

Częstochowa, dn. 27.08.2022 r.

Dr hab. inż. Janusz Sowiński, profesor uczelni

Katedra Elektroenergetyki
Wydział Elektryczny
Politechnika Częstochowska
Al. Armii Krajowej 17
42-200 Częstochowa
Tel. 34 - 32 50 887, kom: 726 660 119
e-mail: jansow@el.pcz.czest.pl

Adres prywatny:

Ul. Kilińskiego 148 m.2
42-218 Częstochowa
Tel. 34 – 36 32 643, kom: 693 610 559

**Recenzja rozprawy doktorskiej
w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie górnictwo i geologia inżynierska
(obecnie dyscyplina: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka)**

Pana mgra inż. Marcina Malca

*Optymalizacja pozyskania węgla kamiennego przez energetykę zawodową z uwzględnieniem
wybranych regulacji środowiskowych*

Promotor pracy: Prof. dr hab. inż. Jacek Kamiński

Promotor pomocniczy: dr inż. Przemysław Kaszyński

1. Podstawa formalna recenzji

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej, wykonanej w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie pod kierunkiem Prof. dra hab. inż. Jacka Kamińskiego i promotora pomocniczego dr. inż. Przemysława Kaszyńskiego, jest pismo o symbolu AO-520-13/18 Zastępcy Dyrektora Instytutu ds. Ogólnych Dr. hab. inż. Michała Kopacza, prof. IGSMiE PAN, informującego, że w zawiązku z Uchwałą nr 6/II/2022 Rady Naukowej IGSMiE PAN w Krakowie z dnia 07.07.2022 r. powołano mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgra inż. Marcina Malca w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie górnictwo i geologia inżynierska, obecnie dyscyplina inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Tytuł rozprawy doktorskiej: *Optymalizacja pozyskania węgla kamiennego przez energetykę zawodową z uwzględnieniem wybranych regulacji środowiskowych*.

2. Zagadnienie naukowe i jego sformułowanie

Ogólna charakterystyka rozprawy

Podstawowe zagadnienia rozprawy wpisują się w dziedzinę nauk technicznych, w **dyscyplinę górnictwo i geologia inżynierska, obecnie dyscyplina: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka** i dotyczą modelowania systemów paliwowo- energetycznych.

Rozprawa doktorska w formie maszynopisu obejmuje 189 stron tekstu merytorycznego (w tym 2 strony *Spisu treści*, 2 strony *Wykaz skrótów*, 4 strony *Wprowadzenia*, 10 stron *Bibliografii*, 2 strony *Spisu rysunków*, 2 strony *Spisu tabel*, oraz 4 strony *Streszczenia*. *Bibliografia* obejmuje 169 pozycji.

Treść merytoryczna obejmuje 5 rozdziałów.

Charakterystyka zagadnienia naukowego

Modelowanie systemów paliwowo-energetycznych jest zagadnieniem naukowym złożonym zarówno od strony tworzenia modeli i odpowiedniego wykorzystania narzędzi badawczych, jak i uwzględnienia oddziaływania otoczenia gospodarczego i jego realiów, głównie niepewności dotyczącej kształtowania się procesów społeczno-gospodarczych, rozwoju technologii, sytuacji kryzysowych itp. Funkcjonowanie systemów w warunkach niepewności nie jest sytuacją nową, ale obecnie jest to nierozłączny element, który musi być uwzględniany w planowaniu ich rozwoju. Nie można modelować systemów paliwowo-energetycznych w oderwaniu od wymogów ekonomicznych oraz ekologicznych. Podejmując temat rozprawy doktorskiej Autor w pełni zdawał sobie sprawę z tych wymogów, osadzając model w realiach ekonomicznych i uwzględniając wymagania ekologiczne.

Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku (PEP2040) z 2 lutego 2021 r. to strategia transformacji energetycznej dla Polski, realizująca również wymagania UE w dążeniu do gospodarki niskoemisyjnej poprzez rozwój OZE, poprawę efektywności energetycznej oraz poprawę jakości powietrza. Zakłada się, że w 2040 r. ponad połowę mocy zainstalowanej będą stanowić źródła zero emisyjne (morska energetyka wiatrowa i elektrownie jądrowe), a równolegle do wielkoskalowej energetyki rozwijać się będzie energetyka rozproszona. Sprawiedliwa transformacja musi uwzględniać postulaty sektora węglowego, ponoszącego niewspółmierne koszty transformacji. Sektor paliwowo-energetyczny działa więc w złożonym środowisku, toteż prace badawcze zmierzające do ograniczania kosztów i zmniejszania szkodliwego oddziaływania energetyki na środowisko są bardzo cennymi działaniami.

W modelowaniu systemów paliwowo-energetycznych można wykorzystać programowanie matematyczne, umożliwiające budowę modeli rozwiązujących problemy optymalizacji. Wkraczamy w dziedzinę teorii podejmowania decyzji, a zawężając temat w badania operacyjne, oferujące rozwiązywanie zadań programowania liniowego (podstawową metodą rozwiązywania jest metoda simplex) i nieliniowego. Problem dostaw węgla, spełniającego szereg wymagań kryterialnych od wytwórców (z uwzględnieniem importu) do odbiorców (elektrownie zawodowe) to typowe zagadnienie transportowe. Upraszczając szereg zależności do postaci liniowej, zagadnienie można sprowadzić do modelu liniowego, w którym funkcja celu i wszystkie ograniczenia mają charakter liniowy. Rozwiązanie problemu optymalizacji liniowej z wieloma zmiennymi decyzyjnymi i dużą liczbą ograniczeń jest zagadnieniem trudnym.

Szczegółowo omówione w dysertacji mechanizmy funkcjonowania rynku węgla i powyższe przesłanki wskazują na spore wyzwania stojące przed decydentami zarządzającymi procesami w skali kraju lub w dużej strukturze gospodarczej, którzy oczekują od naukowców nowoczesnych narzędzi analizy na rynku węgla. Właściwie zbudowany rynek węgla wpływa na bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej i ciepła do odbiorców.

O istotności i aktualności rozwiązywanego w dysertacji zagadnienia naukowego świadczą również przytoczone liczne publikacje krajowe i zagraniczne na ten temat.

Autor, inspirowany przez Promotorów, podjął bardzo aktualne i istotne zagadnienie naukowe, rozwiązanie którego może być wykorzystane z jednej strony w pracach

dotyczących zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego, a z drugiej poprawy efektywności dostaw paliw do elektrowni zawodowych.

Tytuł rozprawy

Doceniając znaczenie i aktualność podjętych badań nie sposób odnieść się do tytułu rozprawy. **Generalnie tytuł rozprawy oddaje treści w niej prezentowane.** Zamierzeniem Autora jest opracowanie nowatorskiego podejścia do zagadnienia zapewnienia dostaw węgla kamiennego do odbiorców, rozumianych jako elektrownie zawodowe, z uwzględnieniem kosztów związanych z ochroną środowiska. Wybrane zagadnienia w tym zakresie sprowadzają się do oceny kosztów zakupu uprawnień do emisji dwutlenku węgla oraz kosztów związanych z użytkowaniem środowiska, nakładanych na przedsiębiorstwa energetyki zawodowej.

Użycie słowa „optymalizacja” w tytule dysertacji zawsze wzbudza dyskusję, bo nie jest sprecyzowane, jak skonstruowana jest funkcja celu, czy jest to minimalizacja, czy też maksymalizacja, jakie wielkości są zmiennymi decyzyjnymi itp.

Mając jednak na uwadze przedstawione w dysertacji badania na modelu paliwowym **można uznać sformułowanie tytułu rozprawy za uzasadnione.**

3. Hipoteza rozprawy i jej udowodnienie

Cel pracy

Cel główny pracy oraz cele cząstkowe i hipotezę badawczą sformułowano we *Wprowadzeniu*. Autor przedstawia cel główny pracy, którym jest (cyt.): „...ilościowa analiza potencjału redukcji kosztów związanych z pozyskaniem i wykorzystaniem węgla kamiennego w elektrowniach zawodowych, w rezultacie uwzględnienia w procesie planowania dostaw tego paliwa, kosztów ochrony środowiska oraz uprawnień do emisji CO₂.” Dotychczasowe modele systemu paliwowego nie uwzględniały kosztów ochrony środowiska oraz uprawnień do emisji CO₂, ponieważ te koszty powstawały w elektrowniach i elektrociepłowniach, a dodatkowo zależały od sprawności instalacji ochronnych zainstalowanych u wytwórców energii elektrycznej i ciepła. Koszty ochrony środowiska oraz uprawnień do emisji CO₂ stanowią część kosztów wytwarzania energii elektrycznej lub ciepła, co w efekcie wpływa na cenę energii elektrycznej na rynku hurtowym oraz na cenę ciepła.

Sformułowano również trzy cele cząstkowe (cyt.):

„• *Identyfikacja czynników wpływających na wymagania jednostek wytwórczych względem parametrów paliwa wykorzystywanego do produkcji energii elektrycznej i ich wpływu na emisję substancji szkodliwych do środowiska;*

• *Opracowanie aparatu badawczego (modelu matematycznego) do ilościowej oceny potencjału redukcji kosztów związanych z pozyskaniem i wykorzystaniem węgla kamiennego w elektrowniach zawodowych, w rezultacie uwzględnienia w procesie planowania dostaw tego paliwa, kosztów ochrony środowiska oraz uprawnień do emisji CO₂;*

• *Ocena ilościowa wpływu uwzględnienia kosztów ochrony środowiska oraz uprawnień do emisji CO₂ w procesie planowania dostaw węgla, na redukcję kosztów związanych z pozyskaniem i zużyciem węgla w elektrowniach zawodowych przy zastosowaniu opracowanego aparatu badawczego”.*

Pierwszy cel cząstkowy wymaga komentarza, bo wydaje się, że chodzi tu o „ identyfikację wpływu parametrów paliwa na emisję szkodliwych substancji do środowiska”.

Drugi cel cząstkowy dotyczy budowy modelu matematycznego i został w pełni zrealizowany, podobnie jak cel trzeci, dotyczący oceny ilościowej wpływu uwzględniania w procesie optymalizacji kosztów ochrony środowiska oraz uprawnień do emisji CO₂ na koszt całkowity. Potwierdzają to zrealizowane badania.

Hipoteza badawcza i jej udowodnienie

Hipoteza badawcza rozprawy brzmi (cyt.):

„Uwzględnienie kosztów ochrony środowiska oraz uprawnień do emisji CO₂ na etapie planowania dostaw węgla kamiennego prowadzi do redukcji kosztów związanych z pozyskaniem i wykorzystaniem tego paliwa w elektrowniach zawodowych.”

Hipoteza badawcza wydaje się Recenzentowi intuicyjnie prawdziwa, bo wprowadzając do funkcji celu dodatkowe składniki, czyli koszty ochrony środowiska oraz uprawnień do emisji CO₂ oczekuje się obniżenia kosztów całkowitych, biorąc pod uwagę różnice w cenie (a zarazem różnice w koszcie dostawy) różnych typów węgla i porównując np. z ceną (lub kosztem) uprawnień do emisji CO₂. Mimo tych wątpliwości Recenzent zgadza się, że hipotezę badawczą trzeba sprawdzić i potwierdzić wynikami badań.

Recenzent analizując przedstawione w dysertacji rezultaty wariantowych obliczeń uznaje, że hipoteza została wykazana.

Ogólnie można stwierdzić, że założony cel pracy został zrealizowany, a przedstawione rezultaty analiz i obliczeń wskazują, że sformułowana w pracy hipoteza została udowodniona.

4. Przegląd stanu wiedzy, charakterystyka doboru i wykorzystania źródeł

Bibliografia obejmuje 169 pozycji. 94 pozycje literaturowe to angielskojęzyczne teksty.

Z ostatnich siedmiu lat (od 2015 roku) w spisie *Bibliografii* znajdują się 85 pozycje, więc udział aktualnych pozycji jest znaczący.

Autor w rozdz. 1 *Stan badań w obszarze optymalizacji pozyskiwania węgla kamiennego w sektorze paliwowo-energetycznym* szczegółowo omawia i dokonuje przeglądu publikacji zagranicznych i krajowych w tym temacie. Wyróżniono cztery grupy zagadnień: pierwsza to optymalizacja pracy kopalni, druga to problem optymalizacyjny przedstawiany z punktu widzenia pośrednika handlu węglem, trzecia grupa to zagadnienia transportowe a ostatnia to rozważania z punktu widzenia przedsiębiorstw energetycznych – odbiorców węgla.

W publikacjach zidentyfikowano i omówiono szereg metod obliczeniowych, w tym metody programowania liniowego LP, programowania całkowitoliczbowego IP, programowania mieszanego całkowitoliczbowego liniowego MILP, predykcyjnego modelu stochastycznego SMPC, optymalizacji odpornościowej RO, programowania mieszanego całkowitoliczbowego nieliniowego MINLP czy też programowania kwadratowego QP oraz optymalizacji wielokryterialnej.

Autor dysertacji przytacza również publikacje z zakresu parametrów węgla energetycznych, sposobu ich mieszania do procesu spalania w celu zmniejszenia emisji szkodliwych zanieczyszczeń.

Przegląd literatury potwierdza, że znaczące osiągnięcia w modelowaniu systemów paliwowo-energetycznych posiadają m.in. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk oraz Akademia Górniczo-Hutnicza.

Generalnie można stwierdzić, że każde z zagadnień naukowych dysertacji jest szczegółowo udokumentowane publikacjami zarówno krajowymi, jak i zagranicznymi.

W konkluzji należy stwierdzić, że zaproponowane badania wpisują się w trend badań prowadzonych w krajowym i światowym górnictwie i energetyce. Analiza źródłowa jest przeprowadzona poprawnie.

5. Oryginalność rozwiązania zagadnienia naukowego

Przedstawione w dysertacji zagadnienia minimalizacji kosztu dostaw węgla energetycznego do elektrowni zawodowych z uwzględnieniem kosztu ochrony środowiska i kosztu opłat za uprawnienia do emisji CO₂ są kontynuacją badań prowadzonych w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie.

Autor przedstawił rozprawę, która ma charakter studium analitycznego na podstawie złożonych obliczeń z wykorzystaniem danych statystycznych. Ku takiemu stwierdzeniu skłaniają następujące przesłanki: sformułowano problem badawczy (zbadanie wpływu uwzględnienia kosztu ochrony środowiska i kosztu opłat za uprawnienia do emisji CO₂ na koszt całkowity dostaw dla elektrowni zawodowych), właściwie wybrano metodę rozwiązania wykorzystując zaawansowane oprogramowanie (optymalizacja z wykorzystaniem oprogramowania GAMS) i samodzielnie opracowując model matematyczny w nim zastosowany (analiza problemu i zdefiniowanie celu budowy modelu, opracowanie modelu konceptualnego, opracowanie scenariuszy badawczych, opracowanie modelu matematycznego i jego implementacja komputerowa, opracowanie założeń i danych wejściowych do modelu, kalibracja modelu, walidacja i analiza wrażliwości, obliczenia modelowe) oraz dokonano analitycznej oceny uzyskanych wyników.

Wykorzystanie baz danych, charakteryzujących wytwórców, importerów i odbiorców, danych energetycznych i technicznych, opracowanie skomplikowanego modelu matematycznego, wykonanie wariantowych obliczeń optymalizacyjnych wskazuje na ogrom pracy badawczej zrealizowanej w ramach dysertacji.

Konkluzja: opracowany w dysertacji autorski model minimalizacji kosztu dostaw węgla energetycznego do elektrowni zawodowych z uwzględnieniem kosztu ochrony środowiska i kosztu opłat za uprawnienia do emisji CO₂ to element nowości.

6. Ocena dorobku przedstawionego w rozprawie przez Autora w dyscyplinie naukowej górnictwo i geologia inżynierska (obecnie dyscyplina: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka)

Autor wykazał bardzo dobrą znajomością zarówno podstaw teoretycznych, jak i realiów funkcjonowania górnictwa i energetyki, a w szczególności zagadnień związanych:

- z energetyką i górnictwem, w tym uwarunkowaniami funkcjonowania elektrowni, regulacjami dotyczącymi krajowych kopalń, polityką klimatyczno-energetyczną i polityką energetyczną Polski,
- z modelowaniem matematycznym sektora paliwowo-energetycznego, ze szczególnym uwzględnieniem regulacji środowiskowych, podaży surowców oraz optymalizacji dostaw paliw,
- z metodami badań operacyjnych w energetyce.

W rozprawie w spisie *Bibliografii* są cztery pozycje literaturowe autorstwa mgr inż. Marcina Malca, choć jest on autorem i współautorem 2 monografii, 20 publikacji w recenzowanych czasopismach o zasięgu krajowym i międzynarodowym oraz 4 referatów na konferencjach naukowych, w większości bezpośrednio związanych z tematyką rozprawy. Do najważniejszych publikacji doktoranta można zaliczyć następujące artykuły:

- [1] **Malec M.**, 2022. *The prospects for decarbonisation in the context of reported resources and energy policy goals: The case of Poland*. Energy Policy. Vol. 161, February 2022, 112763
- [2] Saługa P. W., Zamasz K., Dacko-Pikiewicz Z., Szczepańska-Woszczyzna K., **Malec M.**, 2021. *Risk-Adjusted Discount Rate and Its Components for Onshore Wind Farms at the Feasibility Stage*. Energies, Vol. 14, Issue 20
- [3] Kaszyński P., Benalcazar P., Pałka P., Rój R., **Malec M.**, 2021. *Optimal Location-Allocation of Printing Devices for Energy Saving Using a Novel MILP Approach*. Energies, Vol. 14, Issue 19
- [4] **Malec M.**, Kinelski G., Czarnecka M., 2021. *The Impact of COVID-19 on Electricity Demand Profiles: A Case Study of Selected Business Clients in Poland*. Energies, Vol. 14, Issue 17
- [5] Kaszyński P., Komorowska A., **Malec M.**, 2020. *Competitiveness of the Polish hard coal mining sector as a fuel supplier for heat and power generation*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management vol. 36, No. 4, pp. 5–32

Dorobek publikacyjny Autora należy ocenić jako spełniający z dużym nadmiarem konieczne wymagania.

7. Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Praca dotyczy trudnego zagadnienia naukowego, wymagającego wykorzystania nowoczesnego podejścia metodycznego, w tym metod z zakresu badań operacyjnych (programowania liniowego i nieliniowego), metod prognozowania wielkości energetycznych i ekonomicznych.

Przedstawiona rozprawa dowodzi, że Autor:

- przeanalizował w sposób wyczerpujący istniejące rozwiązania w zakresie modeli paliwowo-energetycznych,
- przeanalizował w sposób właściwy strukturę i otoczenie funkcjonowania kopalni, importerów paliw oraz elektrowni zawodowych, przyjmując w konsekwencji uzasadnione założenia w celu rozwiązania zagadnienia naukowego,
- rozpoznał, zaadaptował i również samodzielnie opracował właściwe metody badawcze wykazując przydatność metody programowania liniowego w systemie GAMS,
- zaproponował oryginalny sposób połączenia kosztów dostaw i transportu węgla energetycznego z kosztami ochrony środowiska i kosztami zakupu uprawnień do emisji CO₂ w funkcji celu zadania minimalizacji kosztów,
- opracował i zaprogramował w systemie GAMS model matematyczny, konieczny do rozwiązania zadania badawczego,
- zrealizował skomplikowane wariantowe obliczenia i analizy,
- ocenił i skomentował uzyskane wyniki.

Warto podkreślić, że mgr inż. Marcin Malec uczestniczył w realizacji około 40 projektów, w tym prac badawczo-rozwojowych, realizowanych na zlecenie instytucji krajowych i zagranicznych, oraz przedsiębiorstw sektora paliwowo-energetycznego

Pozwala to na stwierdzenie, iż Autor posiadał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

8. Strona redakcyjno – wydawnicza

Układ pracy jest typowy dla rozpraw doktorskich. Rozprawa składa się z pięciu rozdziałów merytorycznych. Nienumerowanymi pozycjami w rozprawie są: *Wykaz skrótów, Wprowadzenie, Bibliografia, Spis rysunków, Spis tabel* oraz *Streszczenie w języku polskim i angielskim*.

W rozdz. 1 dokonano przeglądu stanu badań w obszarze optymalizacji pozyskania węgla kamiennego do jednostek wytwórczych energetyki zawodowej. Zaprezentowano osiągnięcia międzynarodowe i krajowe w obszarze budowy modeli matematycznych.

W rozdz. 2. dokonano identyfikacji kluczowych czynników decydujących o doborze węgla energetycznego do procesu spalania w elektrowniach zawodowych. Omówiono zasoby węgla kamiennego w Polsce, jego parametry. Przedyskutowano kluczowe regulacje UE i krajowe w zakresie polityki energetyczno-klimatycznej. Przystawiono dane historyczne i oszacowania w przyszłości kosztów zakupu węgla i kosztów jego transportu.

Trzy kolejne rozdziały 3, 4 i 5 są najistotniejsze z punktu widzenia realizacji zadania badawczego i udowodnienia tezy dysertacji.

W rozdz. 3, zatytułowanym *Model matematyczny do optymalizacji pozyskania węgla kamiennego przez jednostki wytwórcze energetyki zawodowej z uwzględnieniem wybranych regulacji środowiskowych* Autor dokonał formalizacji metody badawczej w postaci modelu matematycznego. Zaproponował koncepcję budowy modelu matematycznego, podał założenia i dane wejściowe. Zaprezentował scenariusze badawcze oraz dokonał kalibracji i analizy wrażliwości modelu.

W rozdz. 4 *Ilościowa ocena wpływu uwzględniania kosztów ochrony środowiska oraz uprawnień do emisji CO₂ na całkowity koszt pozyskania węgla kamiennego dla krajowych jednostek wytwórczych* istotnym osiągnięciem Autora jest przedstawienie wyników uzyskanych modelem matematycznym dla sformułowanych scenariuszy. Wyniki wariantowych obliczeń pozwoliły oszacować całkowity koszt pozyskania i użytkowania węgla oraz jego składowe, prowadząc do weryfikacji hipotezy badawczej.

Uwagi i wnioski końcowe dotyczące zrealizowanych badań i ich ocenę zamieszczono w rozdz. 5 *Podsumowanie i wnioski końcowe*.

Należy podkreślić dużą staranność edycyjną dysertacji. Dostrzeżone, nieliczne błędy edycyjne i językowe zaznaczono w recenzowanym egzemplarzu rozprawy.

Wniosek: poprawnie zredagowano rozprawę, struktura rozprawy typowa dla prac doktorskich.

9. Uwagi polemiczne i dyskusyjne

9.1. Uwagi polemiczne

9.1.1. Czy opracowany model matematyczny minimalizacji kosztu dostawy i transportu węgla energetycznego do elektrowni zawodowych uwzględnia konkurencję pomiędzy podmiotami funkcjonującymi na rynku węgla?

9.1.2. Jakie przesłanki zdecydowały o wykorzystaniu modelu programowania liniowego w systemie GAMS? Czy model programowania liniowego nie wprowadza zbyt dużych uproszczeń z tytułu linearyzacji niektórych procesów, np. problem kosztów stałych i zmiennych, kosztów krańcowych, niektórych procesów technicznych itp?

- 9.1.3. Str. 50-51 Przytoczone wzory do wyznaczania wskaźnika emisji CO₂ wskazują, że istotnymi wielkościami do ich wyznaczania są np. wskaźnik utlenienia, zawartość pierwiastka C w węglu, zawartość popiołu w węglu, współczynnik kontrakcji popiołu itd. Czy można więc wskazać konkretny typ węgla energetycznego, który charakteryzuje się w procesie spalania najmniejszą wartością wskaźnika emisji CO₂?
- 9.1.4. Str.58 Rys.2.10 Przedstawiono analizę regresji dla cen. Stwierdzono „Współczynnik determinacji $R^2=0,86$ jest wysoki.”. Na tej podstawie dalej napisano: „...o poprawności przyjętej metodyki.” Współczynnik determinacji R^2 to za mało, żeby przyjąć hipotezę o adekwatności modelu regresyjnego. Czy dla obu równań regresyjnych przeprowadzono np. test F-Snedecora o istotności modelu (ewentualnie także testy t-Studenta o istotności współczynników równania liniowego)?
- 9.1.5. Str. 90 i 91 oraz str.119 Dla wielu wielkości występujących w modelu matematycznym wykonano prognozy do 2040 roku (indeks r). Natomiast w Tab.3.8 w dwu ostatnich wierszach na str.90 (od CenaSorbentSOx) i na str.91 we wszystkich wierszach przyjmuje się stałe wartości cen i kosztów jednostkowych? Czy nie jest to zbyt duże uproszczenie modelu?
- 9.1.6. Str.100 i 101 Czy nierówności (25)-(29) w procesie optymalizacji zawsze były spełnione (czy nie było przekroczeń np. z tytułu BAT, itp.)? Jeśli tak, to jakie rodzi to konsekwencje w naliczaniu kosztów w modelu?
- 9.1.7. Czy Autor zastanawiał się nad zmianą wartości pieniądza w czasie (rachunek dyskonta)? Czy w proponowanej w dysertacji metodzie ten problem jest istotnym?
- 9.1.8. Zazwyczaj Autor w Podsumowaniu wskazuje na elementy nowości w dysertacji. Proszę o taką informację.
- 9.1.9. Jak Autor ocenia perspektywę praktycznego wykorzystania opracowanej metody i rezultatów badań modelowych?

9.2. Uwagi szczegółowe i edycyjne

- 9.2.1. Str. 7 w drugim akapicie powołanie na pozycję (Stós i in. 2019), której nie ma w Bibliografii .
- 9.2.2. Str. 15 W trzecim akapicie jest powołanie na pozycję literatury Suwała i Kudelko (1998), a w spisie *Bibliografii* jest Kudelko i Suwała (1998)
- 9.2.3. Str. 15 W trzecim akapicie jest powołanie na pozycję literatury Kamiński i Malik (2016), a w spisie *Bibliografii* jest Kamiński i Malik (2010)
- 9.2.4. Str. 22 W pierwszy akapicie podaje się wydobyte PGG 27,6 mln t w 2019 r., LWB 9,4 mln t, a na Rys. 2.4 są inne wartości.
- 9.2.5. Str. 24 Proszę o weryfikację poprawności jednostki w trzecim akapicie we wpisie 137 m².
- 9.2.6. Str. 49 W opisie wzoru jest B zamiast β .
- 9.2.7. Str. 175 Pozycja 58 - niepełny opis bibliograficzny.
- 9.2.8. Str. 177 Pozycja 92. Powinno być *Energy Policy Journal*.

10. Konkluzja

Tematyka recenzowanej rozprawy w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie **górnictwo i geologia inżynierska (obecnie dyscyplina: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka)** jest bardzo aktualna zarówno w Polsce, jak też na świecie. Główna wartość pracy, zdaniem recenzenta, polega na kontynuowaniu i rozwinięciu przez Autora badań dotyczących modelowania systemów paliwowo-energetycznych, podjętych na Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie. Wyniki obliczeń przedstawione w dysertacji wskazują na możliwość określenia optymalnej wielkości wraz ze strukturą zakupu i dostaw węgla kamiennego dla energetyki zawodowej z uwzględnieniem zakupu uprawnień do emisji CO₂, oraz kosztów ochrony środowiska. Stąd zaproponowane w dysertacji metody analizy są cenne ze względu na ich użyteczny charakter.

W przekonaniu recenzenta Autor wykazał się umiejętnością samodzielnego formułowania i rozwiązywania problemów naukowych. Rozwiązał oryginalne zagadnienie naukowe.

W tym kontekście przedstawiona rozprawa odpowiada wymaganiom, sprecyzowanym w art.13 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2003.65.595 z późn. zm.) w związku z art. 179 ust. 2 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r.poz. 1669).

Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Marcina Malca do publicznej obrony, w trakcie której oczekuję, że Pan mgr inż. Marcin Malec ustosunkuje się do uwag polemicznych i dyskusyjnych zawartych w recenzji.



.....
Podpis recenzenta