

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**Pana mgr inż. Łukasza Lelka**  
**pt. „Analiza porównawcza wpływu na środowisko procesów**  
**produkcji energii elektrycznej z wybranych nośników**  
**w warunkach polskich”**

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo Dyrektora Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN Pana dr hab. inż. Krzysztofa Galosa prof. IGSMiE PAN z dnia 04.03.2019 r.

Recenzję opracowano na podstawie dostarczonego egzemplarza pracy doktorskiej mgr inż. Łukasza Lelka pt. „Analiza porównawcza wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej z wybranych nośników w warunkach polskich” (ang. „Environmental impact of electrical energy production of selected carriers in Polish conditions - a comparative analysis”)

Zakres niniejszej recenzji obejmuje:

- Charakterystykę, ocenę zawartości merytorycznej i struktury pracy
- Zauważone błędy i uwagi szczegółowe
- Ocenę końcową pracy.

## **1. Charakterystyka, ocena zawartości merytorycznej i struktury pracy**

Praca pt. „Analiza porównawcza wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej z wybranych nośników w warunkach polskich” jest dziełem autorskim mgr inż. Łukasza Lelka. Praca składa się ze wstępu, sześciu rozdziałów, streszczenia w języku polskim, streszczenia w języku angielskim, aneksu, bibliografii, wykazu tabel i wykazu rysunków. Całość obejmuje 195 stron tekstu, w tym liczne tabele i ilustracje. Poszczególne rozdziały stanowią odrębną część pracy. Numeracja rysunków, tabel i wykresów jest ciągła w całej pracy. Publikacja napisana jest w języku polskim.

W bibliografii znalazło się 101 pozycji literaturowych oraz 12 źródeł internetowych. W szczególności w bibliografii znajduje się: 41 pozycji literatury zagranicznej, 41 pozycji literatury polskiej, 20 dokumentów źródłowych (ustawy, dokumenty rządowe, inne). Po analizie pozycji literaturowych wykazanych w bibliografii należy wskazać na kilka uchybień. Otóż spis literatury nie został uporządkowany alfabetycznie, co utrudnia docieranie do poszczególnych pozycji. Ponadto spis ten nie wyszczególnia wszystkich pozycji w sposób prawidłowy i nie

zawiera wszystkich pozycji literaturowych, na które Autor powołuje się w swojej pracy w przypisach dolnych, źródłach rysunków i tabel. Szczegółowe uwagi w tym zakresie zostały podane w następnym punkcie recenzji. Wyrażam nadzieję, że przedstawiona do recenzji praca zostanie opublikowana, z korzyścią dla przedsiębiorstw zainteresowanych problematyką stosowania metody LCA. Dlatego przytoczone uwagi mają również charakter pomocniczy i mogą być wykorzystane w redakcji przyszłej publikacji.

We wstępie do pracy wskazano na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego Polski funkcjonującej w ramach Unii Europejskiej. Wskazano również na duże zasoby paliw stałych (węgla kamiennego i brunatnego) oraz na ich znaczący udział w produkcji energii. Wysoka emisyjność procesów produkcji energii na bazie paliw stałych, stanowi w świetle zaostrzające się przepisów ochrony środowiska, jak i polityki dekarbonizacyjnej UE spore wyzwanie dla przedsiębiorstw branży energetycznej. Przykładem jest wprowadzona w 2016 r. Dyrektywa IED4, która wymaga od energetyki zawodowej spełnienia rygorystycznych norm emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, pyłów oraz metali ciężkich. Dlatego na początku pracy sformułowano główny problem badawczy, którym jest identyfikacja i hierarchizacja wpływu poszczególnych procesów jednostkowych cyklu życia produkcji energii elektrycznej na wybrane komponenty środowiska ze szczególnym uwzględnieniem fazy wydobywania i przeróbki węgla. Wskazano również, że głównym celem pracy o charakterze poznawczym jest zidentyfikowanie i określenie zależności pomiędzy wielkością potencjalnego wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej, a jakością pozyskiwanego węgla kamiennego i brunatnego w pełnym cyklu życia, w warunkach polskich. Jako cel aplikacyjny wskazano dokonanie hierarchizacji tych wpływów oraz przeprowadzenie analizy porównawczej w cyklu życia i zaproponowanie optymalnego wariantu jakościowego paliwa dla wybranych czterech zakładów górniczych.

W nawiązaniu do celu i zakresu pracy sformułowano główną hipotezę badawczą, która brzmi: przeprowadzenie szczegółowej analizy z wykorzystaniem metody LCA umożliwi identyfikację i hierarchizację aspektów środowiskowych w całym cyklu życia produkcji energii elektrycznej w Polsce, co może być podstawą dla wprowadzania działań ograniczających oddziaływanie na środowisko. W celu weryfikacji tej hipotezy sformułowano również trzy hipotezy pomocnicze.

Recenzowana praca doktorska jest jedną z nielicznych prac naukowych, które poruszają tematykę wykorzystania metody LCA pozwalającej na kompleksową ocenę oddziaływania na środowisko procesu produkcji energii elektrycznej uwzględniającego również procesy produkcji paliw stałych. Należy zaznaczyć, że obecnie blisko 80% produkcji energii elektrycznej w Polsce jest wytwarzane z wykorzystaniem węgla kamiennego i węgla brunatnego. Dlatego podjęty przez Autora problem uznaję za aktualny i ważny szczególnie w aspekcie podejmowania optymalnych decyzji przez kadrę zarządzającą w zakresie wprowadzania działań ograniczających oddziaływanie na środowisko.

We wstępie do pracy zamieszczono część pt. metodyka badań. W istocie w tej części przedstawiono „model łączący ocenę cyklu życia LCA procesów wydobywania paliw kopalnych z parametrami jakościowymi otrzymywanych węgla oraz emisji CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, i pyłów z procesów ich spalania”. Autor stwierdza, że opracowany w ramach pracy model ma na celu identyfikację

wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej w Polsce, w pełnym cyklu ich życia, z wybranych nośników. W modelu uwzględniono fazy procesu wydobywania i wzbogacania węgla kamiennego i brunatnego oraz przygotowania produktów dostosowanych jakościowo do obecnych rygorów określonych przez elektrownie oraz inne rozwiązania wariantowe. Uwzględniono również spalanie węgla w elektrowni. Model został opracowany w podziale na dwa moduły: górniczy i energetyczny. Pierwszy z nich dotyczy oceny cyklu życia procesów wydobywania i produkcji paliw węglowych w Polsce. Drugi łączy otrzymane wyniki z emisjami do atmosfery, pochodzącymi z produkcji energii elektrycznej, w zależności od jakości produkowanego paliwa. Takie podejście umożliwiło przeprowadzenie oceny wpływu parametrów jakościowych paliw tj. wartości opałowej, zawartość siarki i popiołu na cały proces produkcji energii elektrycznej z uwzględnieniem wydobywania i wzbogacania paliw kopalnych. Strukturę opracowanego modelu oceny wpływu na środowisko przedstawiono na str. 13 na rys. 2 (pt. Struktura modelu oceny wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej z wybranych nośników w warunkach polskich). Identyfikacyjny rysunek przedstawiono na str. 78 (rys. 29). Uważam, że jest to niepotrzebny zabieg, nie wnoszący nic do rozdz. 3, a wręcz powodujący, że podrozdział 3.3. stał się niepotrzebny. Nie wyjaśniono również precyzyjnie o jaki model chodzi, czym ten model w istocie jest. Czy ma to być model matematyczny, obliczeniowy, decyzyjny czy inny?

Uważam także, że wyszczególnienie na rys. 2 dwóch niezależnych cykli dla węgla kamiennego i węgla brunatnego nie jest konieczne. Oba cykle są właściwie identyczne. Model powinien mieć uniwersalny charakter, niezależnie od przyjętego rodzaju paliwa. To także przemawia za tym, że przyjęta metoda LCA jest odpowiednia dla węgla kamiennego i brunatnego, a otrzymane wyniki obliczeń mogą być porównywalne. Rozdzielenie cykli na rys. 2 może być jedynie uzasadnione chęcią podkreślenia, że podmiotem badań będą kopalnie węgla brunatnego i węgla kamiennego.

Rozdział pierwszy pracy zatytułowano „Analiza funkcjonowania oraz kierunki rozwoju sektora wydobywczego i energetycznego w Polsce”. Pierwsza część tego rozdziału dotyczy charakterystyki sektora energetycznego w Polsce wraz z prognozami rozwoju. Autor omówił strukturę produkcji energii elektrycznej w Polsce w 2017 r. Wskazał na konieczność podejmowania działań zmierzających do poprawy efektywności wytwarzania energii, minimalizacji presji na środowisko oraz odtwarzania parku wytwórczego. W tym zakresie w Polsce planuje się liczne wyłączenia bloków energetycznych, a także budowę nowych bloków opalanych węglem kamiennym, węglem brunatnym i gazem ziemnym. W związku z tym Autor stwierdza, że wdrażanie nowych inwestycji energetycznych bazujących na węglu może powodować dalsze obciążenia środowiska naturalnego (oprócz korzyści zwiększenia mocy produkcyjnych). Niezbędne jest zatem przeanalizowanie wszystkich skutków oraz wskazanie miejsc, w których występują największe zagrożenia w całym cyklu życia wytwarzanej energii elektrycznej. Dzięki wykorzystaniu danych odnoszących się do wybranych przedsiębiorstw można określić wpływ danego rozwiązania technologicznego na środowisko i wskazać działania alternatywne, umożliwiające uniknięcie lub ograniczenie negatywnych skutków. W drugiej części rozdziału pierwszego Autor przedstawił uwarunkowania zmian na rynku węgla kamiennego i brunatnego w Polsce. Wskazał przede wszystkim na uwarunkowania gospodarcze

oraz środowiskowe występujących trendów spadku produkcji paliw stałych. Z kolei trzecia część rozdziału pierwszego dotyczy prawnych uwarunkowań rozwoju sektora energetycznego w Polsce. Istotne znaczenie w tej części pracy ma stwierdzenie jej Autora, że prognozowane zmiany prawne dotyczące struktury produkcji energii oraz nowych technologii, wskazują na konieczność ograniczenia emisji powstałych w procesie produkcji energii w Polsce. Aby to osiągnąć potrzebne są zarówno nowe proekologiczne inwestycje, jak i skuteczne narzędzia pozwalające na identyfikację i hierarchizację czynników wpływających na środowisko w celu technicznej i organizacyjnej optymalizacji procesów, w tym skuteczne eko-projektowanie nowych rozwiązań w całym łańcuchu wartości. Potwierdza to słuszność przyjętej pierwszej hipotezy pomocniczej. Do tego celu należy wykorzystać metodę LCA.

W mojej opinii treść jak i objętość rozdziału pierwszego są dobrze dobrane. Analizowany problem należy do pewnego specjalistycznego obszaru z zakresu kształtowania się rynku wydobywczego paliw stałych i rynku energetycznego, dlatego czytelnikowi należy się rzetelne wyjaśnienie specyfiki rozwiązywanego problemu.

Drugi rozdział dotyczy oceny działalności i wpływu na środowiskowo wybranych zakładów górniczych oraz możliwości zastosowania LCA w sektorze wydobywczym i energetycznym. W rozdziale tym przedstawiono krótkie charakterystyki działalności oraz oddziaływania na środowisko naturalne Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów (PGE GiEK S.A.), Zakładu Górniczego Jadwiga, Zakładu Górniczego Sobieski (obie kopalnie działają w ramach Tauron Wydobycie S.A.), Lubelskiego Węgla Bogdanka S.A. W rozdziale tym Autor dokonał przeglądu literatury z zakresu wykorzystania metody LCA w sektorze górnictwa węgla kamiennego i brunatnego oraz sektora energetycznego. Słusznie Autor skoncentrował się na najnowszej literaturze (w większości publikowanej po 2005 roku) w zakresie stosowania tej metody. Przegląd literatury związanej z wykorzystywaniem analizy LCA do badania sektora energetycznego w ujęciu holistycznym lub jako pojedynczych technologii, wskazuje na jej szerokie wykorzystanie na świecie. W Polsce metoda LCA nie jest powszechnie stosowana do oceny oddziaływania na środowisko, tak jak np. w państwach UE, o czym świadczy stosunkowo mała liczba pozycji literaturowych na ten temat. Wykorzystanie LCA w Polsce dla analiz sektora energetycznego ogranicza się do pojedynczych przypadków, ponieważ jak zauważa Autor, nie opracowano dotychczas własnych baz danych, jak w krajach posiadających długoletnie doświadczenie w stosowaniu LCA. Przegląd literatury wykazał, że analizy LCA w Polsce dotyczą głównie górnictwa węgla kamiennego. Istnieje zaledwie kilka przykładów badań dotyczących wpływu wydobycia węgla brunatnych na środowisko. Dlatego recenzowana praca ma na celu uzupełnienie wiedzy w tym zakresie.

Trzeci, w mojej opinii zasadniczy-koncepcyjny rozdział pracy, dotyczy propozycji zastosowania metody LCA do identyfikacji, hierarchizacji i kwantyfikowania wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej w jej całym cyklu życia. W pierwszej kolejności Autor przedstawił podstawowe zależności pomiędzy jakością paliwa a efektywnością środowiskową procesów produkcji energii elektrycznej. Parametry jakościowe wydobywanego paliwa wpływają bowiem na poziom emisji w procesie jego spalania. Na emisje zanieczyszczeń wpływ ma m.in. wartość opałowa ( $Q_{i,r}$ ), zawartość popiołu ( $A_r$ ) i siarki ( $St_r$ ). Parametry te są

bezpośrednio uzależnione od jakości eksploatowanego złoża jak i od sposobu prowadzonego procesu wydobywania oraz przeróbki wydobywanego węgla. W drugiej kolejności Autor wyjaśnił relacje jakie występują pomiędzy wartością opałową węgla, zawartością popiołu oraz siarki i wielkością emisji CO<sub>2</sub>, pyłów i SO<sub>2</sub> do środowiska.

W trzeciej części tego rozdziału przedstawiono (po raz drugi) założenia budowy modelu oceny potencjalnego wpływu produkcji energii elektrycznej na środowisko w jej pełnym cyklu życia. Autor również w tej części nie wyjaśnił czym jest opracowany model. Stwierdził natomiast, że celem prowadzonych badań było określenie potencjalnego wpływu na środowisko produkcji 1 MWh energii elektrycznej, ze szczególnym uwzględnieniem fazy wydobywania nieodnawialnych surowców energetycznych, w tym węgla kamiennego i węgla brunatnego. Nie wyjaśnił jednak jakiego rodzaju badania zostaną przeprowadzone i z użyciem jakich metod. Autor stwierdził, że „w modelu, zgodnie z normami ISO 1404x przeprowadzono: analizę zbioru wejść i wyjść (LCI), z wykorzystaniem danych rzeczywistych pochodzących z przemysłu, ocenę wpływu procesów produkcji energii elektrycznej z wybranych nośników w całym cyklu życia (LCIA) na środowisko i interpretację wyników, analizę kompletności i jakości danych oraz identyfikację dominujących pod względem wpływu na środowisko procesów”. Warto jednak podkreślić, że analiza i ocena nie są sensu stricto badaniami naukowymi, czyli pracami podejmowanymi przez badacza lub zespół badaczy w celu osiągnięcia postępu wiedzy naukowej, ustalenia nowych twierdzeń naukowych, tez, aksjomatów, uogólnień i definicji.

W ramach trzeciego rozdziału Autor przyjął również założenia co do tzw. modułu górniczego i energetycznego, a także do technologii spalania paliw stałych (kotły pyłowe) i technologii oczyszczania spalin.

Rozdział czwarty dotyczy przeprowadzenia oceny metodą LCA potencjalnego wpływu na środowisko procesów wydobywczego, przeróbczego i produkcji energii. Autor przeprowadził z pomocą metody LCI (*Life Cycle Inventory*) inwentaryzację danych dla trzech kopalń węgla kamiennego i jednej kopalni węgla brunatnego. Jako bazę do obliczeń przyjął dane z 2015 r. Dokonał ponadto analizy jakości zebranych danych zgodnie z zaleceniami Komisji UE z 2013 r. Z przeprowadzonej oceny wynika, iż jakość zebranych danych jest zadowalająca. Na tej podstawie przeprowadził z wykorzystaniem metody LCIA (*Life Cycle Impact Assessment-LCIA*) obliczenia pozwalające na ocenę potencjalnego wpływu na środowisko rocznego wydobywania z badanych kopalń. Ocena wpływu cyklu życia przeprowadzona została zgodnie z PN-EN ISO 14044: 2009 oraz z wykorzystaniem metody ILCD 2011.

Przedstawione w tej części pracy wyniki obliczeń wskazują na możliwość zastosowania metody LCA do porównywania różnych technologii w procesie produkcji energii elektrycznej, a w szczególności procesów wydobywania węgla kamiennego i brunatnego. Pozwoliło to Autorowi pozytywnie zweryfikować postawioną w pracy trzecią hipotezę pomocniczą.

W następnej kolejności Autor przeprowadził identyfikację i hierarchizację głównych źródeł potencjalnego oddziaływania wybranych kopalń węgla kamiennego i węgla brunatnego na środowisko. Identyfikacja i hierarchizacja zostały przeprowadzone w dwóch etapach. W pierwszym uwzględniono udział części produkcji energii elektrycznej oraz zagospodarowanie

nadkładu (kopalnia węgla brunatnego), a w drugim wyłączono ten udział. Kolejna część pracy poświęcona została obliczeniu wielkości wpływu w cyklu życia procesów produkcji energii elektrycznej w zakładach energetycznych z uwzględnieniem jakości paliwa i związanej z tym wielkości emisji gazów i pyłów. Przeprowadzono tutaj analizę strumieni paliwowych oraz kalkulację wskaźników emisji CO<sub>2</sub>, pyłu i SO<sub>x</sub> do atmosfery. Dokonano również podziału strumieni paliwowych dla każdego analizowanego zakładu górniczego. Założono, że w ostatecznej analizie LCA w danym roku udział każdego strumienia paliwowego będzie stanowił 25% produkcji. Następnie obliczono potencjalne wielkości emisji tj. CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> oraz pyłu, uwzględniając przyjęty udział każdego strumienia paliwowego z zakładów górniczych oraz skalkulowane wcześniej wskaźniki emisji. Wyniki przedstawiono w przeliczeniu na jednostkę funkcjonalną 1 MWh, co pozwoliło porównać potencjalny wpływ na środowisko (mPt) produkcji energii elektrycznej z paliwa produkowanego w poszczególnych zakładach górniczych oraz udział fazy produkcji energii.

Otrzymane wyniki, zarówno na poziomie zakładów górniczych jak i na poziomie produkcji energii elektrycznej potwierdzają słuszność przyjętej w pracy drugiej hipotezy pomocniczej, gdyż procesy produkcji energii elektrycznej z różnych nośników charakteryzują się zróżnicowanym wpływem na poszczególne komponenty środowiska, dlatego przy ich porównywaniu powinno stosować się kompleksową ocenę środowiskową. Ocena taka dokonywana dla poszczególnych etapów wytwarzania energii, a zwłaszcza fazy wydobywania surowców energetycznych, może być podstawą eko-projektowania i ewaluacji rozwiązań technologicznych.

Piąty rozdział stanowi krytyczną dyskusję otrzymanych wyników obliczeń i analiz. Autor odniósł się do problemu wyboru metody LCIA do obliczeń i trafności otrzymywanych wyników. Szkoda, że Autor nie pokusił się o sformułowanie wytycznych dla wyboru metody LCIA. Ponadto w tym rozdziale Autor odniósł się do analizy wskaźnikowej przeprowadzonej na poziomie danych inwentarzowych, analizy wrażliwości na zmianę głównych determinantów środowiskowych oraz do skumulowanego wskaźnika na poziomie zakładów energetycznych w odniesieniu do rodzaju i jakości stosowanego paliwa.

Rozdział szósty stanowią wnioski końcowe, które obejmują syntetyczny opis wyników prac prezentowanych w każdym rozdziale. Autor przedstawia chronologię rozwiązania problemu badawczego, odnosząc się do celu i głównej hipotezy badawczej oraz stwierdza, że pozytywnie została zweryfikowana postawiona hipoteza badawcza. Szkoda, że Autor nie odniósł się we wnioskach do sformułowanych hipotez pomocniczych. Stwierdzam bowiem, że wyniki przeprowadzonych badań pozwalają pozytywnie zweryfikować postawione hipotezy badawcze, przy czym Autor w pracy nie podał konkretnych przykładów wpływu przedstawionego rozwiązania na eko-projektowanie i ewaluację rozwiązań technologicznych. Wpływ taki zaakcentowano w drugiej i trzeciej hipotezie pomocniczej.

Podsumowując tę część mojej recenzji, pozytywnie oceniam pracę względem merytorycznym. Stwierdzam, że zawarte w niej wyniki badań stanowią oryginalny wkład do dyscypliny naukowej górnictwo i geologia inżynierska. Nowością w opracowanym modelu jest kompleksowa ocena oddziaływania na środowisko procesu produkcji energii elektrycznej wraz

z procesem wydobywania i wzbogacania paliw kopalnych. Taka ocena nie była dotychczas prowadzona w warunkach polskich. Pozytywnie oceniam również strukturę pracy.

### **Zauważone błędy i uwagi szczegółowe**

1. Spis literatury nie został uporządkowany alfabetycznie. Świadczą o tym pozycje literaturowe w bibliografii nr: 35, 55, 56, 101.
2. Spis literatury nie wyszczególnia wszystkich pozycji literaturowych w sposób prawidłowy, o czym świadczy pozycja nr 56, w której zawarto drugą pozycję. Ponadto w bibliografii w większości przypadków wskazywane są odniesienia do stron.
3. Spis literatury nie zawiera wszystkich pozycji literaturowych, na które Autor powołuje się w swojej pracy w przypisach i jako źródła rysunków i tabel. Dotyczy to następujących przypadków:

Str. 19 – źródło pod rys. 3: PN-EN ISO 14040:2009; Zarządzanie środowiskowe - Ocena cyklu życia - Zasady i struktura, PKN, Warszawa 2009 r.

Str. 23 – źródło pod tabelą 4: ILCD Handbook: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context First edition, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Luxemburg, 2011.

Str. 25 – źródło pod rys. 6: Macuk R., Maćkowiak Pandera J., Rubczyński A. 2017, Polska transformacja energetyczna 2017 r., Forum Energii, Analizy i dialog.

Str. 27 – źródło pod rys. 8: Macuk R., Maćkowiak Pandera J., Rubczyński A. 2017, Polska transformacja energetyczna 2017 r., Forum Energii, Analizy i dialog.

Str. 28 – źródło pod rys. 10 i tabelą 5: Szczerbowski R. 2018, Wyzwania polskiego sektora wytwórczego do 2030 roku, Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, nr 102.

Str. 30 i 31 – źródło pod rysunkami od 11 do 14 i 16: Raport 2017, Górnictwo węgla kamiennego w Polsce, IGSMiE PAN, Kraków, 2018.

Str. 43 – źródło pod rys. 19: Kasztelewicz Z., Sikora M., Patyk M., Zajączkowski M. 2014, Układy technologiczne w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego na świecie, Przegląd Górniczy, nr 10.

Str. 45 – źródło pod rys. 21: <https://przelom.pl/17175-poklad-207-wazny-dla-janiny.html>

Str. 45 – źródło pod rys. 22: Biały W. 2016, Analiza czasu pracy maszyn przy zbrojeniu ścian wydobywczych, Mining – Informatics, Automation and Electrical Engineering, nr 3 (527).

Str. 46 – źródło pod rys. 23: <https://www.mos.gov.pl/srodowisko/geologia/koncesje-geologiczne/koncesje-i-wnioski-koncesyjne/mapykoncesji-i-wnioskow-koncesyjnych/>.

Str. 47 – źródło pod tab. 13: <http://www.tauron-wydobycie.pl/oferta-handlowa/parametry-wegla>.

Str. 49 – źródło pod tab. 16: <http://www.tauron-wydobycie.pl/o-firmie/galeria> (Zdjęcie: Piotr Miazga).

Str. 52 – źródło pod tab. 18 i 19: Raport zintegrowanej Grupy Kapitałowej Lubelski Węgiel Bogdanka 2016.

Str. 53 – źródło pod rys. 26: [http://www.lublin112.pl/bogdanka-bije-rekordy-produkcji-wegla-92-mln-ton-2014/#close\\_info\\_content](http://www.lublin112.pl/bogdanka-bije-rekordy-produkcji-wegla-92-mln-ton-2014/#close_info_content).

Str. 54 – źródło pod rys. 27: [https://www.cat.com/pl\\_PL/news/machine-press-releases/polish-bogdankaminepurchasesfourthcatplowlongwall.html](https://www.cat.com/pl_PL/news/machine-press-releases/polish-bogdankaminepurchasesfourthcatplowlongwall.html).

Str. 61 – przypis 110: Krajowy Program, Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO<sub>2</sub> wraz z ich programem monitorowania, wykonywanego na zamówienie Ministra Środowiska i finansowanego ze środków NFOŚiGW, strona projektu: <http://skladowanie.pgi.gov.pl/>.

Str. 65 – źródło pod rys. 26: Raport 2017, Górnictwo węgla kamiennego w Polsce, IGSMiE PAN, Kraków, 2018 r.

Str. 162 – źródło pod rys. 61: <http://biznesalert.pl/emisje-co2-21-euro/>.

4. Na str. 49 w przypisie 61 wystąpił błąd roku publikacji. Podobny błąd wystąpił w bibliografii w 25. pozycji literaturowej.
5. Dobrym zwyczajem jest wyszczególnianie w bibliografii odrębnie źródeł literatury, dokumentów źródłowych (np. ustawy). Autor nie przytacza w bibliografii polskich norm, na które często powołuje się w tekście.
6. Uważam, że w spisie literatury zabrakło kilku pozycji, jak np.
  - Kowalski Z., Kulczycka J., Góralczyk M., Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007;
  - Zastosowanie oceny cyklu życia (LCA) w ekobilansie kopalni. Praca zbiorowa. Pod red. Krystyny Czaplickiej. Katowice : Główny Instytut Górnictwa, 2002.
7. W bibliografii nie powinno się przytaczać numerów stron poszczególnych pozycji literaturowych. Numery stron powinny się pojawić tylko w przypisach.
8. W tekście zauważono liczne błędy literowe (np. str. 40, 55, 60, 82, 108, 118, 121, 132, 150, 154, 162), interpunkcyjne (np. str. 57, 142) i błędne stosowanie słów liczba i ilość (np. str. 55, 113).
9. W rozdziale 2. Autor stwierdza, że powodem małej popularyzacji LCA jest brak w Polsce baz danych, takich jakimi dysponują kraje posiadające długoletnie doświadczenie w stosowaniu tej metody. Należałoby wspomnieć o jakiego rodzaju bazy danych chodzi lub podać przykłady takich baz w innych krajach.
10. Analizując rys. 29 w części dotyczącej zakładu górniczego i przeróbki węgla oraz rys. 30 w części kopalnia węgla kamiennego, można mieć wrażenie, że na obu rysunkach istnieją zasadnicze różnice pomiędzy elementami danych wejściowych i wyjściowych LCA. Z czego wynikają te różnice? Jeżeli rys. 30 jest uszczegółowieniem rys. 29, to ten ostatni powinien być bardziej ogólny. Podobne różnice występują pomiędzy rysunkami 29, 30 i rys. 31 w rozdz. 4.
11. Na str. 108 Autor stwierdza: „*Przedstawione w tej części pracy pokazują możliwość zastosowania ocena cyklu życia procesu produkcji energii elektrycznej do porównywania różne scenariusze technologiczne, w tym wypadku procesów wydobywania paliw kopalnych, co potwierdza przyjętą w pracy tezę*”. Sformułowanie wymaga poprawy pod względem stylistycznym i należy wskazać o jakiej tezie jest tutaj mowa? Taki sam problem pojawił się na stronach 39, 86 i 149.



12. Na str. 140 przyjęto założenie, że w ostatecznej analizie LCA w danym roku udział każdego strumienia paliwowego z kopalni będzie stanowił 25% produkcji. Należy uzasadnić dlaczego przyjęto taką strukturę produkcji?

### **Ocena końcowa pracy doktorskiej**

Praca stanowi oryginalne i ważne osiągnięcie naukowe mgr inż. Łukasza Lelka. Na podstawie przeprowadzonych badań, Doktorant sformułował problem naukowy oraz wyznaczył cele pracy. Dla osiągnięcia celów pracy oraz rozwiązania problemu badawczego opracował model badawczy, dobrał metody badawcze oraz przeprowadził cały proces badawczy. Do wkładu własnego Doktoranta w rozwój dyscypliny naukowej Górnictwo i geologia inżynierska należałoby zaliczyć przede wszystkim opracowanie modelu dla kompleksowej oceny oddziaływania na środowisko procesu produkcji energii elektrycznej wraz z procesem wydobywania i wzbogacania paliw kopalnych. Należy podkreślić możliwości aplikacyjne tego modelu, który może w przyszłości być narzędziem wspierającym procesy podejmowania decyzji w przemyśle energetycznym i górnictwym w zakresie zarządzania środowiskowego. Za ważne osiągnięcie naukowe Doktoranta uważam również usystematyzowanie wiedzy w zakresie oceny cyklu życia energii elektrycznej wytwarzanej z wykorzystaniem węgla kamiennego i węgla brunatnego. Ponadto za istotne uważam wskazanie przez Doktoranta możliwości i ograniczeń wykorzystania modeli rodziny LCA do oceny oddziaływania na środowisko procesu wytwarzania energii elektrycznej wraz z procesem wydobywania i wzbogacania paliw kopalnych oraz weryfikację opracowanego modelu na przykładzie wybranych przedsiębiorstw górniczych węgla kamiennego i węgla brunatnego. W rozwiązaniu problemu badawczego Doktorant wykazał się dużą wiedzą w zakresie procesów produkcyjnych i ekonomiki przedsiębiorstw górniczych oraz w posługiwaniu się metodami statystycznymi, symulacyjnymi, a także umiejętnością modelowania procesów.

Recenzowana praca doktorska spełnia wymagania pracy naukowej. Ma wyważoną objętość, logiczny układ oraz poprawnie dobrany materiał ilustracyjny i bibliograficzny. Moje uwagi nie umniejszają jej wartości naukowej.

W podsumowaniu stwierdzam, że recenzowana praca doktorska mgr inż. Łukasza Lelka pod tytułem: „Analiza porównawcza wpływu na środowisko procesów produkcji energii elektrycznej z wybranych nośników w warunkach polskich” odpowiada warunkom określonym w art. 13 ust. 1. Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. nr 65 z 2003 r. poz. 595).

Wnoszę o dopuszczenie tej pracy do publicznej obrony.

