, s. 2.

⁸⁸ L. Szczygieł, *Jaki model rynku energii? Model rynku energii elektrycznej*, Urząd regulacji energetyki, Seria wydawnicza "Biblioteka Regulatora", <https://www.ure.gov.pl/pl/urząd/informacje-ogolne/edukacja-i-komunikacja/publikacje/seria-wydawnicza-bibli/jaki-model-rynku-energ/1183,1-Model-rynku-energii-elektrycznej.html>, dostęp 08.02.2021.

⁸⁹ A. Pach-Gurgul, *Jednolity rynek energii elektrycznej w Unii Europejskiej a bezpieczeństwo energetyczne Polski*, Wydawnictwo Difin, Kraków, 2011.

⁹⁰ T. Tylec, *Rynki hurtowe energii elektrycznej*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, nr 844(2010), s. 83-95.

są ceny zmienne w oparciu o zapotrzebowanie i ceny chwilowe⁹¹. Jedną z lepiej rozwijających się form rynku hurtowego energii elektrycznej są natomiast giełdy energii elektrycznej. Powstały one w następstwie światowych reform strukturalnych i liberalizacji rynku, które miały miejsce w latach dziewięćdziesiątych⁹². Mechanizm giełd energii opiera się na sprzedaży energii elektrycznej po określonej cenie i za pomocą określonych kontraktów.

Ceny energii elektrycznej podlegają częstym wahaniom, nawet w krótkich okresach. Na cenę za energię elektryczną wpływa wiele czynników, między innymi cena surowców energetycznych, warunki pogodowe, aktywność gospodarcza, wymiana międzysystemowa czy dostępność mocy w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym. Ceny są również modelowane na podstawie cen energii elektrycznej na rynku hurtowym, akcyzy, stawki podatku VAT, marży sprzedawcy oraz innych kosztów transakcyjnych. Najlepszym wskaźnikiem hurtowej ceny energii elektrycznej jest indeks Rynku Dnia Następnego na różnych giełdach energii elektrycznej. Dla tego rynku możliwe jest obracanie energią elektryczną, której dostawa odbędzie się o konkretnej godzinie dnia następnego. Umożliwia to wstępne podsumowanie pozycji kontraktowych. Na giełdach energii poza cenami dla danej godziny, publikowane są również indeksy dla danej doby, dnia tygodnia czy miesiąca. Takie publikacje indeksów pozwalają na śledzenie trendów na rynku energii elektrycznej⁹³. Należy podkreślić, że ceny energii elektrycznej na giełdach energii elektrycznej to ważne zagadnienie z uwagi na fakt, że zmiany cen na giełdach energii wpływają na końcowe ceny dla odbiorców. Ceny energii elektrycznej są bardzo zróżnicowane, a ich wahania bardzo niebezpieczne dla gospodarki⁹⁴. Zmiany cen energii elektrycznej odzwierciedlają niestabilność w jej zapotrzebowaniu, dostępności źródeł wytwarzania energii, kosztach paliwa czy kosztach konserwacji i eksploatacji elektrowni. Ceny są zwykle najwyższe latem, kiedy popyt jest dużo większy niż zimą⁹⁵. Są one rów-

⁹¹ W. Mielczarski, *Rynki energii elektrycznej. Wybrane aspekty techniczne i ekonomiczne*, Agencja Rynku Energii, Warszawa 2000.

⁹² R. Huisman, Ch. Huurman, R. Mahieu, *Hourly electricity prices in day-ahead markets*, "Energy Economics" 2007, 29, s. 240-248.

⁹³ M. Gradzewicz, J. Hagemeyer, A. Hałka, P. Baranowski, Z. Jankiewicz, D. Kołodziejczyk, A. Leszczyńska, P. Macias, M. Niechciał, P. Popowski, K. Puchalska, *Strukturalne uwarunkowania inflacji*. Materiały i Studia 297, 2013, s. 77.

⁹⁴ Kancelaria Senatu Biuro Analiz Dokumentacji i Korespondencji, *Ceny energii elektrycznej w wybranych państwach Europy*, Opracowania Tematyczne OT-665, Warszawa 2018, s. 8-9.

⁹⁵ <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/prices-and-factors-affecting-prices.ph>, dostęp - 08.02.2021.

niezależne od polityki energetycznej państwa oraz surowców wykorzystywanych do wytworzenia energii elektrycznej. Tradycyjnie energię elektryczną uzyskuje się podczas spalania paliw kopalnych, które mają w składzie węgiel i związki węgla pochodzenia organicznego. Te źródła energii określane są dziś jako konwencjonalne i zaliczane są do surowców nieodnawialnych przyrody. Wytwarzanie energii elektrycznej z paliw kopalnych jest bardzo wydajne, ponieważ na przestrzeni lat korzystania właśnie z tych surowców opracowano efektywne technologie. Jednak pozyskiwanie energii przez nieodnawialne źródła energii oparte na węglu niekorzystnie wpływa na środowisko⁹⁶. Coraz częściej kraje, zwłaszcza te wysoko rozwinięte, decydują się na politykę mającą na celu zwiększenie produkcji energii elektrycznej pozyskiwanej z odnawialnych źródeł energii. Skandynawska giełda Nord Pool większość energii pozyskuje właśnie z niekonwencjonalnych źródeł energii, zwłaszcza z elektrowni wodnych. Giełdy Europy Wschodniej i Środkowowschodniej pozyskują natomiast energię elektryczną głównie z konwencjonalnych źródeł energii, takich jak węgiel⁹⁷. Energia ze źródeł odnawialnych jest tańsza niż konwencjonalna, ale ze względu częstego uzależnienia od pogody nie można ograniczyć się wyłącznie do produkcji energii ze źródeł niekonwencjonalnych. Dlatego też wprowadzono opłatę mocową, która jest istotnym kosztem w cenie energii elektrycznej odbiorców końcowych. Warto też wspomnieć, że energia odnawialna ma pierwszeństwo sprzedaży przed energią ze źródeł konwencjonalnych⁹⁸.

Autorzy poszukiwali odpowiedzi na dwa pytania: jakim różnicowaniom podlegały ceny energii elektrycznej na tych giełdach oraz czy występują prawidłowości w wahaniami cen energii elektrycznej. W opracowaniu podjęto próbę przedstawienia różnicowania cen energii elektrycznej na skandynawskiej giełdzie Nord Pool oraz węgierskiej HUPX. Celem podjętego badania jest odpowiedź na następujące pytania:

- Jakim różnicowaniom podlegały ceny energii elektrycznej na tych giełdach?
- Czy występują prawidłowości w wahaniami cen energii elektrycznej?

⁹⁶ „Odnawialne i nieodnawialne źródła energii i jej oszczędzanie - Zintegrowana Platforma Edukacyjna”. <https://zpe.gov.pl/a/odnawialne-i-nieodnawialne-zrodla-energii-i-jej-oszczedzanie/DXgcliG2B>, dostęp – 23.06.2021.

⁹⁷ J. Janikowski, *Wyzwania związane z wytwarzaniem energii elektrycznej wynikające z unijnej polityki wsparcia zrównoważonej energii*, „Unia Europejska.pl” 2015, nr 2, s. 30-35.

⁹⁸ <https://globenergia.pl/czy-energia-z-odnawialnych-zrodel-energii-bedzie-drozsza/>, dostęp -03.09.2021.

Dalsza część artykułu składa się z trzech części. W pierwszej części dokonano opisu metodyki badania. W drugiej przeprowadzono analizy empiryczne, których wyniki stały się podstawą do sformułowania wniosków. Artykuł kończy podsumowanie.

2. Metoda analizy i dane

Celem badania jest ocena i porównanie wahań krótkookresowych cen energii elektrycznej w zależności od typów kontraktów oraz terminu notowania na giełdzie. Analizę wahań cen przeprowadzono dla Hungarian Power Exchange oraz Nord Pool w następujących układach:

- ceny dla poszczególnych godzin,
- ceny dla poszczególnych dni tygodnia,
- ceny dla poszczególnych miesięcy w roku.

Dane dotyczyły cen energii elektrycznej Rynku Dnia Następnego (Day-ahead prices) Nord Pool Spot AS oraz HUPX. Dla giełdy Nord Pool analizowano rynki: Sztokholm (SE3), Finlandia (FI), Dania (DK1), Oslo (NO1), a dla HUPX: węgierski (HU), słowacki (SK), czeski (CZ) oraz rumuński (RO). Badany okres obejmował dwa lata: od 01.01.2019 r. do 31.12.2020 r. w przypadku danych cen notowań godzinowych i cen notowań dziennych oraz cztery lata: od 01.01.2016 r. do 31.12.2020 r. w przypadku danych cen notowań miesięcznych. W analizie zostały wykorzystane dane historyczne wyrażone w Euro/MWh. Źródłem informacji statystycznych były strony internetowe badanych giełd HUPX i Nord Pool. Do analizy zróżnicowania zmian cen energii wykorzystano proste miary statystyczne.

Wstępną charakterystykę przeprowadzono segregując i agregując dane dla konkretnej godziny, dnia tygodnia i miesiąca. W ramach analizy cen za energię elektryczną porównano średnie ceny przez obliczenie jednej z klasycznych miar rozkładu – średniej arytmetycznej. Średnie ceny uzyskano ze wzoru⁹⁹:

$$x_{\text{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

gdzie: x_i – ceny za energię elektryczną, n – liczba obserwacji.

Badając wahania cen na giełdach energii posłużono się także odchyleniem standardowym. Wskaźnik ten informuje o tym, jak bardzo wartości danej wiel-

⁹⁹ A. Zimny, *Statystyka opisowa. Materiały pomocnicze do ćwiczeń*, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Koninie, Konin 2010, s. 23.

kości są rozrzucone wokół jej średniej. Im mniejsza wartość odchylenia tym obserwacje są bardziej skupione wokół średniej. Zastosowano następującą formę obliczeniową¹⁰⁰:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{\text{śr}})^2}{n}} * \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

gdzie: x_i – ceny za energię elektryczną, $x_{\text{śr}}$ – średnia arytmetyczna cen za energię elektryczną, n – liczba obserwacji.

Wykorzystując odchylenie standardowe oraz średnią arytmetyczną obliczono współczynnik zmienności za pomocą wzoru¹⁰¹:

$$V = \frac{S}{x_{\text{śr}}} * 100\% \quad (3)$$

gdzie: S – odchylenie standardowe, $x_{\text{śr}}$ – średnia arytmetyczna cen za energię elektryczną.

Współczynnik ten informuje o zróżnicowaniu zbioru. I tym sposobem wyniki osiągające współczynnik zmienności w przedziale 0-20% cechują się niewielkim zróżnicowaniem. Jeśli współczynnik wynosi 20-40%, występuje średnie zróżnicowanie populacji. Kiedy miara ta mieści się w przedziale 40-60%, możemy mówić o dużym zróżnicowaniu. W przypadku przekroczenia 60% zróżnicowanie jest bardzo duże.

Kolejnym elementem analizy było testowanie powiązań pomiędzy zmianami cen na poszczególnych rynkach. Wykorzystano w tym celu analizę korelacji. Dzięki korelacji można uzyskać informacje czy dwie zmienne wpływają na siebie, czy są istotne i powiązane ze sobą statystycznie. Zbadano powiązania występujące między rynkami dotyczące dziennych oraz miesięcznych cen za energię elektryczną poddając ceny analizie korelacji. Dodatkowo, w analizie powiązań miesięcznych cen za energię elektryczną obliczono korelację dla pierwszych różnic logarytmów opisujące zależności pomiędzy względnymi zmianami cen na poszczególnych rynkach. Analizę przeprowadzono w oparciu o procedury: przekształcono ceny do logarytmów naturalnych, obliczono pierwsze różnice logarytmów, dla tych różnic obliczono korelacje.

¹⁰⁰ Z. Bobowski, *Wybrane metody statystyki opisowej i wnioskowania statystycznego*, Wydawnictwo WWSZiP, Wałbrzych 2004, s. 50.

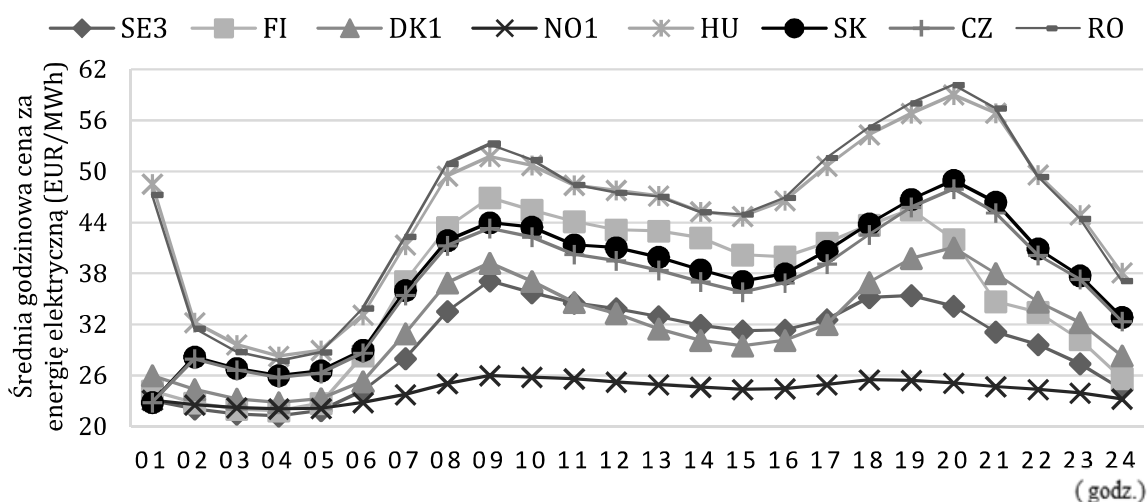
¹⁰¹ Ibidem.

3. Wyniki badań

Zróżnicowanie cen za energię elektryczną w zależności od godziny

Zgodnie z omówioną metodyką analizowano kształtowanie się cen dla różnych okresów dla wybranych rynków: Nord Pool–Sztokholm (SE3), Finlandia (FI), Dania (DK1), Oslo (NO1), a dla HUPX: węgierski (HU), słowacki (SK), czeski (CZ) oraz rumuński (RO). Najpierw przedstawiono analizy dotyczące poziomu i zmienności cen energii elektrycznej dla poszczególnych godzin w cyklu dobowym. Starano się określić na ile znaczące są zmiany cen oraz określić prawidłowość tych zmian na badanych rynkach. Przeprowadzona analiza przyczynia się dookreślenia relacji pomiędzy pozycjami.

Wartości średnich cen w Euro i odchyłeń standardowych posegregowanych na kolejne godziny w ciągu dnia dla badanych obszarów przedstawiono na rysunku 1 i 2. Odchylenie standardowe przedstawia średnią bezwzględną zmienność w Euro.

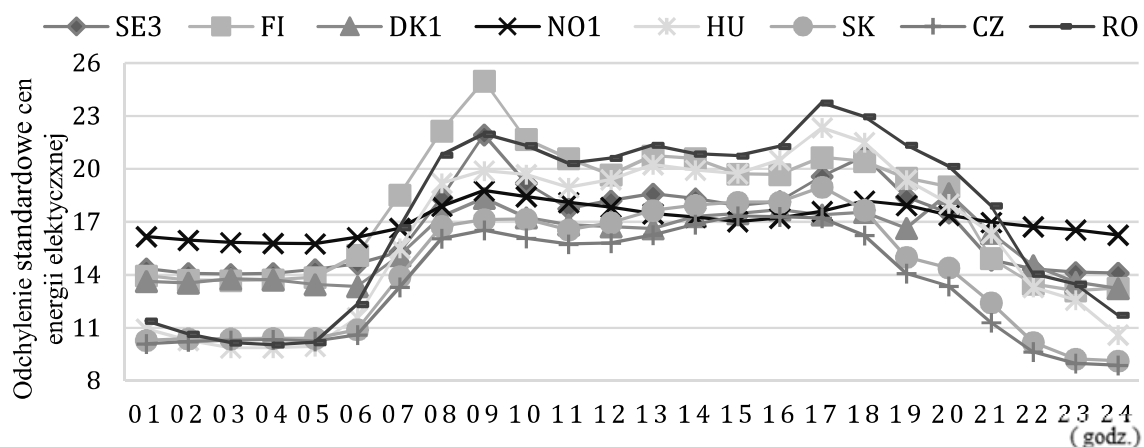


Rys. 1. Średnia cena za energię elektryczną w zależności od godziny notowania [EUR/MWh]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HUPX i Nord Pool

Na rysunku 1 ukazano kształtowanie się cen energii elektrycznej w poszczególnych godzinach w trakcie trwania dnia. Z zaprezentowanych danych (rys. 1) wynika, że najwyższa cena za energię elektryczną w trakcie trwania doby na giełdach występowała w godzinach 08-09 oraz 19-20. Ceny w ciągu doby na każdej z giełd są zróżnicowane. Na wszystkich rynkach zauważalny był spadek cen w ciągu dnia w godzinach 10-15, z czego najniższą cenę odnotowano w godzinach 03-04. Szczegółowa analiza średnich godzinowych cen energii elektrycznej

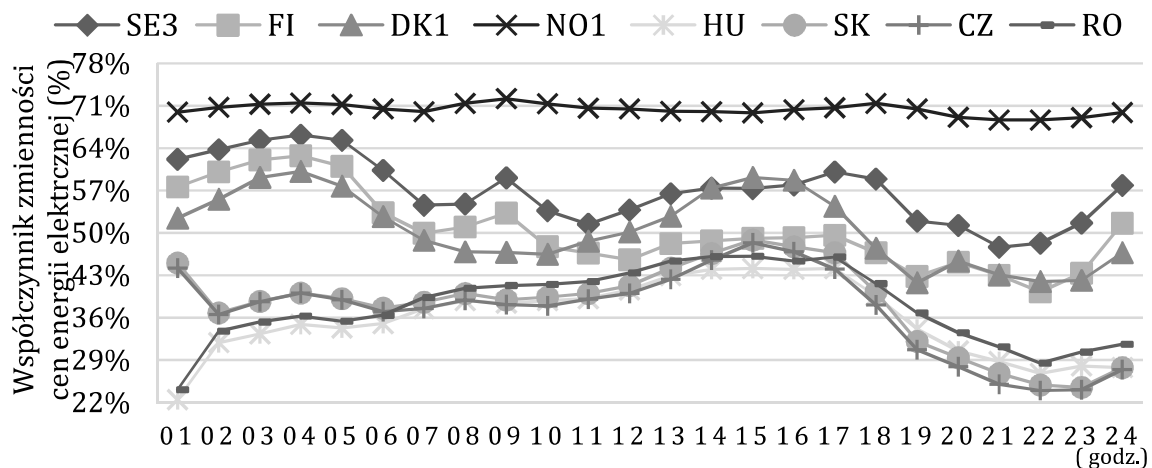
wskazuje, że najniższe średnie ceny za energię elektryczną w ciągu dnia płacono na rynku norweskim (NO1–Oslo), a najwyższe na rynkach rumuńskim (RO) i węgierskim (HU). Różnice w średnich cenach na obydwu giełdach mogą również wynikać ze sposobu produkcji energii elektrycznej. Na węgierskiej giełdzie sprzedawana jest w głównej mierze energia produkowana ze źródeł konwencjonalnych, a Nord Pool oferuje energię produkowaną z OZE. Energia odnawialna z reguły jest nieco tańsza, dlatego ceny za energię elektryczną na giełdzie skandynawskiej są niższe.



Rys. 2. Odchylenie standardowe cen za energię elektryczną w zależności od godziny notowania [EUR/MWh]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HUPX i Nord Pool

Odchylenie standardowe przedstawione na rysunku 2 osiągało najwyższy wskaźnik w godzinach 08-09 i 17-18, a najniższy w godzinach 23-24. Indeks, dla którego odnotowano największe odchylenia od średnich to Finlandia (F1), a było to nawet 25 euro/MWh o godzinie 08-09. Najniższe odchylenia występowały w Czechach i Słowacji, około 9 euro/MWh w godzinach 23-24. Większe odchylenia standardowe występowały na rynkach giełdy skandynawskiej Nord Pool niż HUPX. Odchylenie standardowe wyższe wartości przyjmuje w ciągu dnia, co jest spowodowane wyższym popytem na energię elektryczną w tych godzinach.



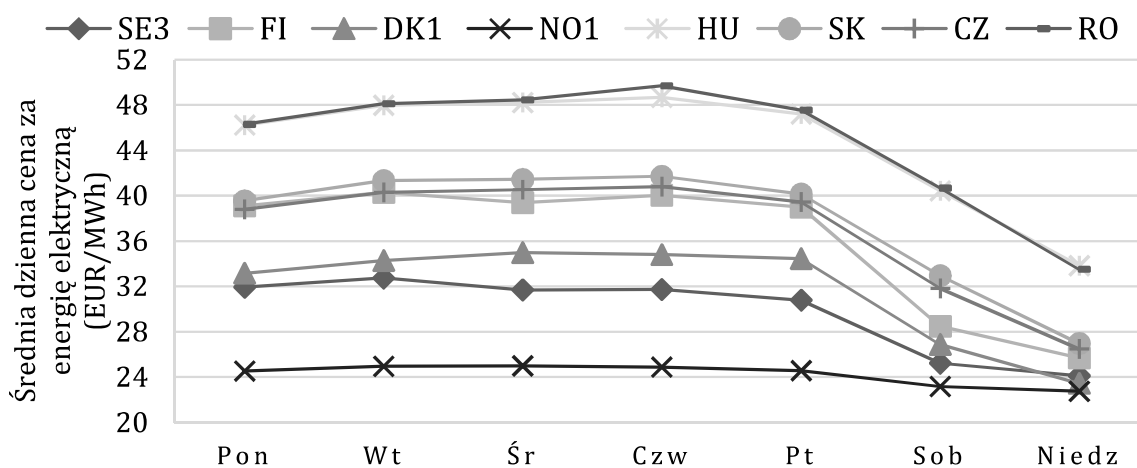
Rys. 3. Współczynnik zmienności cen energii elektrycznej w zależności od godziny notowania [%]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HUPX i Nord Pool

Rysunek 3 wskazuje, że najmniejsza zmienność występowała podczas notowań na giełdzie HUPX. Ceny na giełdzie Nord Pool wykazywały bardzo duże zróżnicowanie. Najwyższa zmienność cen występowała na giełdzie norweskiej (NO1–Oslo), współczynnik wskazał na około 70% zróżnicowanie cechy, co wskazuje na bardzo silną zmienność cen. Na giełdach: szwedzkiej, finlandzkiej, duńskiej współczynnik zmienności cen oscylował w granicach 40%-60%, świadczy to o dużej zmienności cen. Ceny na giełdzie HUPX wykazywały średnie zróżnicowanie. Na rynkach rumuńskim (RO), węgierskim (HU), czeskim (CZ) oraz słowackim (SK) współczynnik zmienności wahał się między 40%-20%. Na każdym z badanych rynków ceny za energię elektryczną charakteryzują się najmniejszą zmiennością w godzinach 21-23.

Zróżnicowanie cen za energię elektryczną w zależności od dnia tygodnia

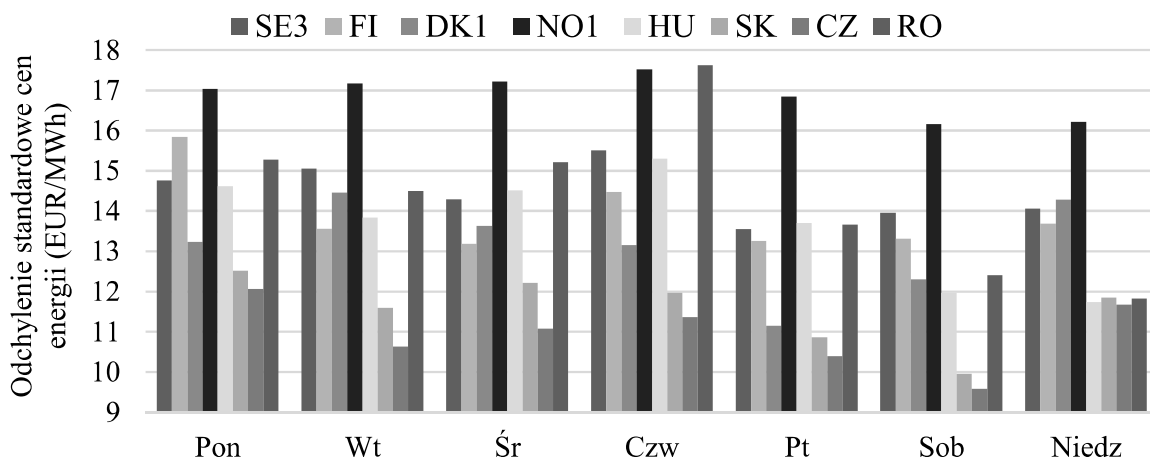
Analogicznie do analiz cen godzinowych energii elektrycznej zbadano także dzienny profil cen energii elektrycznej w ciągu tygodnia. Starano się określić zmienność cen, tendencje cenowe występujące na badanych rynkach oraz czy występują prawidłowości w wahaniach cen energii elektrycznej.



Rys. 4. Średnia dziennych cen za energię elektryczną [EUR/MWh]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HUPX i Nord Pool

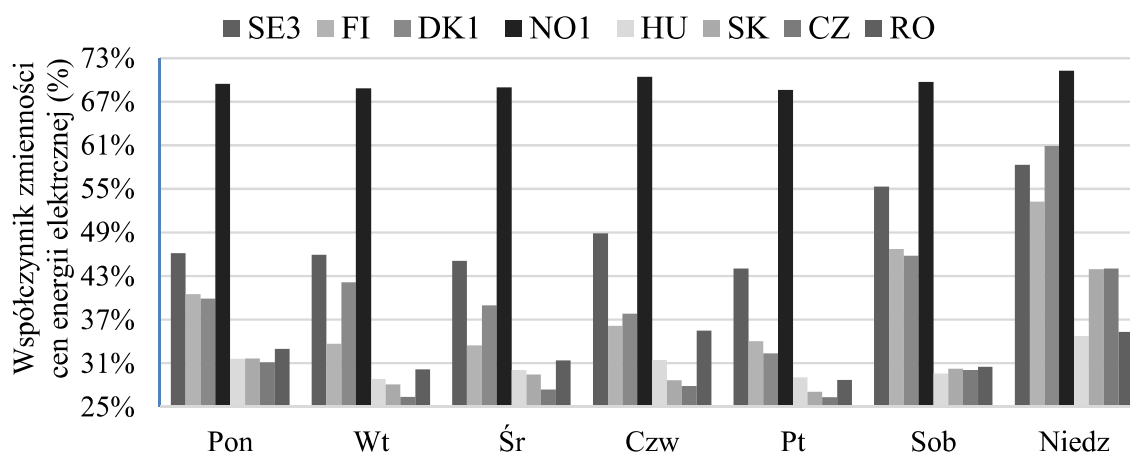
Na rysunku 4 przedstawiono kształtowanie się cen w poszczególnych dniach w trakcie trwania tygodnia. Dienne ceny za energię elektryczną podlegają niewielkim wahanom. Zebrane obserwacje świadczą o zmienności cen w zależności od dnia tygodnia. Zauważono tendencję spadkową cen na każdej z giełd w weekendy oraz ustabilizowanie cen w ciągu tygodnia. Wyższe dzienne ceny za energię elektryczną odnotowano w tygodniu (od poniedziałku do piątku), spadek cen giełdy notowały w weekendy. Giełda Nord Pool jest tańsza niż HUPX, na co może mieć wpływ nie tylko polityka obydwu giełd, ale również sposób produkcji energii elektrycznej. Najwyższe ceny płacono na rynkach węgierskim (HU) i rumuńskim (RO), a najniższe na norweskim (NO1).



Rys. 5. Odchylenie standardowe cen energii elektrycznej w zależności od dnia tygodnia [EUR/MWh]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HUPX i Nord Pool

Analizując odchylenie standardowe dziennych cen energii elektrycznej nie zauważono dużego zróżnicowania w ciągu tygodnia (rys. 5). Najwyższym wskaźnikiem charakteryzował się rynek norweski (NO1), a najniższym rynek czeski (CZ). Dla giełdy norweskiej było to około 17 euro/MWh, a dla giełdy czeskiej 12 euro/MWh. Współczynnik odchylenia standardowego jest niższy w weekendy, a wyższy w ciągu tygodnia. Przyczyną zaobserwowanego stanu może być fakt, że przedsiębiorstwa korzystające z energii elektrycznej w weekend nie pracują.



Rys. 6. Współczynnik zmienności cen za energię elektryczną w zależności od dnia tygodnia [%]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HUPX i Nord Pool

Współczynnik zmienności wskazywał na większe zróżnicowanie cen za energię elektryczną w weekendy (rys. 6). Większe zróżnicowanie wykazywały rynki giełdy Nord Pool. Najbardziej zmiennym rynkiem był norweski rynek (NO1), ceny wykazywały tam bardzo duże zróżnicowanie, około 70%. Silne zróżnicowanie cen wykazywały też rynki Sztokholm (SE3), Finlandia (FI) i Dania (DK1). Dla rynku SE3 zmienność wynosiła około 50%, a dla finlandzkiego i duńskiego ponad 40%. Zmienność cen na rynkach giełdy HUPX była umiarkowana i wynosiła nieco ponad 30%.

W celu zbadania zależności cen na rynkach giełdy Hungarian Power Exchange oraz Nord Pool obliczono współczynniki korelacji (tabela 1). Wykonano to na dwa sposoby. Na podstawie cen dziennych notowań cen oraz na podstawie pierwszych różnic tych cen.

Tabela 1. Współczynnik korelacji cen dziennych za energię elektryczną oraz współczynnik korelacji pierwszych różnic cen dziennych energii elektrycznej

	HU*	SK	CZ	RO	SE3	FI	DK1	NO1
HU**	1	0,84	0,82	0,97	0,60	0,64	0,60	0,53
SK	0,71	1	0,98	0,81	0,67	0,67	0,74	0,48
CZ	0,70	0,96	1	0,78	0,66	0,67	0,76	0,47
RO	0,89	0,62	0,61	1	0,56	0,62	0,57	0,48
SE3	0,40	0,53	0,55	0,34	1	0,88	0,82	0,70
FI	0,47	0,55	0,57	0,40	0,76	1	0,76	0,61
DK1	0,49	0,68	0,70	0,44	0,66	0,50	1	0,59
NO1	0,35	0,49	0,54	0,29	0,43	0,41	0,51	1

*powyżej przekątnej – ceny dzienne za energię elektryczną

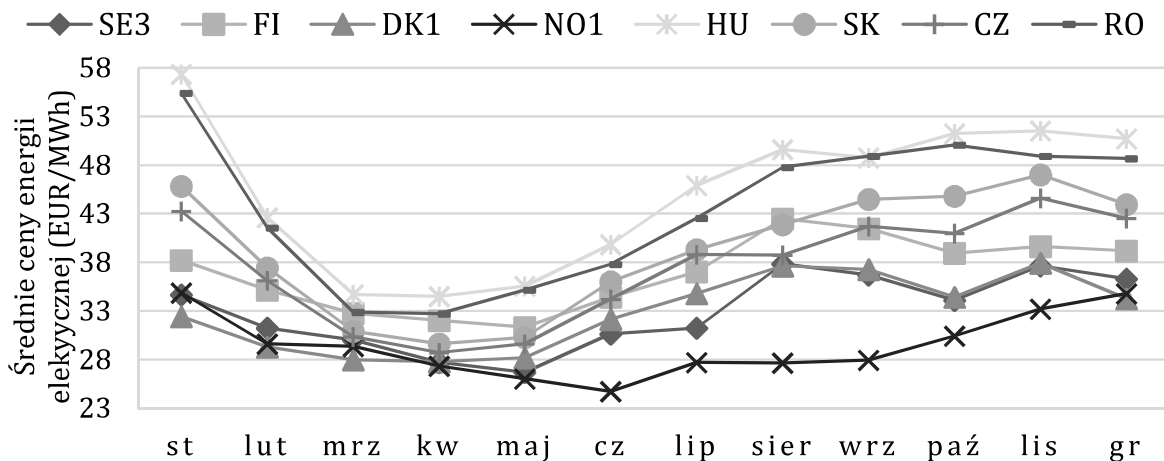
** poniżej przekątnej – pierwsze różnice cen dziennych energii elektrycznej

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HUPX i Nord Pool

Zależności liczone na podstawie pierwszych różnic cen dziennych energii wskazują na mniejszą korelację cenową pomiędzy rynkami. Na podstawie wyników przedstawionych w tabeli 1 zauważono, że giełda HUPX wykazuje wyższą korelację swoich podmiotów, jak giełda Nord Pool. Najbardziej skorelowane dzienne ceny za energię elektryczną wystąpiły pomiędzy rynkami czeskim (CZ) i słowackim (SK) oraz rumuńskim (RO) i węgierskim (HU). Ceny na tych rynkach są od siebie praktycznie w pełni zależne. Najmniejsza korelacja miała miejsce na rynkach Oslo (NO1) i czeskim (CZ), Oslo (NO1) i słowackim (SK) oraz Oslo (NO1) i rumuńskim (RO). Na tych rynkach ceny były od siebie istotnie, lecz umiarkowanie zależne. Jeśli chodzi o przyrosty cen korelacje zachodzące pomiędzy tymi zmiennymi były niższe niż w przypadku cen za energię elektryczną. Zmiany cen odnotowały największy współczynnik korelacji na rynkach słowackim (SK) i czeskim (CZ), gdzie zależność była praktycznie pełna. Najmniej skorelowane zmiany cen występowały na rynkach Oslo (NO1) i rumuńskim (RO) oraz Oslo (NO1) i węgierskim (HU). Przyrosty cen na tych rynkach wykazują niską korelację.

Zróżnicowanie cen za energię elektryczną w zależności od miesiąca

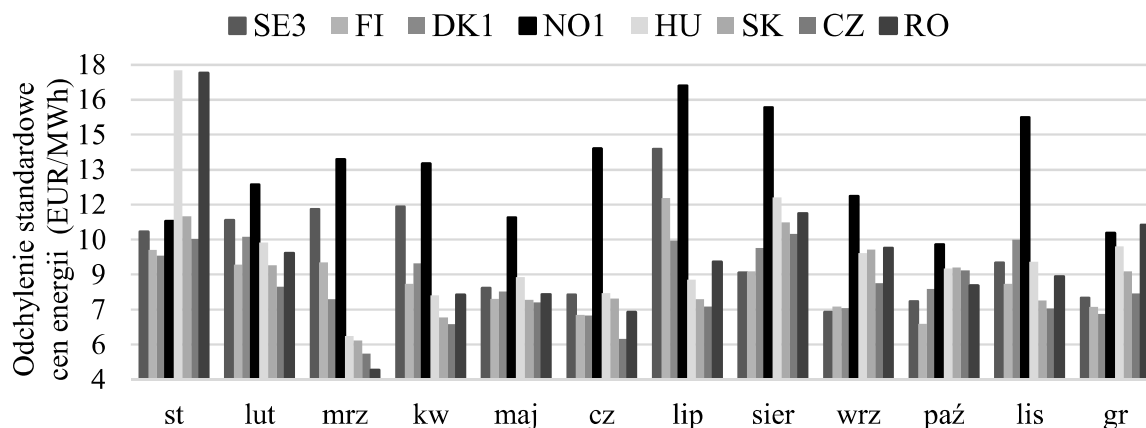
Rysunek 7 przedstawia kształtowanie się średnich cen za energię elektryczną w poszczególnych miesiącach w roku.



Rys. 7. Średnia miesięcznych cen za energię elektryczną na giełdach HUPX i Nord Pool [EUR/MWh]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HUPX i Nord Pool

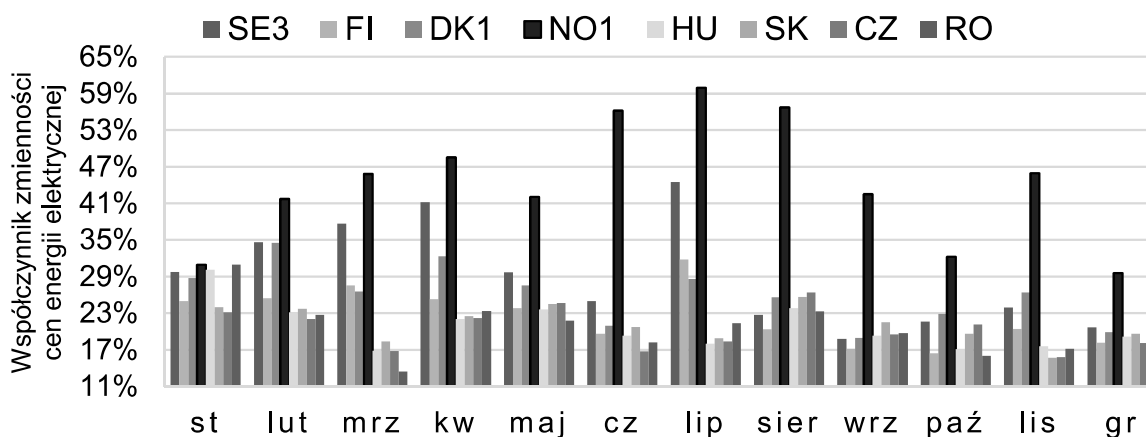
Zauważono, że energia elektryczna była najdroższa w styczniu, a najtańsza w miesiącach marzec-maj. Zazwyczaj mniej płacono na giełdzie Nord Pool, a więcej na HUPX, co również w pewnym stopniu jest konsekwencją różnego na obu giełdach sposobu produkcji energii. Skandynawska giełda Nord Pool może sobie pozwolić na oferowanie niższych cen przez to, że produkcja energii z OZE jest tańsza. Najwyższe ceny odnotowano na rynku węgierskim (HU) i rumuńskim (RO), a najniższe na rynkach Oslo (NO1), Sztokholm (SE3) i Dania (DK1). Średnia cena wskazuje na tendencję wzrostu, szczególnie w miesiącach zimowych. W marcu oraz w kwietniu ceny w kontraktach na energię elektryczną są najniższe i zbliżają się do wielkości uzasadnionej kosztami wytwarzania, ponieważ jest to okres, w którym zmniejsza się zapotrzebowanie na energię elektryczną i maleje prawdopodobieństwo braku dostaw.



Rys. 8. Odchylenie standardowe cen energii elektrycznej w zależności od miesiąca [EUR/MWh]

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HUPX i Nord Pool

Najwyższym wskaźnikiem odchylenia standardowego przedstawionym na rysunku 8 charakteryzował się rynek norweski (NO1), a najniższym rynek czeski (CZ). Dla giełdy norweskiej było to około 16 euro/MWh, a dla giełdy czeskiej 9 euro/MWh. Wskaźnik odchylenia standardowego najwyższe wartości osiąga zimą i latem, a jest to prawdopodobnie spowodowane większym zapotrzebowaniem na wykorzystanie energii elektrycznej w tym czasie.



Rys. 9. Współczynnik zmienności cen za energię elektryczną w zależności od miesiąca na giełdach HUPX i Nord Pool

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HUPX i Nord Pool

Zmienność cen podlegała sporym wahaniom na przestrzeni roku (rys. 9). Największe ryzyko cenowe można zauważyć na rynku Oslo (NO1), gdzie współczynnik zmienności osiąga wartość nawet 60%. Dużo niższymi fluktuacjom podlegają ceny na giełdzie HUPX, gdzie wskaźnik ten waha się w przedziale od 13%

do 30%. W literaturze opisuje się to jako słabe i umiarkowane zróżnicowanie cechy. Na giełdzie Nord Pool ceny były najmniej stabilne w lipcu, natomiast na HUPX w styczniu.

Tabela 2. Współczynnik korelacji pierwszych różnic logarytmów cen miesięcznych oraz współczynnik korelacji cen notowań miesięcznych energii elektrycznej

	SE3*	FI	DK1	NO1	HU	SK	CZ	RO
SE3**	1	0,90	0,74	0,32	0,21	0,35	0,37	0,17
FI	0,95	1	0,79	0,37	0,30	0,44	0,45	0,27
DK1	0,93	0,94	1	0,33	0,41	0,64	0,70	0,35
NO1	0,88	0,83	0,80	1	0,10	0,15	0,18	0,10
HU	0,63	0,65	0,67	0,56	1	0,90	0,79	0,97
SK	0,76	0,75	0,82	0,64	0,93	1	0,93	0,86
CZ	0,77	0,77	0,85	0,63	0,88	0,97	1	0,74
RO	0,54	0,59	0,60	0,46	0,98	0,87	0,82	1

* powyżej przekątnej – pierwsze różnice logarytmów cen miesięcznych

** poniżej przekątnej – ceny notowań miesięcznych energii elektrycznej

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych HUPX i Nord Pool

Korelacje policzono na dwa sposoby. Na podstawie pierwszych różnic logarytmów cen miesięcznych oraz korelację cen notowań miesięcznych. Zależności przedstawione w tabeli 2 liczone na podstawie cen notowań miesięcznych ukazują większą korelację cenową pomiędzy rynkami niż korelacja liczona z pierwszych różnic logarytmów tych cen. W przypadku korelacji pierwszych różnic logarytmów cen miesięcznych energii nie wykazano korelacji ujemnej. Najbardziej skorelowane miesięczne ceny za energię elektryczną wystąpiły pomiędzy rynkami rumuńskim (RO) i węgierskim (HU), czeskim (CZ) i słowackim (SK), Sztokholm (SE3) i Finlandia (FI), Finlandia (FI) i Dania (DK1), Sztokholm (SE3) i Dania (DK1) oraz węgierskim (HU) i słowackim (SK). Ceny na tych rynkach są od siebie praktycznie w pełni zależne. Najmniejsza korelacja miała miejsce na rynkach Oslo (NO1) i rumuńskim (RO), Sztokholm (SK3) i rumuńskim (RO), Finlandia (FI) i rumuńskim (RO) oraz Dania (DK1) i rumuńskim (RO). Na tych rynkach ceny były od siebie istotnie, lecz umiarkowanie zależne.

Jeśli chodzi o przyrosty cen korelacje zachodzące pomiędzy tymi zmiennymi były niższe niż w przypadku cen za energię elektryczną. Zmiany cen odnotowały największy współczynnik korelacji na rynkach rumuńskim (RO) i węgierskim (HU), czeskim (CZ) i słowackim (SK), węgierskim (HU) i słowackim (SK) oraz Sztokholm (SE3) i Finlandia (FI). Zmiany cen na tych rynkach były praktycznie w pełni od siebie zależne. Najmniej skorelowane zmiany cen występowały na rynkach Oslo (NO1), a rynkiem: węgierskim (HU), rumuńskim (RO),

słowackim (SK) i czeskim (CZ). Pomiedzy zmianami cen na tych rynkach występuje słaba korelacja, można stwierdzić brak związku pomiędzy nimi.

4. Podsumowanie

Przedmiotem pracy było porównanie krótkookresowych wahań cen energii elektrycznej na skandynawskiej giełdzie energii Nord Pool oraz węgierskiej HUPX. Celem opracowania było przeanalizowanie zróżnicowania jakiego podlegały ceny energii elektrycznej na tych giełdach oraz sprawdzenie ewentualnych prawidłowości w wahaniami cen energii elektrycznej. Analizę przeprowadzono przy pomocy podstawowych miar statystycznych: średnich arytmetycznych, odchyłeń standardowych, współczynników zmienności oraz współczynników korelacji. Zgodnie z założeniami pracy uzyskano odpowiedzi na temat zróżnicowania cen energii elektrycznej oraz określono wahania tych cen.

Podsumowując uzyskane wyniki można stwierdzić, że na giełdach występują wyraźne i zgodne z innymi wynikami badania wahania sezonowe. Potwierdzono zjawisko wyższych cen w godzinach szczytu popytu na energię elektryczną, w ciągu tygodnia oraz w miesiącach jesiennych i zimowych. Otrzymane wyniki wskazują na zróżnicowanie pod względem poziomu i zmienności cen energii elektrycznej. Wyższe ceny za energię elektryczną zaobserwowano na giełdzie Hungarian Power Exchange. Oprócz polityki giełdy i warunków rynkowych miał na to wpływ rodzaj energii oferowanej na tych giełdach. HUPX wykorzystuje głównie konwencjonalne źródła energii, co przekłada się na wyższy koszt wytworzenia energii, a co za tym idzie wyższą cenę. Nord Pool w dużej części uzyskuje energię elektryczną z OZE, co ma wpływ na niższe jej ceny. Większą zmiennością cen charakteryzuje się giełda Nord Pool, na co również ma wpływ produkcja energii z odnawialnych źródeł energii. Energia niekonwencjonalna uzależniona jest najczęściej od warunków pogodowych, co skutkuje niestabilnością cen. Energia pozyskana w sposób konwencjonalny jest wolna od wpływu warunków pogodowych, przez co jej ceny nie podlegają tak dużym wahaniami. Stwierdzono również wysoką korelację pomiędzy rynkami na giełdzie Nord Pool oraz HUPX. Przy czym dla giełdy HUPX najbardziej skorelowane ceny zauważono na rynkach czeskim i słowackim oraz rumuńskim i węgierskim. Dla skandynawskiej giełdy Nord Pool najwyższą korelację cen zaobserwowano na rynkach Finlandia i Sztokholm oraz Finlandia i Dania.

Podjęte badania nie wyjaśniają w pełni czynników mających wpływ na ceny energii elektrycznej ani na jej wahania. Artykuł podejmuje jedynie kwestie popytu na energię elektryczną oraz rodzaj oferowanej energii. Przeanalizowane dane nie dają wiedzy na temat regulacji prawnych czy cen surowców, które również wpływają w dużym stopniu na ceny energii elektrycznej.

Literatura

Bobowski Z., *Wybrane metody statystyki opisowej i wnioskowania statystycznego*, Wydawnictwo WWSZiP, Wałbrzych 2004.

Gradzewicz M., *Strukturalne uwarunkowania inflacji*. Materiały i Studia 297 (2013).

Gradzewicz M., Hagemeyer J., Hałka A., Baranowski P., Jankiewicz Z., Kołodziejczyk D., Leszczyńska A., Macias P., Niechciał M., Popowski P., Puchalska K., *Strukturalne uwarunkowania inflacji*, Materiały i Studia 297, 2013, s. 77.

Huisman R., Huurman Ch., Mahieu R., *Hourly electricity prices in day-ahead markets*, "Energy Economics" 29 (2007).

Janikowski J., *Wyzwania związane z wytwarzaniem energii elektrycznej wynikające z unijnej polityki wsparcia zrównoważonej energii*, „Unia Europejska.pl” 2015, nr 2.

Malko J., Weron A., *Rynek energii elektrycznej; Mechanizmy funkcjonowania*, JASE, Politechnika Wrocławska, Wrocław 1999.

Mielczarski W., *Rynki energii elektrycznej. Wybrane aspekty techniczne i ekonomiczne*, Agencja Rynku Energii, Warszawa 2000.

Pach-Gurgul A., *Jednolity rynek energii elektrycznej w Unii Europejskiej a bezpieczeństwo energetyczne Polski*, Wydawnictwo Difin, Kraków 2011.

Szczygieł L., *Jaki model rynku energii? Model rynku energii elektrycznej*, Urząd regulacji energetyki, Seria wydawnicza "Biblioteka Regulatora".

Tylec T., *Rynki hurtowe energii elektrycznej*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, nr 844 (2010).

Zimny A., *Statystyka opisowa. Materiały pomocnicze do ćwiczeń*, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Koninie, Konin 2010.

Kancelaria Senatu Biuro Analiz Dokumentacji i Korespondencji, *Ceny energii elektrycznej w wybranych państwach Europy*, Opracowania Tematyczne OT-665, Warszawa 2018.

Inne

<https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/prices-and-factors-affecting-prices.ph>, dostęp - 08.02.2021.

<https://globenergia.pl/czy-energia-z-odnawialnych-zrodel-energii-bedzie-drozsza/>, dostęp -03.09.2021.

<https://zpe.gov.pl/a/odnawialne-i-nieodnawialne-zrodla-energii-i-jej-oszczedzanie/DXgcliG2B>, dostęp – 23.06.2021.