

Dr hab. inż. Michał Kopacz,
Prof. IGSMiE PAN
Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
Ul. Wybickiego 7A
31-261 Kraków

**Recenzja rozprawy doktorskiej
pani mgr inż. Magdaleny Gazdy-Grzywacz**

Kompozycja recenzji:

1. Charakterystyka ogólna rozprawy doktorskiej.
2. Wartość naukowa i merytoryczna pracy.
3. Poprawność redakcyjna rozprawy.
4. Uwagi krytyczne.
5. Ocena końcowa.

1. Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska pani mgr inż. Magdaleny Gazdy-Grzywacz składa się z dziesięciu rozdziałów budujących zasadniczą treść pracy, spisu tabel i rysunków oraz zbioru literatury. W rozprawie tej wydzielona została część teoretyczna – rozdziały 1-5 oraz doświadczalna – rozdziały 6-9. Rozdział dziesiąty stanowi podsumowanie całości prac.

W rozdziale drugim Doktorantka przedstawiła tezę, cele i zakres pracy.

Rozdział trzeci dostarcza informacji na temat węgla kamiennego i brunatnego, jego zasobów, i kierunków gospodarczego wykorzystania.

W rozdziale czwartym scharakteryzowano czyste technologie węglowe, w tym technologie spalania węgla, technologie zgazowania, technologie wychwytu i odzysku ditlenku węgla, technologie i procesy oczyszczania gazów i wód procesowych.

Rozdział piąty obejmuje treści związane z globalnym ociepleniem i efektem cieplarnianym. W tym rozdziale zaprezentowano też zagadnienia związane z śladem ekologicznym i środowiskowym, śladem węglowym oraz metodologię obliczania śladu węglowego, na której bazowała Doktorantka. W mojej ocenie rozdział ten prezentuje najważniejsze aspekty i treści teoretyczne, ważne dla osiągnięcia zakładanych celów pracy.

W rozdziale szóstym scharakteryzowano technologie zgazowania węgla do wodoru, dla których oszacowano wskaźniki (mierniki wartości) śladu węglowego. Główne miejsce poświęcono technologii Shell, GE (Texaco).

W rozdziale siódmym przedstawiono opis i obliczenia śladu węglowego w zakresie technologii produkcji wodoru na bazie gazu koksowniczego, w jednej z polskich instalacji.

Rozdział ósmy dostarcza informacji na temat technologii produkcji węgla aktywnych oraz wartości obliczonych wskaźników śladu węglowego dla różnych analizowanych wariantów.

W rozdziale dziewiątym zaprezentowano metodologię i wartości wskaźników śladu węglowego dla technologii produkcji energii elektrycznej z węgla kamiennego.

2. Wartość naukowa i merytoryczna pracy - wkład Doktorantki do dyscypliny naukowej technologia chemiczna.

W pracy przedmiotem analizy śladu węglowego (CF) były cztery technologie energo-chemicznego przetwórstwa węgla, w szczególności: (i) zgazowanie węgla (kamiennego i brunatnego) do produkcji wodoru, (ii) technologia produkcji wodoru z gazu koksowniczego, (iii) technologia produkcji węgla aktywnych (PAC) oraz pyłu koksowego (CD), (iv) konwencjonalna technologia produkcji energii elektrycznej na drodze spalania węgla kamiennego. Jest to szeroki wachlarz technologii i bogaty zakres udokumentowanych wyników analiz. Na tym tle, analiza śladu węglowego, jako alternatywa dla metody LCA, obie objęte normami ISO (LCA – grupa norm ISO 14040x, CF – norma ISO 14067) znajduje coraz większe zastosowanie praktyczne, usankcjonowane w regulacjach prawnych i dobrych praktykach. Stąd jest ciągle obecnym i ważnym zagadnieniem, pozwalającym na wystandaryzowaną ocenę wpływu technologii (produktów) na środowisko przyrodnicze.

Prawidłowa ocena technologii energo-chemicznego przetwórstwa węgla jest zagadnieniem skomplikowanym, wymagającym rozległej wiedzy technicznej, specyficznej w zakresie badanych technologii, znajomości specjalistycznych narzędzi służących ocenom oddziaływania na środowisko, jak i doświadczenia przy ich implementacji. Te umiejętności, w mojej ocenie, Doktorantka osiągnęła w stopniu wystarczającym.

Wartość merytoryczną i wkład w dyscyplinę naukową stanowią dostarczone wyniki badań, które rozszerzają zakres zgromadzonej i udokumentowanej w literaturze przedmiotu fachowej wiedzy. Przedłożone wyniki analiz mogą stanowić również ciekawe porównanie i materiał do dyskusji w odniesieniu do wartości bezpośrednich emisji technologii węglowych inwentaryzowanych w systemie EU ETS. Autorka rozprawy doktorskiej wskazuje również pewne różnice w odniesieniu do emisji (danych) gromadzonych przez takie platformy jak electricityMap, co w ogólnej mierze wpisuje się w problem wspólnego dla wszystkich jednolitego podejścia do szacowania wpływu na środowisko technologii (produktów) w całym cyklu życia. A tutaj uważam jest jeszcze wiele do zrobienia.

Utylitarną wartość dla gremium odbiorców przemysłowych stanowią mogą analizy wskazujące na potencjał przetwórstwa gazu koksowniczego do wodoru, stanowiąc przyczynek do zwiększenia użyteczności produktów pośrednich technologii produkcji koksu. Doktorantka wykazała, że biorąc pod uwagę wartość wskaźników śladu węglowego technologia ta może stanowić swoistą „konkurencję” względem zgazowania węgla kamiennego i brunatnego w technologii Shell i GE (Texaco). Aspekty te wpisują się w prowadzoną na przestrzeni ostatnich lat dyskusję nad możliwościami i potencjałem wdrożenia technologii zgazowania węgla w warunkach polskich oraz w tematykę badań nad wodorem, jako paliwem przyszłości.

Oryginalna i w zasadzie nieobecna w literaturze fachowej przedmiotu jest analiza śladu węglowego oraz jej liczbowa kwantyfikacja w odniesieniu do technologii wytwarzania pylistych węgla aktywnych na bazie węgla kamiennych.

Wartościowym i innowacyjnym elementem pracy jest także ocena zastosowania w procesach oczyszczania pyłu koksowego, uzyskiwanego w procesach odpylania instalacji suchego chłodzenia koksu. Jak się okazuje, pył ten może być tańszym substytutem węgla aktywnych, stosowanych na szeroką skalę w procesach oczyszczania. Dokonana analiza porównawcza śladów węglowych jednostki funkcjonalnej tych dwóch sorbentów jest oryginalnym osiągnięciem pracy.

Za wartościowe w pracy uznaję również spostrzeżenia badawcze Doktorantki wyrażone m.in. w konkluzjach dotyczących wielkości emisji gazów cieplarnianych analizowanych technologii produkcji wodoru, która może się zmieniać w bardzo szerokich granicach (od około 4,5 do ponad 25 kg CO₂-e./kg H₂) także w przeliczeniu na energię chemiczną paliwa. Tak więc w niektórych przypadkach wytwarzanie wodoru jako paliwa zeroemisyjnego w większym stopniu oddziałuje na środowisko niż np. technologie spalania węgla. Podobnie w zakresie otrzymanych wyników analizy porównawczej śladów węglowych dwóch sorbentów: pylistego węgla aktywnego i pyłu koksowego Doktorantka wykazała, że ślad węglowy pylistego węgla aktywnego jest ponad 3-krotnie większy niż pyłu koksowego.

3. Uwagi dotyczące organizacji pracy, uwagi o charakterze ogólnym i uwagi redakcyjne.

Praca posiada przejrzysty układ. Podział na część teoretyczną i praktyczną ma zastosowanie w dziedzinie nauk technicznych, gdzie w pierwszej części zasadniczo prezentuje się aspekty teoretyczne analizowanego problemu naukowego, natomiast w części praktycznej – doświadczalnej dokumentuje się liczbowe uzasadnienia dla stawianych tez i przyjętych celów. Dobór zagadnień teoretycznych w zakresie omawianego problemu naukowego jest poprawny. Przykłady obliczeniowe dotyczą zasadniczo technologii energo-chemicznego przetwórstwa węgla, w większości przypadków wchodząc w grupę tzw. czystych technologii węglowych. Na ten aspekt wskazuje też teza pracy. Szata graficzna nie budzi większych zastrzeżeń.

Są jednak pewne uchybienia techniczne, redakcyjne, które przedkładam poniżej:

1. Nadmiar treści związanych z aspektami technicznymi. W mojej ocenie, w pracy występuje nadmiar teorii związanej z aspektami technicznymi omawianych technologii, natomiast stosunkowo mało uwagi poświęcono osiągnięciu możliwie wysokiej jakości udokumentowanych obliczeń w ramach stosowanej metody śladu węglowego. Treści omówione w ramach rozdziału 5, a poświęcone tematyce i metodzie śladu węglowego (CF) powinny być mocno eksponowane jako zasadnicze w tej pracy. Zgodzę się jednak, że większy udział aspektów technicznych – technologicznych znajduje uzasadnienie w dyscyplinie dysertacji (technologia chemiczna). Na tym tle autorka mogłaby też wyraźniej, niż ma to miejsce aktualnie, określić swój wkład w dyscyplinę naukową i badania nad analizowanym zagadnieniem.
2. Źródła danych. W szczególności w przypadku tabel i rysunków nie wskazano precyzyjnie źródeł. Intuicyjnie można się domyślić, że są to w większości przypadków analizy, obliczenia własne Doktorantki, nie mniej jednak powinno to być precyzyjnie wyartykułowane.

3. Przypisy literaturowe w tekście. Wymaga ujednoczenia ich zapis formalny. W wielu przypadkach, w szczególności jeśli chodzi o źródła inne niż pozycje książkowe lub artykuły, nie oznaczono dat ani formy dostępu (np. dostęp on-line w dniu...). Przykłady: strona 19 - [www.jsw.pl], str. 45 - (World Wildlife Fund, WWF), czy [IPCC] – str. 47.
4. Konstrukcje zdań. Bardzo często zdarzają się zdania wielokrotnie złożone, przez co ich czytanie ze zrozumieniem jest utrudnione. Na etapie redakcji publikacji doktoratu proponuję, aby to skorygować. Często powtarzającymi się błędami są tzw. „literówki” oraz błędy interpunkcyjne dotyczące przede wszystkim stosowania przecinków w zdaniach złożonych.
5. Powtórzenia treści, np. strona 49. W pracy znajdują się liczne i zbędne powtórzenia dotyczące np. ilości produkowanej energii elektrycznej w Polsce.
6. Sformułowania typu:
 - „naszą intencją” str. 52. Rozumiem, że zgodnie z intencją autorki?
 - zdanie: „w obu przypadkach SimaPro...(program)... wykazał...”. Rozumiem, że to autor publikacji, przy pomocy tego programu wykazał...
7. Pisownia jednostek. Doktorantka stosuje zamiennie różne zapisy oznaczeń/jednostek np. „proc.” i „%” lub „Mg” i „ton”. Wymaga to ujednoczenia w całej pracy.
8. Zapisy nazw własnych, wymagające ujednoczenia w tekście, przykładowo:
 - protokół z Kioto, pisane w różnych miejscach różnie,
 - technologia GE/Texaco, pisana raz jako GE/Texaco, a w innym miejscu jako GE (Texaco), a np. w tabeli 6.9 jako Texaco.
9. Niektóre pojęcia wymagają korekty, ze względu na sposób ich ujęcia. Są to określenia niejasne lub mało precyzyjne. Przykładowo:
 - str. 29 podano, że przeróbka węgla jest nieodłącznym ogniwem w łańcuchu węglowym CTW, choćby z uwagi na fakt „...zwiększenia gęstości energetycznej paliwa”,
 - str. 37 sformułowania:
 - badania ułamkowo-techniczne, str. 37,
 - badania „...dawnego klimatu”, str. 39,
 - środowisko naturalne, chyba lepiej byłoby zastąpić określeniem środowisko przyrodnicze,
 - energia cieplna; preferowane określenie ciepło,
 - dane pochodzące z kontroling kopalni, elektrowni...
10. Powołanie na tabelę 5.2 w tekście na stronie 54, której to tabeli brakuje (może była we wcześniejszej wersji tego dokumentu) lub powołanie błędnie oznaczone, tzn. na inną tabelę.
11. Część ważnych pozycji literaturowych, na które powołuje się Doktorantka w pracy, została opublikowana przed 2010 rokiem. Na to zwracam również uwagę, ponieważ taki aspekt aktualności przeglądu literaturowego stanowi niejednokrotnie argument wytaczany przez recenzentów publikacji w dobrych czasopismach międzynarodowych.

Podsumowując myślę, że skorygowanie tekstu o wyżej wymienione wskazania może poprawić czytelność pracy, jako że jest to rozprawa doktorska. Podobnie również, wprowadzenie słownika pojęć, czy też akronimów we wstępie do pracy, mogłoby pewne wątpliwości wyjaśnić.

4. Uwagi krytyczne

1. Teza i cele pracy

Teza wydaje się być nieprecyzyjnie sformułowana. Sformułowanie, że carbon footprint (CF) – ślad węglowy jest najbardziej obiektywną metodą oceny oddziaływania technologii lub produktu CTW na środowisko w zakresie emisji gazów cieplarnianych jest sformułowana nieprecyzyjnie, tzn. bardzo trudno jest wykazać jej charakter obiektywny w stopniu najwyższym w odniesieniu do oceny wpływu analizowanych technologii na środowisko. Zrealizowanie tezy pracy w tym brzmieniu wymagałoby, wg mnie, przedłożenia szeregu alternatywnych metod i przykładów obliczeniowych, i dopiero na tym tle wskazania przewagi metody śladu węglowego nad pozostałymi. Fakt ten ujmuje wartości pracy ale nie przekreśla jej pozostałych walorów. Sugeruję poprawienie tej tezy na etapie druku pracy postdoktorskiej.

Cele. W mojej ocenie, nie wszystkie cele wymienione na str. 14 noszą znamiona celów sensu stricto. Za cel nie uznaję – przykładowo – ustalenia zakresu badań, czy też zebranie danych – to są, wg mnie elementy metody lub procesu badawczego. W tym zakresie również sugeruję przerehabilitowanie zasadniczych celów pracy.

2. Założenia i niektóre obliczenia

Występuje ogólna trudność z ustaleniem poprawności niektórych, bardziej skomplikowanych kalkulacji i wyników z uwagi na brak szczegółowych założeń oraz ciągów obliczeń. Niejednokrotnie podane są od razu wyniki obliczeń, osiągnięte przy użyciu specyficznych narzędzi (np. oprogramowania ChemCAD). Zastosowanie tych narzędzi jest jak najbardziej uzasadnione, tyle że dołączenie choćby uproszczonych bilansów energii i masy ułatwiłoby analizę otrzymanych rezultatów, dodając również walory atrakcyjności całości pracy. Jest pewnego rodzaju standardem przedkładanie tego typu założeń do analiz procesowych i chemicznych. Utrudnienie stanowi również brak standaryzacji w obrębie założeń w przypadku analizowanych technologii.

Przykłady rozbieżności i nieścisłości związane z tym zagadnieniem:

1. Podane skuteczności separacji wodoru w technologii PSA. Na stronie 69 (czwarta linijka od dołu) podano wartość równą 86%, natomiast na stronie 70 (tabela 6.8) podano 85%.
2. Wartości jednostkowego zużycia energii elektrycznej podane w tabeli 6.5 i 7.4 nie korespondują ze sobą. Wskaźnik jednostkowego zużycia energii elektrycznej w KWK (JSW) oszacowano na poziomie 68,0 kWh/Mg (str. 85), tymczasem na stronie 67 wartość tego wskaźnika dla innej (nie znanej) kopalni lub grupy zakładów wyniosła tylko 36,4 kWh/Mg (węgla). Dane przedstawione w obu tabelach, podobnie jak otrzymane rozbieżności wymagają komentarza.
3. Oszacowanie wskaźnika ilości wyprodukowanej energii elektrycznej ze spalania metanu (tab. 7.7). W pierwszym wierszu tej tabeli wykazano wartość wskaźnika WP na poziomie 35,5 kWh/Mg węgla produkowanego w KWK. Brakuje podania wszystkich elementów tego obliczenia m.in. zakładanej sprawności procesu.
4. Na stronie 106 pojawia się stwierdzenie, że produktami elektrociepłowni są energia elektryczna i ciepło. Autorka stwierdza, że w przeliczeniu na 1 tonę wydobytego węgla można wytworzyć 28,43 kWh (wartość ta nie budzi zastrzeżeń, stoi natomiast w sprzeczności

z wartością podaną w tabeli 7.7. Podobnie ma się kwestia z ilością wytworzonego sprężonego powietrza (5,1 m³ vs 6,37 na str. 87). Komentarza (sprostowania) wymagają również emisje metanu do powietrza i metanu zagospodarowanego przemysłowo (wartości rozmiągają się z liczbami zaprezentowanymi w tabeli 7.6, przy założeniach ujętych w tabeli 7,4.

5. Dokładność wyliczeń. Str. 108. Iloczyn 500 km w transporcie i jednostkowego wskaźnika emisji 6,5 kg (a dokładnie 6,469) CO₂/Mg, daje wynik 32,34 kg CO₂/Mg (a nie 32 jak zapisano na stronie 108). Wartość prawidłową podano jednak na stronie 112, przy obliczeniach śladu węglowego procesu transportu węgla do zakładów przetwórczych.
6. Na stronie 107 podano informację, że stężenie metanu w powietrzu wentylacyjnym jest mniejsze niż 0,5%, natomiast na str. 111 pojawia się wartość 2%, na bazie [Stasińska 2009].
7. Doktorantka wyciąga daleko idące wnioski dotyczące wartości CF dla technologii wytwarzania energii elektrycznej, bazując na błędnych założeniach dotyczących sprawności wytwarzania energii elektrycznej przy różnym obciążeniu kotła (str. 129, drugi akapit). Budzi wątpliwości założenie, że sprawność wytwarzania bloku energetycznego jest wyższa przy obciążeniu kotła na poziomie 60% niż przy obciążeniu kotła na poziomie 100%. Fakt ten wymaga komentarza.

Sugeruję, aby na etapie druku doktoratu te kwestie w pracy uporządkować i usystematyzować w ramach poszczególnych grup technologii.

3. Pozostałe uwagi

Dołączam również w tej recenzji wykaz uwag, spostrzeżeń i nieścisłości o mniejszym znaczeniu. Uważam, że należałoby je skorygować na etapie przygotowywania pracy do druku, w późniejszych etapach. Są to w szczególności następujące kwestie:

1. Statystyki wielkości zasobów węgla (kamiennego) w Polsce. Na stronie 20, rezerwy zasobów węgla kamiennego wykazano na 21,1 mld ton, natomiast na stronie 23, podano, że stan zasobów bilansowych węgla kamiennego w złożach zagospodarowanych to 22,2 mld ton na koniec 2016 r. Podobne różnice występują w tekście jeśli chodzi o stan zasobów węgla brunatnego (zapisy strona 20 i 25). Myślę, że wystarczyłoby raz określić stan tych zasobów, najlepiej w odniesieniu do kategorii zasobów przemysłowych na koniec 2017 r. (te dane są dostępne).
2. Struktura sektora górniczego – podmioty: w pracy na stronie 22 podano stan sprzed 3 lat. To wymaga aktualizacji, tym bardziej, że zmiany organizacyjne, które zaszły w sektorze na przestrzeni ostatnich lat, są znaczące.
3. Stwierdzenie iż „bezpieczeństwo energetyczne Polski jak i świata uzależnione jest od racjonalnego wykorzystania węgla” (str. 13, piąta linijka od góry) jest raczej przesadzone. Bezpieczeństwo energetyczne zależy od wielu czynników, z których rodzaj surowca wykorzystywanego do wytwarzania energii dostarczanej odbiorcy jest jednym z komponentów. Cieszy mnie jednak podkreślenie znaczenia i roli węgla w polskiej gospodarce.
4. Rysunek 3.2, str. 18. Doktorantka podaje wartość liczbową udziałów węgla kamiennego i brunatnego, jednak nie podaje jej jednostek. Podobnie w przypadku wzoru nr 5.1 (str. 54).
5. Błędne oznaczenia na rysunku 6.8 względem wartości umieszczonych tekście na str. 73. Przykładowo podano, że wartość śladu węglowego technologii GE/Texcao – wk wynosi 22 122, podczas, gdy w tekście znajduje się wartość 21 703 kg CO₂/MgH₂.

5. Ocena końcowa

Biorąc pod uwagę wszystkie aspekty pracy: dobór zagadnień teoretycznych, osiągnięte użyteczne cele pracy, szeroki wachlarz udokumentowanych analiz, stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska pani Magdaleny Gazda-Grzywacz spełnia warunki określone w art. 13.1 Ustawy dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 poz. 595 z późn. zmianami) i wnioskuję do Rady Wydziału Energetyki i Paliw o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ponadto, życzę wszelkiej pomyślności i dalszego rozwoju w zakresie zainteresowań naukowych Doktorantki.

Michał Kopan
Kwałdów 2.04.2019r