



Katowice, 3.02.2017

Dr hab. inż. Stanisław Gil, prof. nzw. w Pol. Śl.

Zespół Energetyki Procesowej

Instytut Technologii Metali

RECENZJA

**pracy doktorskiej mgr inż. Piotra Krawczyka
pt. „Metodyka oceny efektywności podziemnego zgazowania
węgla metodą szybową na potrzeby produkcji energii elektrycznej”**

Recenzję pracy doktorskiej mgr inż. Piotra Krawczyka opracowano na zlecenie Naczelnego Dyrektora Głównego Instytutu Górniczego z dnia 6.12.2016 r. wystawionego na podstawie uchwały Rady Naukowej GIG.

Recenzowana praca doktorska została wykonana w Głównym Instytucie Górniczym w ramach projektu badawczego pt. „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej” pod kierunkiem dr hab. inż. Doroty Burchart-Korol, prof. GIG.

W ostatnich latach przeprowadzono w Polsce kilka projektów badawczych bazujących na zgazowaniu węgla. Zadaniem realizowanego przez zespół Głównego Instytutu Górniczego projektu było opracowanie technologii podziemnego zgazowania węgla metodą szybową, będącej przyszłościową i uzupełniającą formą pozyskiwania energii. Technologia podziemnego zgazowania węgla przyciąga w ostatnim czasie coraz większą uwagę badaczy ze względu na konieczność ograniczenia szkodliwego oddziaływania tego surowca na środowisko w konwencjonalnych procesach spalania oraz na potencjalne korzyści techniczne i ekonomiczne. Zakres wykorzystania gazu z podziemnego zgazowania węgla jest dość szeroki, a jego produkcję można ukierunkować na wytwarzanie: wodoru, paliw ciekłych i gazowych oraz reduktorów do procesów metalurgicznych.

Jednym z zasadniczych pojęć używanych do opisu stanu i funkcjonowania różnego rodzaju technologii, organizacji oraz przedsiębiorstw jest efektywność, która ma charakter wielowymiarowy (efektywność ekonomiczna, organizacyjna, technologiczna, środowiskowa), a w rozważaniach na jej temat trzeba odnieść się do pojęcia sprawności działania zdefiniowanego na gruncie prakseologii. W związku z koncepcją zrównoważonego rozwoju coraz większego znaczenia nabiera efektywność ekologiczna, przy czym istotny jest wybór metod jej oceny, wskaźników ją opisujących oraz sposobu jej prezentacji. Przydatnymi narzędziami i metodami oceny w tym przypadku są: ocena oddziaływania na środowisko (ślad ekologiczny), ocena oddziaływania inwestycji na otoczenie przyrodnicze, rachunek przepływów materiałowych, ekologiczna analiza wejść i wyjść, analiza śladów energii, bilans materiałowy i energijny, ślad węglowy jako miernik ekologiczności, ekologiczna ocena cyklu życia jako oddziaływania produktu, technologii czy procesu na środowisko.

Właśnie tym zagadnieniom doktorant poświęcił swoją rozprawę doktorską stawiając sobie za cel opracowanie metodyki oceny efektywności technologii podziemnego zgazowania węgla metodą szybową resztkowych parceli pokładów węgla na potrzeby produkcji energii elektrycznej. Temat rozprawy dotyczy wielowątkowych problemów efektywności, której metody i wskaźniki nie mają jednolitego standaryzowanego wzorca obliczeń, a gromadzone dane ilościowe o różnym charakterze pozyskiwane są z wielu niezależnych źródeł (dane: pomiarowe, od wytwórców technologii, towarów, usług itp.), co sprawia dodatkową trudność.

W tym aspekcie podjęcie przez doktoranta tematu badań efektywności należy uznać za celowe i potrzebne z punktu widzenia opracowanej technologii zgazowania węgla, zaś poziom i elementy naukowe pracy w pełni uzasadniają jej przyjęcie jako przedmiotu rozprawy doktorskiej.

Praca zawiera 110 stron, 22 tablice i 14 rysunków umieszczonych w tekście, a także 172 zacytowane pozycje literaturowe poprawnie dobrane. Zakres prac badawczych wykonanych przez doktoranta jest obszerny i obejmuje między innymi:

- przegląd przedmiotowej literatury, z której w rozprawie przedstawiono stan wiedzy w zakresie efektywności;
- ocenę stanu wiedzy o efektywności w odniesieniu do technologii podziemnego zgazowania węgla;
- charakterystykę obiektu badań, podstawowe założenia technologiczne oraz określenie granicy systemu i jednostki funkcjonalnej;

- wybór metody oceny cyklu życia do oceny środowiskowej i metody oceny wartości systemu do analizy ekonomicznej;
- opracowanie metodyki oceny ekoefektywności rozważanej technologii;
- identyfikację i inwentaryzację danych wejściowych i wyjściowych dla procesów jednostkowych;
- ocenę środowiskową i ekonomiczną.

Pracę otwiera rozdział na temat analizy ekoefektywności dokonanej w oparciu o przegląd literatury i obowiązujące normy, w którym autor skupia się na metodyce oceny tej efektywności oraz krytycznym przeglądzie norm. W podsumowaniu rozdziału autor stwierdza, że:

- w literaturze stosowane są różne wskaźniki ekonomiczne, uzależnione od danych obliczeniowych, co powoduje problem w wyborze jednego z nich do analiz ekoefektywności procesu;
- brak jest jednoznacznych standardów i występuje swoboda w wyborze wskaźników;
- zastosowanie różnych metod oceny ekonomicznej oraz środowiskowej może prowadzić do zupełnie odmiennych, a w skrajnych przypadkach nawet sprzecznych wniosków.

W dalszej części pracy przedstawiono charakterystykę podziemnego zgazowania węgla, jego aspekty środowiskowe, ekonomiczne oraz ocenę cyklu życia i analizę jego kosztów. W odniesieniu do oceny efektywności rozważanej technologii doktorant stwierdza potrzebę opracowania nowego podejścia do jej oceny uwzględniającego zarówno ocenę środowiskową, jak i ekonomiczną w pełnym cyklu życia technologii.

Autor wykazuje się dużą dociekliwością oraz obiektywnym krytycyzmem dotyczącym informacji zawartych w publikacjach literaturowych. Przegląd literatury i zebrany materiał, zawierający wyczerpujące omówienie tych zagadnień, umożliwił sformułowanie interesującego celu rozprawy doktorskiej.

Piąty, najobszerniejszy rozdział pracy, poświęcony został badaniom własnym doktoranta, dotyczącym opracowania metodyki oceny ekoefektywności dla wybranej przez siebie technologii podziemnego zgazowania węgla. Na początku rozdziału autor scharakteryzował podstawowe parametry i wskaźniki technologiczne z eksperymentów w skali pilotowej realizowanych w KWK Wieczorek i z instalacji demonstracyjnej podziemnego zgazowania węgla w KWK Murcki-Staszic.

W dalszej kolejności doktorant określił granice systemu i wybrał jednostkę funkcjonalną dla rozważanej technologii, co pozwoliło na sformułowanie zestawu kryteriów

definiujących, które procesy jednostkowe są częścią systemu, i które elementy powinny być włączone do analizy cyklu życia według przyjętych warunków. Umożliwiło to również ujednoczenie granic systemu dla analiz środowiskowych i ekonomicznych oraz porównanie efektywności technologii produkcji energii elektrycznej w instalacji podziemnego zgazowania węgla z energią elektryczną z sieci elektroenergetycznej. Autor zdecydował się na przyjęcie 1 MWh energii elektrycznej netto jako jednostki funkcjonalnej, ponieważ dotyczyło to produkcji energii elektrycznej.

Następnie dokonano wyboru metody oceny cyklu życia do oceny środowiskowej, gdzie przedstawiono charakterystykę kategorii wpływu na środowisko w oparciu o metodę ReCiPe, która obejmuje stosunkowo dużo kategorii oddziaływania na środowisko i jest dość wszechstronna.

Kolejnym zagadnieniem, któremu doktorant poświęcił uwagę był wybór metody oceny wartości systemu do analizy ekonomicznej. Porównywane są tu trzy kategorie kosztów cyklu życia w zależności od celu i szczegółowości analizy. Za najbardziej uzasadnioną metodę w stosunku do rozważanej technologii uznano konwencjonalną metodę kosztu cyklu życia. Wyboru powyższej metody dokonano z powodu dwukrotnego uwzględnienia aspektów środowiskowych na etapie oceny efektywności w metodzie środowiskowej oraz ze względu na znaczne problemy przy wyliczaniu pieniężnych kosztów zewnętrznych w metodzie społecznej. Na podkreślenie zasługuje umiejętne przyjęcie odpowiednich założeń obliczeniowych w analizie kosztu cyklu życia LCC (szczególnie z zakresu nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych) umożliwiające uzyskanie pełnej spójności z oceną środowiskową w zakresie granic systemu. Ma to swoje dalsze konsekwencje w kwestii określenia wspólnych granic systemu obu analiz: środowiskowej i ekonomicznej. Spośród czterech metod oceny ekonomicznej autor wytypował metodę dynamicznego kosztu jednostkowego DGC w oparciu o analizy LCC, jako najlepiej spełniającą wymóg dotyczący odniesienia wyników analiz do tej samej jednostki funkcjonalnej.

Wynikiem powyższych rozważań autora pracy było opracowanie metodyki oceny efektywności analizowanej technologii podziemnego zgazowania węgla, która pozwoliła na wybór technologii o najniższym koszcie uzyskania efektu ekologicznego przy minimalnych kosztach cyklu życia. Zgodnie z tą metodyką efektywność oszacowana została w dwóch etapach. Pierwszy obejmował obliczenie wskaźników oceny środowiskowej i ekonomicznej, natomiast drugi wyznaczenie efektywności przy wykorzystaniu wskaźników oceny środowiskowej i ekonomicznej.

Następne punkty rozdziału dotyczącego badań własnych koncentrowały się na wyliczeniu efektywności dla procesu produkcji energii elektrycznej w oparciu o technologię podziemnego zgazowania węgla oraz na podstawie technologii odniesienia (krajowej sieć elektroenergetycznej). W pierwszej kolejności dokonano identyfikacji i inwentaryzacji danych wejściowych i wyjściowych dla procesów jednostkowych obu technologii. Dla procesu podziemnego zgazowania węgla dane te obejmowały nakłady inwestycyjne i koszty eksploatacyjne instalacji, natomiast w przypadku technologii odniesienia do oceny środowiskowej wykorzystano dostępną bazę danych (ecoinvent v3), a ocenę ekonomiczną (wskaźnik DGC) wykonano w oparciu o znajomość ceny jednostkowej, po jakiej kopalnie zakupują energię elektryczną z sieci (na potrzeby pracy przyjęto 250 zł/MWh). Następnie przeprowadzono ocenę środowiskową (techniką LCA) i ocenę ekonomiczną (techniką LCC), co pozwoliło otrzymać wyniki oceny efektywności analizowanych technologii. Wskaźnik efektywności dla technologii podziemnego zgazowania węgla jest ok. 2.5 razy wyższy niż dla technologii odniesienia, co zdaniem autora wynika z niższych obciążeń środowiskowych i niższych kosztów pozyskania energii elektrycznej. Na końcu przeprowadzona została analiza wrażliwości dla poszczególnych wskaźników, w celu określenia potencjalnego ryzyka związanego z realizacją i eksploatacją inwestycji.

Poza poznawczym znaczeniem, opracowana przez doktoranta metoda oceny efektywności dla rozważanej technologii ma także znaczenie aplikacyjne, gdyż może być wykorzystywana w procesie podejmowania decyzji dotyczących wprowadzania technologii PZW w kopalniach węgla kamiennego.

Praca została zredagowana starannie. Napisana jest zwięzłym językiem, a podawane stwierdzenia są dobrze wyważone. Podczas jej czytania nasunęło mi się stosunkowo niewiele uwag merytorycznych. Zauważyłem także niewiele błędów formalnych i drukarsko-redakcyjnych. Dla kompletności recenzji przytaczam poniżej ważniejsze z nich:

- wprowadzenie wykazu oznaczeń ułatwiłoby czytelnikowi przyswojenie sobie znaczenia symboli;
- w pracy brakuje spisu tablic i rysunków, a także streszczenia w języku polskim;
- w pozycji 56 spisu literatury brakuje numerów stron (są to strony 43-46);
- w całej pracy przy wzorach i opisach wzorów brak jest jednostek;
- w tabelicy 3 na stronie 38 w analizie technicznej (popiół, wilgoć, części lotne) i w pozycji „zawartości siarki całkowitej” nie podano, w jakim one są stanie (roboczym, analitycznym, suchym,?.); należy też podać jakiego rodzaju jest to

procent (w tym przypadku - masowy); dotyczy to również pozycji „gęstość” (rzeczywista, pozorna, nasypowa ?); w nowej nomenklaturze chemicznej „siarkowódor” ma nazwę „kwas siarkowodorowy”;

- na stronach 37, 38 i dalszych używana jest jednostka normalny metr sześcienny w postaci „Nm³” – raczej powinna być zapisana „m_n³”, gdyż sugeruje to zapis niuton razy metr sześcienny, należy także podać parametry normalne;
- na stronie 51 omawiane są dynamiczne wskaźniki ekonomiczne NPV, IRR i DPP – należałoby również, jak dla wskaźnika DGC, podać ich zależności matematyczne;
- nieliczne usterki stylistyczne i błędy literowe zaznaczyłem w dostarczonym egzemplarzu pracy i z tego powodu nie będę ich zamieszczał w tym miejscu.

Przytoczone powyżej uwagi mają w większości charakter dyskusyjny lub mówią jedynie o niedociągnięciach i w niczym nie pomniejszają zasadniczej wartości pracy.

Recenzowana praca przedstawia wiele oryginalnych elementów naukowych i poznawczych, zawiera wiele wątków i wymagała szczegółowego opisu oraz standaryzacji dużej ilości danych wejściowych do wyznaczenia oceny efektywności, co stanowiło duże wyzwanie dla autora. Za największe osiągnięcie doktoranta uważam opracowanie metodyki oraz algorytmu obliczeń oceny efektywności rozważanej technologii, wymagających interdyscyplinarnego podejścia do problemu i łączenia kilku dyscyplin nauki na styku nauk technicznych i ekonomicznych.

Podsumowując uważam, iż postawiony w pracy ambitny cel został osiągnięty, a uzyskane wyniki stanowią cenny materiał uzupełniający dotychczasową wiedzę na temat efektywności.

Stwierdzam jednoznacznie, że zgodnie z ustawą o stopniach i tytułach naukowych, praca doktorska mgr inż. Piotra Krawczyka w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i stawiam wniosek o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

