

Prof. dr hab. inż. Jolanta Biegańska
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
Wydział Górnictwa i Geoinżynierii
Katedra Górnictwa Odkrywkowego
e-mail: biega@agh.edu.pl

Kraków, 13.01.2017 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Piotra KRAWCZYKA**

pt.: „*Metodyka oceny efektywności podziemnego zgazowania węgla metodą szybową na potrzeby produkcji energii elektrycznej*”

Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Dorota Burchart-Korol, prof. GIG a promotorem pomocniczym dr inż. Zbigniew Lubosik – GIG.

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Pismo dr hab. inż. Stanisława Pruska, Naczelnego Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa w imieniu Rady Naukowej GIG z dnia 06 grudnia 2016 roku, dotyczące wykonania recenzji wspomnianej rozprawy.

2. Celowość podjęcia tematu

Podjęcie tematu „Metodyka oceny efektywności podziemnego zgazowania węgla metodą szybową na potrzeby produkcji energii elektrycznej” jest ważne z użytecznego punktu widzenia, którym było dokonanie takiej oceny resztkowych parceli pokładów węgla na potrzeby produkcji energii elektrycznej i odniesienie uzyskanych wyników do rezultatów oceny efektywności technologii produkcji energii elektrycznej dostępnej z krajowej sieci elektroenergetycznej (krajowy mix energetyczny). Ponadto brak jest światowych analiz efektywności PZW – opracowania dotyczą głównie optymalizacji procesu w celu zwiększenia jego efektywności. Nie ma również opracowań metod oceny wpływu na środowisko z jednoczesnym uwzględnieniem zagadnień ekonomicznych, a więc zintegrowanej oceny łańcucha technologii w warunkach krajowych.

Doktorant zauważa, że w normie PN-EN ISO 14045:2012 „Zarządzanie środowiskowe – Ocena efektywności systemów wyrobów – Zasady, wymagania i wytyczne” jest ogólnie zalecane przeprowadzenie oceny cyklu życia, w tym inwentaryzacja danych do wykonania analizy oraz wybranie kategorii wpływu na środowisko.

Spostrzeżenia Doktoranta stały się przesłanką do podjęcia badań nad opracowaniem nowego podejścia do oceny efektywności technologii PZW metodą szybową resztkowych parceli pokładów węgla, uwzględniającego ocenę środowiskową oraz ekonomiczną w pełnym cyklu życia technologii.

Celem naukowym pracy było opracowanie metodyki oceny efektywności przedmiotowego procesu.

Praca dotyczy aktualnej problematyki jaką jest zmniejszenie negatywnego oddziaływania na środowisko procesów związanych z wykorzystaniem węgla w energetyce, co umożliwia stosowanie czystych technologii węglowych, do których zalicza się m. in. technologię podziemnego zgazowania węgla – przedmiot badań.

Doktorant podjął się opracowania metodyki oceny efektywności technologii (PZW resztkowych parceli pokładów węgla metodą szybową na potrzeby własne kopalni), która integruje wyniki oceny środowiskowej i ekonomicznej z uwzględnieniem cyklu życia.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy 110 stron. W pracy dokonano przeglądu literatury zawierającej 172 pozycje – ponad 60% stanowią publikacje obcojęzyczne z ostatnich lat. Doktorant wykorzystał również 14 pozycji literaturowych własnych jako współautor.

4. Ocena merytoryczna rozprawy

Metodyka pracy

Doktorant przedstawił, w oparciu o dane literaturowe, jakie wskaźniki są stosowane w ocenie środowiskowej oraz ekonomicznej do analizy efektywności. Wykazał, że nie ma jednoznacznych wskazań co do ich rodzaju a ich różnorodność utrudnia prowadzenie porównywania.

Wytyczne zawarte w normie PN-EN ISO 14045:2012 nie są również wystarczające.

Przegląd literatury umożliwił wypracowanie indywidualnego podejścia – skupiono się na metodzie szybowej do produkcji energii elektrycznej na potrzeby własne kopalni.

Doktorant wykorzystał wyniki badań prowadzonych na dwóch obiektach: w skali pilotowej w KWK Wieczorek oraz w instalacji demonstracyjnej wykonanej dla szybu „Czulów” KWK Murcki-Staszic, Rejon Boże Dary.

Taki wybór umożliwił porównanie technologii PZW resztkowych parceli pokładów węgla metodą szybową do produkcji energii elektrycznej na potrzeby własne kopalni z technologią odniesienia – energią elektryczną z krajowej sieci elektroenergetycznej.

Dla zrealizowania zamierzonego celu, Doktorant, określił granicę systemu obejmującą procesy jednostkowe – najmniejsze elementy technologii, dla których możliwe było zgromadzenie danych. Analizą objęto:

- proces drążenia chodników udostępniających georeaktor i wierceń z tych chodników,
- instalacje naziemne przygotowania czynnika zgazowującego,
- instalacje podziemne obejmujące zespół georeaktorów oraz urządzenia wstępnego oczyszczania gazu procesowego,
- instalacje naziemne oczyszczania gazu procesowego – oczyszczanie mokre,
- instalacje naziemne wytwarzania energii elektrycznej z gazu procesowego: spalanie gazu w kotle gazowym, produkcja energii elektrycznej w turbinie kondensacyjnej, odsiarczanie spalin z kotła.

Określił również granice systemu dla energii elektrycznej uzyskanej z sieci elektroenergetycznej obejmujące etap:

- budowy instalacji,
- eksploatacji instalacji zawierającej produkcję i dystrybucję energii elektrycznej,
- likwidacji instalacji.

Jednostką funkcjonalną w analizie był 1 MWh energii elektrycznej netto, którą przyjęto zarówno dla analizy środowiskowej jak i ekonomicznej.

Rozpatrywano częściowy cykl życia – analiza od kołyski do bramy (od momentu przeprowadzenia wierceń do wytworzenia energii). Pominięcie dalszych etapów (dystrybucja, przetwarzanie i użytkowanie) uzasadniono otrzymaniem identycznych wyników przy porównywaniu z technologiami alternatywnymi. Ustalono, że obciążenia środowiskowe i koszty będą proporcjonalnie rozdzielane do ilości wytworzonej energii i ciepła z uwagi na to, że rozważany system wytwarza obydwa produkty.

Do oceny środowiskowej Doktorant zastosował technikę oceny cyklu życia LCA wykonanej, zgodnie z normą PN-EN ISO 14044:2009, w czterech etapach:

1. Określenie celu i zakresu pracy.
2. Zbieranie danych LCI (Life Cycle Inventory).
3. Ocena wpływu LCIA (Life Cycle Impact Assessment).
4. Interpretacja otrzymanych wyników dla wybranych kategorii szkód i kategorii wpływu.

W celu wyboru metody LCA Doktorant skoncentrował się na metodach kompleksowych – wykluczył te, które nie obejmowały przyjętych kryteriów wyboru.

W oparciu o te kryteria uznał, że z punktu widzenia celów analizy najwłaściwszą metodą przydatną do oceny efektywności będzie metoda ReCiPe – opracowana dla rynku europejskiego i obejmująca wiele kategorii oddziaływania na środowisko.

W ramach oceny środowiskowej Doktorant przeprowadził wszystkie etapy oceny wpływu cyklu życia i podał w postaci skumulowanej wskaźnik oceny na potrzeby obliczania efektywności.

Do analizy ekonomicznej Doktorant przyjął trzy najważniejsze kryteria:

1. Uwzględnienie pełnego cyklu życia technologii.
2. Analizowanie technologii w tych samych granicach systemu, które przyjęto do analizy LCA.
3. Odniesienie wyników analiz do tej samej jednostki funkcjonalnej, co w analizie LCA.

W oparciu o te kryteria oraz na podstawie dokonanych analiz metod oceny ekonomicznej, Doktorant uznał, że metoda dynamicznego kosztu jednostkowego DGC (Dynamic Generation Cost) przy pomocy analizy LCC (Life Cycle Costing) uwzględni przyjęte założenia.

W zakresie oceny ekonomicznej wykonano obliczenia nakładów inwestycyjnych ponoszonych w 2-letnim okresie realizacji inwestycji, koszty eksploatacyjne w 20-letnim okresie eksploatacji inwestycji oraz koszty likwidacji w ostatnim roku analizy.

W ramach pracy Doktorant opracował wzór na obliczanie efektywności wiążący aspekty środowiskowe i ekonomiczne oraz dokonał walidacji opracowanej metodyki poprzez obliczenie efektywności technologii PZW metodą szybową do produkcji energii elektrycznej na potrzeby własne kopalni i efektywności technologii odniesienia, którą jest produkcja energii elektrycznej dostępnej z krajowej sieci elektroenergetycznej.

Biorąc pod uwagę: dobór tematu, problem badawczy, cel rozprawy jak również zastosowane metody i uzyskane wyniki, wyrażam przekonanie, że:

- rozpatrywany problem stanowi zagadnienie naukowe w dziedzinie „Inżynieria Środowiska” – opracowanie metodyki oceny efektywności podziemnego zgazowania węgla metodą szybową na potrzeby produkcji energii elektrycznej i efektywności energii elektrycznej z sieci krajowej,
- problem badawczy obejmujący opracowanie metodyki do oceny efektywności PZW został rozwiązany poprawnie i samodzielnie,
- praca zawiera nowe elementy: po raz pierwszy zidentyfikowano i zinventaryzowano dane kosztowe dla technologii PZW metodą szybową na potrzeby produkcji energii elektrycznej dla warunków krajowych,
- poprawnie dobrano i zastosowano metody badawcze i zinterpretowano wyniki.

Zagadnienia naukowe rozwiązane samodzielnie przez Doktoranta

Rozdziały od 5 do 7 to najważniejsza część rozprawy – stanowi rezultat samodzielnej pracy Doktoranta. Przedstawia wyniki pracy, do których należą:

- wybór metody oceny cyklu życia do oceny środowiskowej. Wybrano metodę oceny wpływu ReCiPe – na podstawie przyjętych kryteriów uwzględniających specyfikę technologii PZW.
- wybór metody oceny wartości systemu do analizy ekonomicznej. Wybrano metodę dynamicznego kosztu jednostkowego DGC – na podstawie przyjętych kryteriów, ze względu na możliwość prowadzenia analiz całego cyklu życia technologii, w granicach systemu zgodnych z analizami środowiskowymi.
- opracowanie metodyki oceny efektywności technologii PZW metodą szybową na potrzeby produkcji energii elektrycznej – zastosowanie nowego podejścia do wyliczenia wskaźnika efektywności, w którym występuje zależność: im niższa wartość wskaźnika efektywności, tym mniej efektywna technologia.
- identyfikacja i inwentaryzacja danych wejściowych i wyjściowych dla procesów jednostkowych – po raz pierwszy zidentyfikowano i zinwentaryzowano dane kosztowe i eksploatacyjne dla technologii PZW metodą szybową na potrzeby produkcji energii elektrycznej dla warunków krajowych.
- ocena środowiskowa techniką LCA – analizy LCA wykonano z zastosowaniem oprogramowania SimaPro 8 wraz z bazą danych Ecoinvent 3. Największy udział w przypadku analizowanej technologii PZW ma wyczerpanie zasobów paliw kopalnych – stanowi ponad 53%. Kolejną istotną kategorią wpływu są emisje gazów cieplarnianych z prawie 29%-towym udziałem. Pozostałe kategorie wpływu są mało istotne (kilku procentowy udział), bądź pomijalne (udział poniżej 1%).
- ocena ekonomiczna techniką LCC – ustalono, że techniczny koszt wytworzenia 1 MWh energii elektrycznej na instalacji PZW metodą szybową jest niższy od przyjętej ceny zakupu energii elektrycznej przez kopalnie, jednak wyższy od cen rynkowych sprzedaży energii elektrycznej w III kwartale roku 2016. Stosowanie technologii PZW metodą szybową do produkcji energii elektrycznej będzie uzasadnione ekonomicznie w przypadku jej wykorzystania na potrzeby własne (brak opłat stałych oraz kosztów przesyłu energii elektrycznej, które występują przy jej zakupie z sieci) a także w sytuacjach, gdzie jest możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury energetycznej kopalni (niższe nakłady inwestycyjne).
- ocena efektywności technologii PZW metodą szybową na potrzeby produkcji energii elektrycznej – wykazano, że energię elektryczną wytwarzaną w oparciu o PZW metodą szybową na potrzeby własne kopalni cechuje wyższy wskaźnik efektywności, niż energię elektryczną pobieraną z krajowej sieci elektroenergetycznej.

Doktorant określił również hierarchię wpływu analizowanych zmiennych krytycznych na wartość wskaźnika efektywności i ustalił determinanty efektywności (nakłady inwestycyjne, długość otworów kierunkowych, długość chodnika udostępniającego, odległość georeaktora od szybu, ceny praw do emisji CO₂).

Oryginalność pracy polega głównie na:

- wykonaniu po raz pierwszy pełnej oceny efektywności technologii PZW metodą szybową do produkcji energii elektrycznej na potrzeby własne kopalni, z uwzględnieniem warunków krajowych,
- pełnej inwentaryzacji danych kosztowych dla całego cyklu życia technologii oraz danych eksploatacyjnych dla wszystkich procesów jednostkowych procesu produkcji energii elektrycznej w oparciu o PZW, z uwzględnieniem warunków krajowych,
- opracowaniu szczegółowej metodyki oceny efektywności technologii PZW metodą szybową do produkcji energii elektrycznej na potrzeby własne kopalni, uwzględniającej specyfikę tej technologii,
- opracowaniu metodyki oceny efektywności umożliwiającej wspomaganie podejmowania decyzji w kopalniach węgla kamiennego w zakresie stosowania technologii PZW metodą szybową do wykorzystania resztkowych parceli pokładów węgla w kopalni, jak również wspomaganie decyzji odnośnie oceny systemu energetycznego kopalni w oparciu o krajową sieć elektroenergetyczną lub PZW,
- opracowaniu metodyki, która może służyć do wykonania ocen efektywności nie tylko dla technologii PZW, ale również innych czystych technologii węglowych,
- określeniu determinantów efektywności analizowanej technologii PZW.

Prawidłowość rozważań, uzyskanych wyników i wniosków

W pracy został sformułowany problem badawczy i postawiony cel naukowy i aplikacyjny.

Został sformułowany następujący cel naukowy pracy – opracowanie metodyki oceny efektywności procesu PZW metodą szybową.

Został sformułowany następujący cel aplikacyjny – analiza porównawcza efektywności PZW metodą szybową na potrzeby produkcji energii elektrycznej oraz efektywności energii elektrycznej z sieci krajowej.

Na podstawie analizy wrażliwości, w której badano wpływ przyjętych założeń obliczeniowych na wyniki oceny środowiskowej i ekonomicznej oraz efektywność technologii PZW metodą szybową do produkcji energii elektrycznej na potrzeby własne kopalni, wskazano determinanty efektywności – czynniki związane z budową, funkcjonowaniem oraz likwidacją technologii.

Wykonane analizy pozwalają odpowiedzieć na pytanie, o ile zmieni się wartość parametru decyzyjnego – wskaźnika efektywności, jeśli wartość zmiennych krytycznych (parametry technologiczne, które wiążą się z największymi nakładami materiałowymi, energetycznymi i kosztowymi) zmieni się o przyjęte odchylenie procentowe.

Wykonane prace umożliwiły realizację zarówno celu naukowego, jak i aplikacyjnego.

Ocena znajomości przedmiotu zagadnienia przez Doktoranta i uwagi krytyczne

W rozprawie wykazano się przeglądem aktualnej literatury obejmującym 172 pozycje, w tym 116 pozycji to literatura obcojęzyczna.

Doktorant podkreśla, że przedstawiane w literaturze wyniki analiz ekoefektywności odnoszą się do różnych wskaźników oceny ekonomicznej i środowiskowej a wytyczne przedstawione w normie PN-EN ISO 14045:2012 nie są wystarczające – dotyczy to zarówno wyboru metod oceny cyklu życia, jak również wyboru metod oceny ekonomicznej.

Poza tym zauważa, że nie ma wytycznych odnośnie wyboru metody oceny cyklu życia do wykonania oceny środowiskowej oraz wyboru metody oceny ekonomicznej.

Nie przedstawiono wyników analiz ekoefektywności technologii PZW metodą szybową, które uwzględniają wszystkie etapy cyklu życia: od budowy instalacji, poprzez okres eksploatacji (produkcja energii elektrycznej) aż do likwidacji instalacji (utyliczacja, rewitalizacja).

Nie ma też wyników dotyczących analiz ekoefektywności technologii PZW w ujęciu środowisko – ekonomia, uwzględniającym warunki krajowe.

Publikacje dotyczą najczęściej: w przypadku oceny środowiskowej LCA, przedmiotowej technologii, jednej kategorii wpływu (emisji gazów cieplarnianych) a w przypadku ocen ekonomicznych nie ma informacji o kosztach jej funkcjonowania.

Wypracowane i przyjęte w przedmiotowej pracy podejście jest nowością w obszarze oceny ekoefektywności technologii PZW metodą szybową resztkowych pokładów węgla, uwzględniającego zarówno ocenę środowiskową jak i ekonomiczną w pełnym cyklu życia technologii.

5. Uwagi dyskusyjne i wątpliwości

Po przeczytaniu ocenianej rozprawy doktorskiej nasuwają mi się pytania.

Wiemy, że do czystych technologii węglowych można również zaliczyć, oprócz PZW, mechaniczną przeróbkę, transport, czy też składowanie węgla.

1. Jaki jest potencjał wykorzystania opracowanej metodyki oceny ekoefektywności dla oceny innych czystych technologii węglowych?
2. Czy opracowana metodyka oceny ekoefektywności może być stosowana do oceny technologii PZW rozszerzonych o procesy sekwestracji ditlenku węgla – Carbon Capture and Storage (CCS)?
3. Czy są jakieś ograniczenia w wykorzystaniu opracowanej metodyki oceny ekoefektywności? Jeśli tak – to jakie i jak można je zminimalizować?
4. Czy wykorzystanie technologii PZW na potrzeby produkcji energii elektrycznej w warunkach krajowych jest uzasadnione?

6. Uwagi szczegółowe i redakcyjne

Rozprawa została starannie zredagowana przez Doktoranta, ale nie uniknął jednak kilku drobnych błędów redakcyjnych:

- str. 14 – (wiersz 16 d) jest „... techniką oceną...”, powinno być „... techniką oceny...”,
- str. 20 – (wiersz 6 g) jest „... pyrolizy...”, wg słownika języka polskiego powinno być „... pirolizy...”.
- str. 39 – (wiersz 14 g) jest „... awaryjna i gazu”, powinno być „... awaryjna dla gazu”,
- str. 51 – (wiersz 10 d) jest „... inwestycji zostanie...”, powinno być „... inwestycji została...”,
- str. 54 – (wiersz 7 d) jest „...efektywność technologia...”, powinno być „...efektywność technologii...”,
- str. 74 – (wiersz 12 d) jest „... wykonania normalizację...”, powinno być „... wykonano normalizację...”,
- str. 83 – (wiersz 8 d) jest „: wyniki wyrażony...”, powinno być „: wynik wyrażony...”,
- str. 90 – (wiersz 3 d) jest „... wzrostu odległość ...”, powinno być „... wzrostu odległości ...”,

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

Podjęcie tematu badawczego i założenia rozprawy doktorskiej uważam za celowe, prawidłowo uzasadnione i mieszczące się w dyscyplinie inżynierii środowiska.

Doktorant wykazuje bardzo dobrą wiedzę na temat metod i sposobów oceny efektywności PZW metodą szybową na potrzeby produkcji energii elektrycznej. Opracował metodykę oceny efektywności i potwierdził jej przydatność.

Dowiódł umiejętności samodzielnego formułowania problemów naukowych oraz prowadzenia badań dla ich rozwiązania wraz z analizą i prezentowaniem wyników.

W moim przekonaniu, przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Piotra KRAWCZYKA pt.: „Metodyka oceny efektywności podziemnego zgazowania węgla metodą szybową na potrzeby produkcji energii elektrycznej”, przygotowana pod opieką promotora – dr hab. inż. Doroty Burchart-Korol, prof. GIG i promotora pomocniczego dr inż. Zbigniewa Lubosika – GIG, spełnia wszystkie warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.).

Wnioskuje o przyjęcie rozprawy przez Radę Naukową Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

