

Dr hab. inż. Janusz Lichota, prof. PWr
Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczno-Energetyczny W9
Katedra Inżynierii Konwersji Energii

Wrocław 31 VII 2023

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Sobotki pt.
*„Modelowanie prognostyczne
cen energii elektrycznej
na rynku polskim”*
dla
Rady Naukowej Dyscypliny
Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka
Politechniki Warszawskiej

Promotor rozprawy : prof. dr hab. inż. Krzysztof Badyda

Promotor pomocniczy rozprawy : dr inż. Kamil Futyma

Podstawa opracowania recenzji :
pismo przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny
Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka
Prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego
Nr RND- IŚGiE/99/2023 z dnia 14.07.2023 r.

Umowa o dzieło zawarta pomiędzy Politechniką Warszawską,
Wydziałem Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa 00-665 Warszawa, ul. Nowowiejska 24,
reprezentowanym przez **prof. dr. hab. inż. Janusza Frączka**, Dziekana Wydziału,

Przedłożona do recenzji rozprawa ma 191 stron.

Wnioskowana dyscyplina naukowa: **INŻYNIERIA ŚRODOWISKA, GÓRNICTWO I ENERGETYKA**

Spis treści

1. Kryteria merytoryczne.....	5
1.1. Trafność tematu rozprawy	5
1.2. Trafność celów rozprawy.....	7
1.3. Struktura rozdziałów w tekście rozprawy	7
1.4. Zgodność tematu z treścią rozprawy.....	8
1.5. Poprawność merytoryczna i metodologii.....	8
1.6. Elementy nowości w rozprawie.....	9
1.7. Praktycyzm treści.....	11
1.8. Teoretyzm treści	12
1.9. Trafność wnioskowania	12
1.10. Elementy dyskusyjne.....	13
Pełna weryfikowalność pracy.....	13
1.11. Ocena dorobku w odniesieniu do starych i nowych dyscyplin.....	14
1.12. Wyróżnienie rozprawy	15
1.13. Pytania do doktorantki.....	16
Pytanie 1.....	16
Pytanie 2.....	16
Pytanie 3.....	16
Pytanie 4.....	17
Pytanie 5.....	17
Pytanie 6.....	18
Pytanie 7.....	19
Pytanie 8.....	19
Pytanie 9.....	19
Pytanie 10.....	20
Pytanie 11.....	20
Pytanie 12.....	20
Komentarz 13. Redukcja udziału węgla	22
Komentarz 14. Kierunek dostaw gazu.....	24
2. Kryteria edytorskie oraz uwagi do zawartości merytorycznej	25
3. Podsumowanie i wnioski.....	27

1. Kryteria merytoryczne

1.1. Trafność tematu rozprawy

Praca podejmuje trudny problem modelowania cen energii elektrycznej w przyszłości. Temat ma znacznie strategiczne. Niskie ceny energii przyciągają kapitał. A celem pracy jest uzyskanie wyniku w postaci ceny w funkcji struktury i parametrów rynku energii.

Przewidywanie jest trudną sztuką, a szczególnie przewidywanie przyszłości. W przyszłości będą występowały nieliniowe zmiany, które nie są uwzględnione przez żaden model matematyczny. Stanowią one pewną opcję, mają pewną możliwość zaistnienia, cechującą się prawdopodobieństwem, natomiast są trudne do wskazania w chwili obecnej jako takie, które zaistnieją. Tytuł książki napisanej w latach 70-tych *“The beginning forecaster”* (Levenbach, Cleary, 1981) pozostaje ciągle aktualny. W dowolnie wybranym punkcie czasu jesteśmy na początku przewidywania przyszłości. Choć studiowanie historii powala na dostrzeżenie powtarzających się wzorców zachowań społecznych (*„4th turning”*, Neil, Howe, *„Principles”* Dalio). Są również przełomy technologiczne, o których nikt dzisiaj nie wie i nawet nie przypuszcza, że nastąpią (jak np. bitcoin, również dotyczący energetyki).

W kontekście tematu pracy, gdybyśmy sobie wyobrazili, że praca jest pisana w roku 2015 to dwudziestokrotny wzrost ceny kontraktu w Niemczech na dostawę energii elektrycznej w trybie *forward* z 50 na 1000 EUR/MWh byłby trudny do zaakceptowania. Nie oznacza to, że trud związany przewidywaniem zachowania się rynku energii elektrycznej jest na darmo. Pozwala on przy znanych założeniach na ocenę bardziej prawdopodobnych kierunków rozwoju rynku energii elektrycznej. Prawdopodobieństwo to jest oparte o znane ceny oraz struktury rynku. Model przedstawiony w pracy pozwala na zajrzenie w przyszłość. Popatrzmy na kilka cytatów z pracy:

- „ • *rewizja systemu EU ETS – oznacza:*
 - o *Zwiększenie tempa redukcji uprawnień do emisji CO2 w systemie,*
 - o *zmniejszenie wolumenu darmowych EUA,*
 - o *objęcie nowych sektorów odrębnym systemem EU ETS (budownictwo, transport drogowy i morski oraz włączenie mniejszych ciepłowni);*
 - *zwiększenie redukcji emisji w sektorach nieobjętych EU ETS (-17,7% w 2030);*
 - *utworzenie CBAM (ang. Carbon Border Adjustment Mechanism) - mechanizmu dostosowania cen na granicach z uwzględnieniem emisji CO2 celem opodatkowania importu produktów wysokoemisyjnych;*
 - *rewizja dyrektywy ws. efektywności energetycznej – oznacza podniesienie celów w zakresie efektywności energetycznej: redukcję zużycia energii o co najmniej 9% w 2030 r. w porównaniu do poziomów z 2020 r.;*
 - o *wsparcie rozwoju technologii wodorowych,*

o wprowadzenie systemów monitorowania, raportowania i weryfikacji emisji metanu,
o nałożenie nowych obowiązków na importerów paliw kopalnych dotyczące transparentności;

- dynamiczny rozwój infrastruktury ładowania samochodów paliwami alternatywnymi w transporcie, jak również stopniowe wycofanie ze sprzedaży samochodów z silnikami benzynowymi i wysokoprężnymi do 2035 r.;

- cel dotyczący usuwania CO₂ przez naturalne pochłaniacze, odpowiadający 310 mln ton emisji CO₂ do 2030 r.”

„Można zauważyć, że kierunek zmian cen w kolejnych latach jest uzależniony od stopnia nasycenia systemu daną technologią w danym okresie czasu. Tania pod względem kosztów zmiennej generacja OZE pomniejsza zapotrzebowanie na energię elektryczną niezbędną do zaspokojenia przez JWCD. Fakt ten wpływa na obniżenie cen na rynku, gdyż stos jednostek może być domykany przez jednostki o niższym koszcie krańcowym w godzinach, kiedy występuje produkcja OZE. Ponadto w kolejnych latach analizy pojawia się coraz więcej godzin w roku, w których sumaryczna generacja OZE wystarcza do pokrycia zapotrzebowania w KSE (teoretycznie bez konieczności pracy JWCD).”

Z tych cytatów wynika interakcja prawa i techniki oraz opłacalność podejmowania decyzji ws. np. ocieplenia domów prowadząca do ich zerowego zapotrzebowania.

1.2. Trafność celów rozprawy

Wskazanie oraz ocena celu pracy kandydata

Głównym celem badań było zbudowanie narzędzia programistycznego do modelowania cen energii elektrycznej na rynku hurtowym w długoterminowej perspektywie. Narzędzie uwzględnia różne scenariusze makroekonomiczne, szczególnie w zakresie planów i polityk dotyczących rozwoju sektora energetycznego.

Zadaniem narzędzia było wspomaganie analizy przyszłości rynkowej i podejmowania decyzji w firmie z sektora energetycznego. Głównym wynikiem narzędzia jest cena energii elektrycznej na rynku hurtowym w długoterminowej perspektywie, zależnie od przyjętych założeń makroekonomicznych i scenariusza rozwoju sektora energetycznego.

Koncepcja prezentowana w pracy opiera się na analizie dokumentów strategicznych i prognoz sektorowych, stanowiących dane wejściowe do modelu. Model ten generuje ceny energii elektrycznej oraz strukturę wytwarzania energii w różnych źródłach, w zależności od przyjętych założeń.

Jest to trudny temat, ponieważ obejmuje kilkadziesiąt – kilkaset powiązanych ze sobą zmiennych. W dodatku część z nich to zmienne związane z podejściem strategicznym, co wymaga racjonalnej oceny historycznej, zmian społecznych, bieżących doświadczeń w innych krajach oraz wyznaczenia prawdopodobieństwa zaistnienia danej ścieżki rozwoju energetyki w Polsce.

Podsumowując, praca skupia się na opracowaniu modelu do prognozowania cen energii elektrycznej na rynku hurtowym, biorąc pod uwagę różne czynniki makroekonomiczne i plany rozwoju sektora energetycznego, co ma być przydatne dla firmy energetycznej w podejmowaniu strategicznych decyzji.

1.3. Struktura rozdziałów w tekście rozprawy

Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Pracę czyta się bardzo przyjemnie. Jest napisana łatwym, samokomentującym się tekstem. Struktura tekstu odpowiada sposobowi pisania klasycznej pracy doktorskiej:

- omówienie stanu literatury (rozdział 4. *Modelowanie prognostyczne w elektroenergetyce, w szczególności cen energii elektrycznej*) oraz
- uporządkowanie wiedzy na temat rynku energii w Polsce (rozdział 2. *Charakterystyka rynku energii elektrycznej w Polsce* i rozdział 3. *Krajowy System Elektroenergetyczny, rozdział 7. Źródła danych*),

- zaproponowanie własnego modelu matematycznego (rozdział 5. *Analiza determinant cen energii elektrycznej*, rozdział 6. *Algorytm konstrukcji modelu symulacji prognostycznych hurtowych cen energii elektrycznej w perspektywie długoterminowej dla rynku polskiego*),
- wskazanie założeń do modelu (rozdział 8. *Poszczególne etapy budowy modelu oraz przyjęte założenia*) oraz
- przeprowadzenie obliczeń modelem i wyciągnięcie wniosków (rozdział 9. *Analiza wyników - kalibracja modelu na danych historycznych*, rozdział 10. *Analiza wyników dla założeń prognostycznych*).

1.4. Zgodność tematu z treścią rozprawy

Treść rozprawy jest zgodna z tematem. Modelowanie prognostyczne cen energii elektrycznej na rynku polskim przeprowadzono poprzez zapoznanie się z aktualnym stanem literatury, określenie podmiotów rynku energii elektrycznej oraz sposobu ich interakcji ekonomicznej i technicznej, skonstruowanie własnego modelu matematycznego opartego o algorytm sortowania ofert poszczególnych źródeł od najniższych do najwyższych kosztów krańcowych wytworzenia energii elektrycznej zwany mechanizmem *merit order* z warunkiem stopu przy mocy elektrycznej odpowiadającej popytowi, wprowadzenie założeń do modelu obejmujących również prawdopodobne przyszłe stany prawne i makroekonomiczne, wykonanie obliczeń modelem oraz wyciągnięcie z nich wniosków dla różnych scenariuszy cen paliw oraz przepisów prawnych dotyczących wspierania poszczególnych źródeł energii.

1.5. Poprawność merytoryczna i metodologii

Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Zastosowana metoda badawcza polegała na wykorzystaniu sortowania *merit order* wraz z dodatkowymi warunkami ograniczającymi pochodzącymi od przewidywanych zmian prawnych oraz cenowych, w szczególności dotyczących emisji ditlenku węgla, do określenia ceny bazowej energii elektrycznej w kolejnych latach aż do roku 2032. W wyniku zastosowania modelu otrzymano pęk rozwiązań w postaci przewidywanych cen bazowych energii elektrycznej dla różnych scenariuszy mieszczący się w przybliżonym zakresie 600 do 800 PLN/MWh.

Autorka biegle posługuje się pojęciami technicznymi oraz dotyczącymi rynku energii elektrycznej w Polsce (np. JWCD, nJWCD, OSD, PSE), różnymi zmiennymi z zakresu handlu paliwami (np. ARA, EEX), uprawnieniami do emisji, rynku handlu energią elektryczną (np. RDN, RB) oraz prawa (np. "Fit for 55"). Praca w sposób systematyczny, a z drugiej strony oszczędny, opisuje strukturę i model rynku energii elektrycznej w Polsce. Model matematyczny opisany w rozdziale 6 jest napisany bardzo jasno. Widoczna jest prostota (użycie nadrzędnej zasady

porządkowania źródeł energii względem kosztu wytworzenia i priorytetu) i równania są łatwo interpretowalne. Widać, które jednostki są uruchamiana i w jakiej kolejności.

1.6. Elementy nowości w rozprawie

Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Praca zawiera aktualne dane dotyczące struktury wytwarzania energii elektrycznej w Polsce oraz bierze pod uwagę aspekty prawne wskazujące na możliwe scenariusze zmian struktury. Celem tej pracy była konstrukcja elastycznego narzędzia do przewidywania długoterminowych cen energii elektrycznej na rynku hurtowym. Narzędzie to uwzględnia różne scenariusze prawne i ekonomiczne, szczególnie pod kątem rozwoju odnawialnych źródeł energii. Praca skupia się na odpowiedzi na pytanie: *"Jak będą kształtować się ceny energii elektrycznej na rynku hurtowym w długoterminowej perspektywie, w zależności od przyjętych założeń makroekonomicznych i scenariusza rozwoju odnawialnych źródeł energii?"*

Praca cechuje się wyjściem poza istniejące narzędzia:

„Dostępne komercyjnie na rynku prognozy oraz narzędzia ze względu na dużą subiektywność i brak przejrzystości przyjmowanych założeń oraz stosowanych algorytmów, a także ograniczoną elastyczność, nie adresują potrzeb zidentyfikowanych w przedsiębiorstwie energetycznym. Oznacza to, że przeprowadzenie dogłębnego i w pełni kontrolowanego procesu symulacji prognostycznych wymaga zbudowania indywidualnego narzędzia.

Własny model modelu oparto na mechanizmie powstawania ceny krańcowej na rynku energii, rozszerzając go o perspektywę wieloletnią i wykorzystując szereg dodatkowych informacji i założeń, budując w ten sposób model równowagi.”

Model umożliwia badania różnych scenariuszy w zależności od rozwoju struktury rynku w przyszłości oraz kilkuset zmiennych :

- I. *„ NAVI - Obejmuje spis poszczególnych segmentów modelu i umożliwia odesłanie do nich. Zawiera także istotne oznaczenia komórek stosowane w narzędziu (wartości stałe, formuły, zmiany formuł).*
- II. *STER – Moduł umożliwiający sterowanie kluczowymi założeniami dla procesu symulacji:*
 - *makroekonomicznymi – ścieżki inflacji i kursów walut;*
 - *cenowymi – ścieżki cen gazu ziemnego, węgla kamiennego, węgla brunatnego, uprawnień do emisji CO₂, kosztów zmiennych poza paliwowych technologii;*
 - *poziomem marży jednostek wytwórczych;*

- *technicznymi – scenariusze zapotrzebowania na energię elektryczną oraz miks wytwórczego, wskaźniki mocy dyspozycyjnej do osiągalnej poszczególnych technologii;*
- *profilem klimatycznym – scenariusze na bazie lat historycznych.*

Moduł ten pozwala na wybór odpowiednich scenariuszy do przeliczeń. W tym segmencie znajduje się także przycisk uruchamiający makro (skrypt napisany we wbudowanym w MS Excel języku programowania opartym na VBA) sortujące jednostki JWCD względem rosnącego kosztu krańcowego (zalecane przy każdej zmianie ustawień modelu oraz poszczególnych istotnych założeń czy danych wsadowych). Obliczenia trwają kilka minut.

- III. *Założenia makro - Zawiera wszystkie istotne dane wsadowe dla poszczególnych scenariuszy (oraz miejsce na dodatkowe scenariusze) w zakresie założeń makroekonomicznych i cenowych. Obejmuje także dane i obliczenia pomocnicze, np. związane ze zmianą jednostek, skumulowanym wskaźnikiem inflacji oraz zawiera dane historyczne.*
- IV. *Założenia ogólne – Obejmuje scenariusze zapotrzebowania na energię elektryczną, ścieżki kosztów zmiennych poza paliwowych oraz założenia techniczne, takie jak: wskaźniki emisji, wartości opałowe paliw, historyczne wskaźniki mocy dyspozycyjnej do osiągalnej czy udział mocy zainstalowanej CCGT pracującej w kogeneracji.*
- V. *MIX - Zawiera scenariusze założeń w zakresie mocy wytwórczych w poszczególnych latach, gdzie kluczowe to:*
 - *szczegółowe informacje nt. JWCD, z których najistotniejsze dla procesu modelowania to: poziom mocy osiągalnych w poszczególnych latach, sprawność, dystans transportu paliwa, data uruchomienia oraz zakładane daty wyłączenia z eksploatacji (scenariusze);*
 - *planowane moce źródeł gazowych (szczegółowo w zakresie wyników aukcji RM);*
 - *planowane moce OZE jako agregaty w podziale na technologie: wiatr na lądzie, wiatr na morzu (szczegółowo dla znanych projektów I fazy), fotowoltaika;*
 - *planowane moce DSR oraz magazynów energii;*
 - *obliczenia dla założeń PRSP 2023-32 w zakresie wycofania mocy wytwórczych i uzgodnienia mocy w modelu;*
 - *zaplanowane miejsce do formowania alternatywnych scenariuszy;*

- *agregacja mocy JWCD według bloków podobnych.*

VI. *PROFILE – Segment zawierający bazę danych historycznych nt. zapotrzebowania KSE oraz profilu pracy poszczególnych grup źródeł wytwórczych w każdej godzinie roku oraz miesięcznych mocy zainstalowanych źródeł OZE w Polsce. Jest to także miejsce obliczeń profilu pracy przyszłych morskich farm wiatrowych, jak również współczynników wykorzystania mocy zainstalowanej OZE w systemie czy kalkulacji dla roku klimatycznego.”*

1.7. Praktycyzm treści

Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Pracę cechuje bardzo dobre rozeznanie rynku, dane odnośnie struktury rynku energii elektrycznej są aktualne.

„Istotę budowy modelu oparto na mechanizmie powstawania ceny krańcowej na rynku energii, rozszerzając go o perspektywę wieloletnią i wykorzystując szereg dodatkowych informacji i założeń, budując w ten sposób model równowagi.”

Praca śledzi i dotyka historii oraz przewidywalnej przyszłości regulacji prawnych, makroekonomii oraz technologii wytwarzania energii dając łatwe intuicje odnośnie przyszłych zdarzeń na rynku energii, a więc możliwość wcześniejszego pozycjonowania się poszczególnych uczestników rynku względem instytucji próbujących oddzielić nieostrożnych uczestników od ich pieniędzy poprzez mechanizmy keynesowskiego pieniądza fiducjalnego.

Praca stanowi podręcznik *step – by – step* dla potencjalnego inwestora (np. str. 69, 70, 74), w sektorze budownictwa pokazujący co robić, aby uniknąć niepotrzebnych kosztów bieżących w przyszłości.

Praca stanowi ostrzeżenie dla inteligentnego inwestora w branży energetycznej przed rafami finansowymi i technicznymi, które znajdują się na drodze rozwoju rynku energii.

Przykłady:

„Polityka UE określa także reguły udzielania pomocy publicznej. Od 1 lipca 2025 r. w ramach mechanizmów mocowych będzie obowiązujący zakaz wspierania jednostek wytwórczych opartych o paliwa kopalne o emisyjności powyżej 550g CO₂/kWh oraz ponad 350kg CO₂/kWe mocy zainstalowanej średnio w skali roku. Oznacza to w praktyce brak możliwości uzyskania przychodów z RM przez obecnych beneficjentów tego mechanizmu wsparcia, co będzie prowadzić do spadku rezerw mocy w KSE.”

To oznacza, że muszą zostać wprowadzone nowe technologie, aby elektrownie węglowe mogły dalej funkcjonować. Dla pracujących obecnie instalacji, uśrednione wskaźniki emisji CO₂

wynoszą: 0,90 Mg/MWh dla węgla kamiennego, 1,065 Mg/MWh dla węgla brunatnego, 0,45 dla gazu wielkopieczowego.

„Wszystkie obowiązujące dokumenty: PEP 2040, PPEJ, jak i KPEiK zakładają istotne zmiany strukturalne w KSE w najbliższych dekadach. W perspektywie roku 2040 przewidywany jest znaczący wzrost całkowitej mocy osiągalnej netto źródeł wytwórczych: według PEP 2040 i PPEJ do poziomu powyżej 60 GWe, zaś zgodnie z KPEiK powyżej 70 GWe. Rola jednostek węglowych ulegnie ograniczeniu – redukcja udziału w całkowitej mocy zainstalowanej o ok. 20% do roku 2040. Natomiast wzrośnie udział elektrowni i elektrociepłowni gazowych.”

To oznacza np. wzrost sprawności poprzez różne metody z powodu obniżania kosztów działalności EC gazowych.

1.8. Teoretyzm treści

Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach

Praca prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydatki. Kandydatka wykorzystała doskonałą okazję do zaprezentowania swojej zdolności do zrozumienia i wykorzystania teoretycznych podstaw związanych z tematem prognozowania cen.

Kandydatka przyswoiła kluczowe teorie, modele i pojęcia związane z prognozowaniem cen energii. Zrozumiała i umiejętnie wykorzystała istotne zagadnienia techniczne, ekonomiczne i prawne poszukiwania równowagi popytu i podaży w kontekście swoich badań. Posiadła umiejętność krytycznej analizy literatury oraz odpowiedniego odniesienia się do różnych teoretycznych perspektyw.

Kandydatka posiadała oryginalną i głęboką wiedzę teoretycznej. Poszerzyła swoją wiedzę poza podstawowe teorie (m.in. rozdział 6.6), a także przedstawiła bardziej zaawansowane koncepcje obejmujące wszystkie możliwe źródła energii elektrycznej.

Wiedza teoretyczna pokazana w pracy jest precyzyjna i spójna, a teorie i pojęcia są pokazane jasno i zrozumiale. Praca jest dobrze zorganizowana i logicznie skonstruowana.

1.9. Trafność wnioskowania

Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Podstawowy wynik uzyskany w pracy wskazuje na to, że polityka związana ze wzrostem cen za emisję CO₂ spowoduje uzyskanie przez OZE (np. str. 129, rys. 27-29) statusu przedsięwzięcia „opłacalnego”. Innymi słowy źródła używające pierwiastka C w sposób powodujący wyjście pierwiastka C poza własny obieg („emisja”) będą atakowane podatkiem.

Wnioski są ze sobą spójne np. ceny efektywne PV, LFW, MFW są niższe niż cena BASE , co jest zgodne z poprzednim stwierdzeniem o „opłacalności” OZE.

1.10. Elementy dyskusyjne

Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej.

Pełna weryfikowalność pracy

W pracy brakuje kodu VBA. Rozumowanie, metodę opisaną w pracy można powtórzyć, ale brakuje danych o elektrowniach i elektrociepłowniach.

Wyniki (uzyskana struktura rynku i ceny) nie budzą moich szczególnych wątpliwości co do prawdziwości rozumianej jako wysokie prawdopodobieństwo zaistnienia ze względu na konstrukcję systemu monetarnego pieniądza dłużnego oraz sposób generowania podatków i PKB.

1.11. Ocena dorobku w odniesieniu do starych i nowych dyscyplin

Według „Konstytucji dla nauki”¹ zależność między nową klasyfikacją dziedzin i dyscyplin a wcześniej obowiązującym wykazem i systematyką OECD jest następująca

Nowe dziedziny i dyscypliny	Zakres nowych dyscyplin w odniesieniu do dotychczasowych dyscyplin (oraz dziedzin, w których nie wyodrębniono dyscyplin)	Dyscypliny w klasyfikacji OECD
inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka	energetyka; górnictwo i geologia inżynierska; inżynieria środowiska; ochrona i kształtowanie środowiska (dziedzina nauk rolniczych); biotechnologia (dziedzina nauk technicznych; w zakresie biotechnologii środowiskowej)	inżyniera środowiska, biotechnologia środowiskowa

Ocenę dorobku w odniesieniu do starych i nowych dyscyplin przeprowadzono w odniesieniu do następujących aktów prawnych:

- DZIENNIK USTAW RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ Warszawa, dnia 25 września 2018 r. Poz. 1818 ROZPORZĄDZENIE MINISTRA NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO¹) z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych
- USTAWA z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki

Dorobek własny autorki obejmuje 3 pozycje.

- A. Sobotka, P. Sobotka i K. Badyda, „*Koncepcja budowy modelu prognostycznego cen energii elektrycznej na rynku polskim*,” Rynek Energii, nr 1(140), 2019.
- B. A. Sobotka, M. Rowicki, K. Badyda i P. Sobotka, „*Regulatory aspects and electricity production analysis of an offshore*,” Renewable Energy, nr 170, 2021.
- C. A. Sobotka, K. Chmielewski, M. Rowicki, J. Dudzińska, P. Janiak i K. Badyda, „*Analysis of offshore wind farm located on Baltic Sea*,” Warszawa, 2019.

Dorobek spełnia warunki podane w ustawie o stopniach naukowych.

¹ <https://konstytucjadlanauki.gov.pl/content/uploads/2018/09/nowy-podzia-dyscyplin-tabela.pdf>

1.12. Wyróżnienie rozprawy

Proponuję wyróżnienie pracy ze względu na potencjał praktyczny i znaczenie społeczne (praca stanowi „reflektor” pozwalający „oświetlić” przyszłość), skuteczne rozwiązanie problemu modelowania cen w przyszłości, ciekawą strukturę pracy i czytelność, dobrą organizację, rzetelność danych i analiz, oraz precyzyjne wnioski.

1.13. Pytania do doktorantki

Pytanie 1

Koniecznością jest także digitalizacja procesów zarządzania popytem. DSR jest jednym z kluczowych sposobów regulacji systemu energetycznego poprzez przesunięcie szczytów zapotrzebowania w ciągu doby czy sezonowych. W tym kontekście, jak i ze względu na rozwój odnawialnych źródeł energii, zwiększanie elastyczności w sektorze energetyki jest i pozostaje niezwykle istotne. *Smart grids* i *smart meters* stanowią rozwiązanie, aby lepiej planować rozkład energii elektrycznej i zarządzać zarówno popytem jak i podażą energii. Digitalizacja sieci i liczników będzie możliwa przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych. W tym miejscu również ważną rolę będzie grała *Big Data* oraz procesy *Data Mining*.

Jak doktorantka wyobraża sobie użycie sieci neuronowych do zarządzania popytem ?

Pytanie 2

Str. 40-41:

należy stwierdzić, że wykorzystanie modeli ilościowych w celu prognozowania cen energii elektrycznej wskazuje niską wydajność.

Czy to nie jest sprzeczne z tym, że można przewidywać krótkoterminowo tj. z tekstem ze str. 37 ?

Prognozowanie krótkoterminowe cen energii elektrycznej obejmuje okres od kilku minut czy godzin do kilku dni. Oczekiwany jest wysoki stopień szczegółowości takich modeli, ponieważ dotyczą bardzo bliskiej przyszłości. Prognozy z tej grupy cechuje najniższy stopień niepewności ze względu na możliwości bardziej precyzyjnego prognozowania. Przykładowo, dla jednostki wytwarzania prognozowanie krótkoterminowe jest powiązane z produkcją poniżej kosztu krańcowego produkcji, czyli de facto codziennym podejmowaniem decyzji, ile produkować danego dnia. Natomiast traderzy na rynku energii elektrycznej opracowują swoje bieżące strategie handlowe również z wykorzystaniem prognoz krótkoterminowych, które są istotne zarówno dla rynku giełdowego, jak i bilansującego.

Obserwacja TGE pod kątem prognozy krótkoterminowej pokazuje, że model TGE jest dość dokładny. Proszę o komentarz.

Pytanie 3

str. 56

$$P_{X_{ij}} = \widetilde{CF}_{X_{ij}} * M_{X_j} \quad (6.8)$$

Jak na etapie prognozy wyznaczyć $\widetilde{CF}_{X_{ij}}$ – współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej technologii X dla zakładanego roku klimatycznego tj. przyszłego ?

Pytanie 4

Str. 61

Ostatecznie za pomocą przeprowadzonych operacji opierających się o opisane powyżej równania model sprawdza w i -tej godzinie j -tego roku analizy ilość potrzebnej energii elektrycznej do pokrycia zapotrzebowania KSE Z_{KSEij} , iteracyjnie zliczając produkcję poszczególnych źródeł. Opisany sposób pozwala również na uzyskanie informacji

Nie zauważyłem, aby w równaniach (6.1) – (6.34) występowała iteracja, a jest sekwencja warunków *if... then... else*.

Proszę o komentarz, dotyczący iteracji.

Pytanie 5

na rynku hurtowym. Narzędzie umożliwia także kalkulację dodatkowych wyników, takich jak: ceny efektywne energii elektrycznej poszczególnych grup źródeł, czasy wykorzystania mocy zainstalowanej technologii oraz emisje CO₂ generowane przez JWCD. Kalkulację powyżej wymienionych zmiennych można opisać za pomocą następujących równań:

$$C_{eej} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{KSEij} C_{eeij}}{\sum_{i=1}^n P_{KSEij}} \quad (6.35)$$

C_{eej} – prognozowana cena energii elektrycznej na rynku hurtowym RDN w roku j [zł/MWh],

Dlaczego cena RDN z równania (6.35) jest uśrednioną ceną (wartością oczekiwaną) dla mocy w KSE uporządkowanych czasowo od początku roku ?

Czy nie można wykorzystać zdania „Cena wyznaczona przez jednostkę domykającą bilans określa cenę giełdową dla pozostałych zakontraktowanych wytwórców.” (str. 51) oraz znanych informacji o prawdopodobnej jutrzejszej strukturze rynku, pogodzie itd. do określenia ceny RDN ?

Proszę o komentarz.

Pytanie 6

Jak zdaniem doktorantki ma się pakiet *Fit for 55* do informacji:

Business

BlackRock names Aramco boss to board

By Natalie Grover

July 17, 2023 5:03 PM EDT · Updated 3 hours ago



President and CEO of Aramco Amin Nasser speaks at China Development Forum 2023, in Beijing, China, on March 26, 2023. REUTERS/Jing Xu/File Photo

2:07 AM · 18 lip 2023 · 84,9 tys. Wyświetlenia

Rys. 1 Informacja sugerująca zmiany w polityce ESG

Innymi słowy czy istnieje technologia, która może zastąpić paliwa kopalne w skali światowej w terminie do 2035 r. nie powodując dużych perturbacji gospodarczych i społecznych ?

Pytanie 7

Zgodnie z teorią gier, czasem lepiej jest zadać sobie pytanie niż go nie zadać. W kontekście scenariuszy :

jak doktorantka ocenia globalne szanse wprowadzenia „*Digital Carbon footprint*” (indywidualnego systemu punktowego emisji CO₂ dla każdego człowieka) i klimatycznego cyfrowego getta podobnego do tego, jakie obecnie jest w Chinach („system punktów społecznych”) ?



- While transport and buildings are the major drivers for emissions in cities, the share of individual emissions is significant.
- Personal carbon allowance programs have had limited success due to a lack of awareness and fair mechanism for tracking emissions.
- Yet there have been major developments in recent years that could help realise "My Carbon" initiatives.

Rys. 2 Propozycja prywatnej organizacji WEF wprowadzenia indywidualnego podatku od zużycia CO₂, Źródło : <https://www.weforum.org/agenda/2022/09/my-carbon-an-approach-for-inclusive-and-sustainable-cities/>

Jak się to ma do dyskusji wśród geologów pokazujących wyższe temperatury i stężenia CO₂ w paleozoiku niż teraz? Np. poglądy prof. Jaworskiego i interpretacja danych w artykule Hansena (https://pubs.giss.nasa.gov/docs/2008/2008_Hansen_ha00410c.pdf).

Pytanie 8

Str. 95-98

Założmy, że mamy 2018 r. Znane są ścieżki cenowe paliw i emisji. Czy doktorantka porównywała znane wówczas ścieżki cenowe z rzeczywistymi cenami, które nastąpiły po 2018 r. ? Co powoduje niedokładność prognozy ?

Pytanie 9

10.1. Ceny energii elektrycznej BASE

Podstawową funkcją celu prowadzonych analiz była średnia cena energii elektrycznej na rynku spot w kolejnych latach analizy. By ją wyznaczyć należało obliczyć ceny w każdej godzinie. Średnia roczna cena energii elektrycznej została skalkulowana jako średnia ważona łączną produkcją w KSE w poszczególnych godzinach. Wyniki dla wybranych czterech scenariuszy

Jak wyznaczono profile obciążenia w kolejnych dobach, w przyszłych latach ?

Pytanie 10

Str. 141.

WK-S, a co się stanie jeśli sprawność bloków wzrośnie ? Zakładając, że prawdą jest, że bloki WK-S pracują 300 h w roku, to po co je utrzymywać?

Pytanie 11

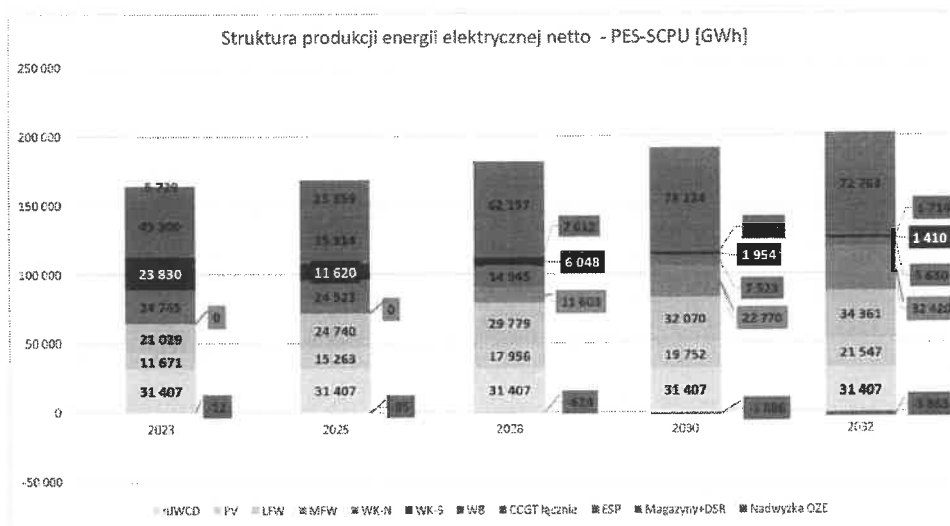
s. 142 WB i WK.

Co ze stabilnością systemu elektroenergetycznego ? Wadą modelu jest to, że nie uwzględnia potrzeby stabilnej pracy elektrowni dla gospodarki. Jest jeszcze jeden aspekt. Jeżeli WK, WB zostaną zamknięte, to gospodarka polska, podobnie jak niemiecka, będzie zależna od dostaw z zewnątrz, które mogą ją zatrzymać albo gospodarka zacznie płacić pięć razy więcej, jak było w przypadku gazu. Ponadto złoża węgla stracą na wartości i mogą być poddane spekulacji na rynku międzynarodowym oraz odprowadzone do utraty ich wartości (nieodtworzalnej).

Pytanie 12

Popatrzmy na scenariusz np. OPT-SCPU, PES – SCPU (rys. 44) 2025-28.

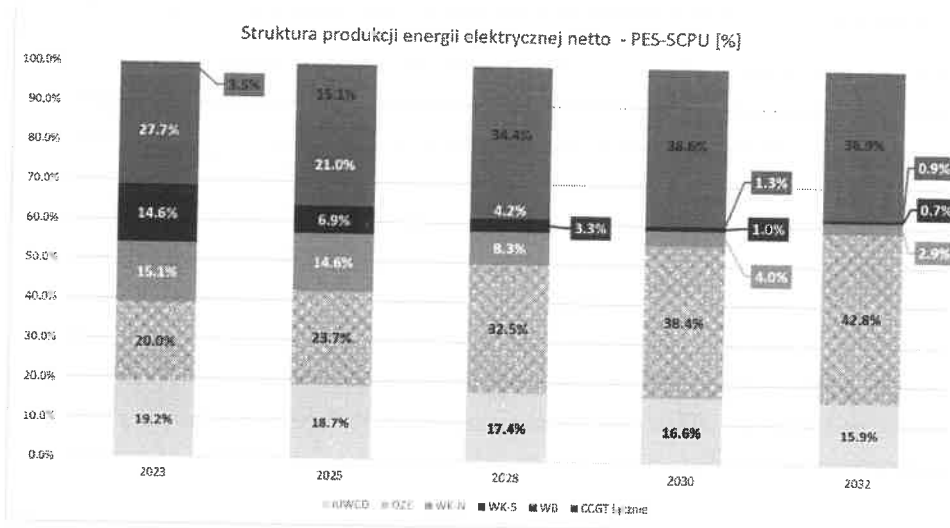
Czy wtedy będą strajki w Bełchatowie i Turowie ?



Rysunek 44. Wyniki modelowania dla wybranych lat manulecji 2023-32. Struktura wytwarzania energii elektrycznej netto w KSE w wariantach PES-SCPU [GWh]. Opracowanie własne

Rys. 3 Źródło : rozprawa doktorska

Nie wydaje mi się, że zmiany na rynku będą tak gwałtowne, jak sugeruje praca (np. rys. 48).



Rysunek 48. Wyniki modelowania dla wybranych lat zgodnie z 2023-32. Struktura wytworzenia energii elektrycznej netto w KSE w wariantach PES-SCPU [%]. Opracowanie własne.

Rys. 4 Źródło : rozprawa doktorska

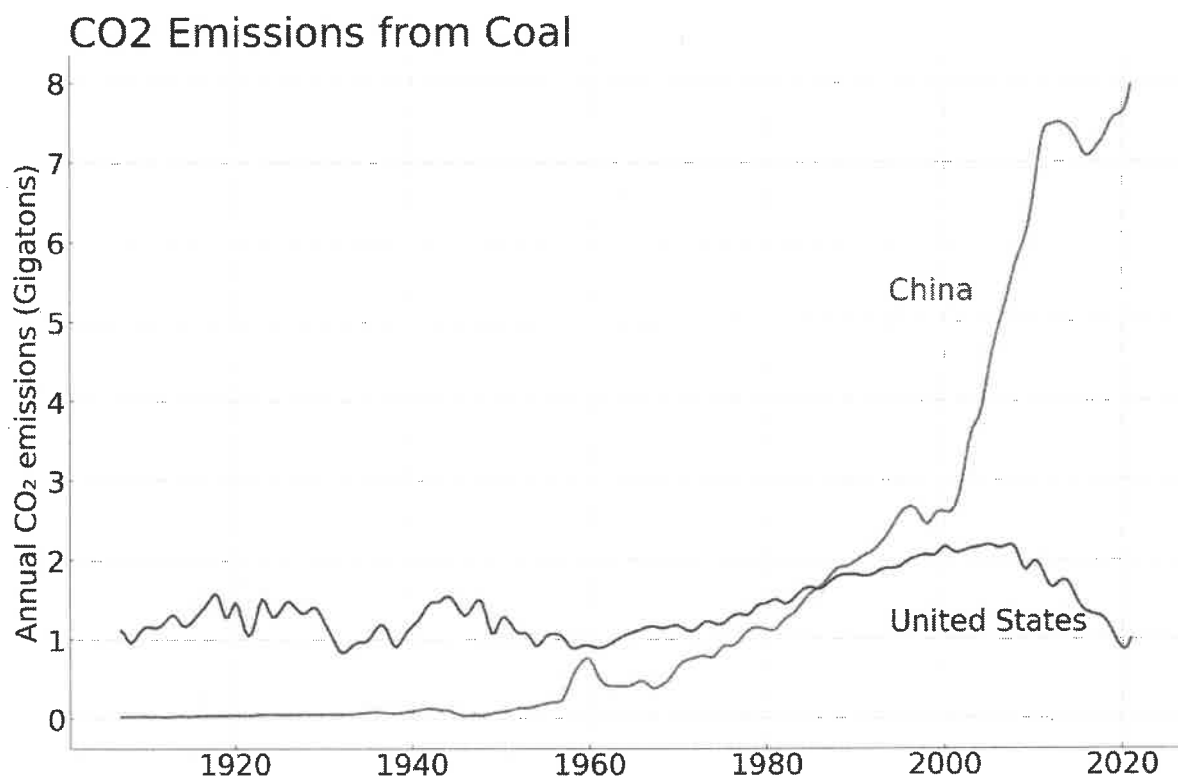
Aby to zaszło, to muszą istnieć wielkoskalowe akumulatory energii.

Komentarz 13. Redukcja udziału węgla

Generalna tendencja polityki w części świata polega na wypieraniu węgla. Z drugiej strony Autorka pośrednio (str. 144) przyznaje, że węgiel stabilizuje ceny (odchylenie „70%”)

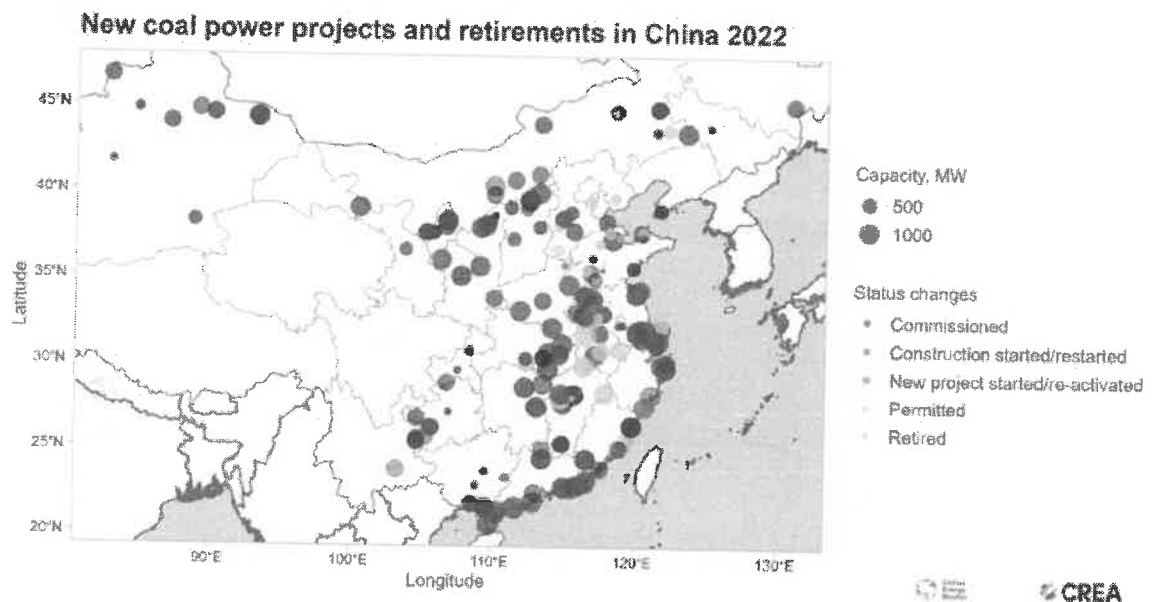
efektywne CCGT są wyższe od ceny BASE w całym horyzoncie analizy. W 2023 r. różnica ceny efektywnej CCGT kog. w stosunku do ceny BASE wynosi aż 70%, w 2024 r. – ok 35%, zaś w latach 2025-29 - średnio 5%. W ostatnich trzech latach analizy różnica ceny efektywnej

Chińska polityka wskazuje obecnie na rosnący udział węgla do 2030 r. Chiński rząd zapowiedział, że dopiero po 2030 r. będzie się starał do 20260 r. obniżyć zależność od węgla do zera. W związku z tym Chiny co tydzień oddają do użytku dwie elektrownie węglowe. Jaki sens ma niszczenie własnych elektrowni węglowych i opieranie się o chimeryczne OZE oraz import gazu ?



Rys. 5 Porównanie emisji CO₂ z gospodarki chińskiej i amerykańskiej

China permits two new coal power plants per week in 2022



Rys. 6. Nowe projektu węglowe w Chinach

Komentarz 14. Kierunek dostaw gazu

Praca domyślnie zakłada, że kierunek dostaw gazu nie będzie ze wschodu tj. ceny będą kilka razy wyższe. Myślę, że podobne scenariusze mieli Niemcy w 2018 r. podczas przemówienia prezydenta Trumpa w ONZ.



Rys. 7 Reakcja niemieckich polityków na informację, że istnieje ryzyko, gdy dany kraj nie ma własnych złóż

Chciałbym zobaczyć dzisiaj, czy się dalej śmieją. Na szczęście doktorantka zreflektowała się na str. 168.

emisji CO₂. Niedobór mocy dyspozycyjnych źródeł sterowalnych może być czynnikiem zwiększającym ceny energii elektrycznej, ale też ryzyko niezbilansowania systemu czy *blackout'u*. Z tego też powodu wydaje się, że scenariusz pesymistyczny wycofywania mocy bloków węglowych przedstawiony w PRSP 2023-32 [21] (w połączeniu z realiami prowadzenia nowych inwestycji gazowych i znanych planów), co najmniej przejściowo w latach 2025-2027, nie jest możliwy do wykonania w KSE. Konieczne będzie dłuższe utrzymanie części mocy JWCD węglowych lub zapewnienie mocy dyspozycyjnych innych źródeł. To drugie może być niewykonalne z prozaicznych powodów długości czasu realizacji inwestycji.

2. Kryteria edytorskie oraz uwagi do zawartości merytorycznej

Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Tekst jest bardzo „czysty” pod względem błędów edytorskich. Prawie ich nie ma.

Str.	Jest	Powinno być/komentarz/pytanie		
34	Koniecznością jest także digitalizacja procesów zarządzania popytem. DSR jest jed z kluczowych sposobów regulacji systemu energetycznego poprzez przesunięcie szczyt zapotrzebowania w ciągu doby czy sezonowych. W tym kontekście, jak i ze względu na ro	Brak przecinka przed „czy”		
36	Według [10] tematyką prognozowania w elektroenergetyce jako pierwszy w Polsce zajmował się K. Kopecki. Jest to także autor pierwszej krajowej publikacji naukowej w tej dziedzinie [24], która ukazała się w 1957 r. Wśród innych autorów pierwszych badań w tym zakresie znajdują się: I. Dobrzańska. [25]. [26], J. Małko [27] [28] [7] [29], Z. Kozik [30] [31] oraz	Małko		
51	dostępność mocy wytwórczych (po stronie podaży) oraz poziom zapotrzebowania na energię (po stronie popytu).	Niepotrzebne użycie słowa „poziom”		
56	$P_{Xij}^{max} = M_{Xij} * 1[h] \quad (6.7)$ <p>gdzie:</p> <p>M_{Xj} – dostępna moc zainstalowana technologii X w i-tej godzinie j-tego roku [MW].</p>	M_{Xij}		
61	na rynku hurtowym. Narzędzie umożliwia także kalkulację dodatkowych wyników, takich jak: ceny efektywne energii elektrycznej poszczególnych grup źródeł, czasy wykorzystania mocy	Brak wcześniejszej definicji pojęcia „cena efektywna”. Pojęcie jest zdefiniowane wzorem (6.37).		
66	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Ceny węgla brunatnego</td> <td style="width: 50%;">Wydawnictwa ARE</td> </tr> </table>	Ceny węgla brunatnego	Wydawnictwa ARE	Brak rozwinięcia skrótu ARE
Ceny węgla brunatnego	Wydawnictwa ARE			
69	<ul style="list-style-type: none"> • rewizja systemu EU ETS – oznacza: <ul style="list-style-type: none"> ○ Zwiększenie tempa redukcji uprawnień do emisji CO₂ w systemie, 	„Z”		
76	widoczna zmiana wystąpiła dla mocy zainstalowanych w elektrowniach PV, w propozycji dokumentu przewiduje się w 2030 r. wzrost mocy około pięciokrotnie, a w 2040 r. - ponad czterokrotnie, w stosunku do obowiązujących dokumentów. Dla lądowych farm wiatrowych	Niejasne czasowo zdanie. 5-cio i 4-krotnie ?		
79	dostaw 2021-2027. Ceny aukcyjna aukcji głównych rynku RM w ostatnich dwóch latach znacząco wrosły – prawie dwukrotnie w stosunku do średniej z poprzednich pięciu lat – osiągając poziom powyżej 400 zł/kWh/rok.	wzrosły		
92	Europie zimą 2020/2021, wysokie zużycie zasobów w magazynach w Europie, duży popyt	wyczerpywanie		
Np. 132		Za dużo miejsc po kropce		
140, 141 i	omawianych technologii osiąga wartość jedynie 1484 h. Ograniczenie wykorzystania technologii WK-N w KSE wynika z kilku zjawisk. Podstawowym czynnikiem jest spadek kosztów zmiennych wytwarzania jednostek CCGT – są one niższe od kosztów WK-N już od	To nie są zjawiska		

dalsze		
160	Profil produkcji oraz moc zainstalowaną pozostałych nJWCD _{poz} (w tym elektrownie nJWCD ciepne oraz elektrownie wodne przepływowe) niezmiennie w całym okresie analizy we wszystkich rozpatrywanych scenariuszach. W związku z tym wielkość produkcji tych źródeł	„a” i brakuje „są”
177	[67] A. Sobotka, M. Rowicki, K. Badyda i P. Sobotka, „Regulatory aspects and electricity production analysis of an offshore,” <i>Renewable Energy</i> , nr 170, 2021.	Brak „e”
180	[91] Narodowy Bank Polski, „Oficjalna strona internetowa Narodowego Banku Polskiego.” [Online]. Available: https://nbp.pl/statystyka-i-sprawozdawczosc/	„storna”

3. Podsumowanie i wniossek

Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej

Praca może stanowić lekturę dla kadry zarządzającej grupami energetycznymi w Polsce ze względu na syntetyczne przedstawienie przeszłości, stanu obecnego oraz wektorów rozwoju prawa, ekonomii oraz techniki w przyszłości. Praca w jednym miejscu zbiera znane dokumenty prawne, możliwości produkcyjne elektrowni i elektrociepłowni na polskim rynku energii, co umożliwi relatywnie łatwe porównywanie ryzyk podczas podejmowania decyzji o sposobie wytwarzania energii elektrycznej i ciepła.

Spełnienie warunków określonych w artykule 13, ustęp 1, Ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789, z późniejszymi zmianami):

Doktorantka

- *zaprezentowała „ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej.” (art. 187),*
- *„posiada w dorobku co najmniej: a) 1 artykuł naukowy opublikowany w czasopiśmie naukowym lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowej,” (art. 186), oraz*
- *pokazała „oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej”.*

Na podstawie pracy można odtworzyć tok rozumowania rozwiązania zagadnienia naukowego konstrukcji modelu rozwoju rynku energii elektrycznej w Polsce.

W związku z powyższym rozprawa spełnia warunki zapisane w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dział V Stopnie i tytuł w systemie szkolnictwa wyższego i nauki, rozdział 2. i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Lichota - Janusz

dr hab. inż. Janusz Lichota, prof. Ucz.

