

Kraków, 04.05.2016

Dr hab. inż. Hubert Latała

Uniwersytet Rolniczy im. Hugona. Kołłątaja w Krakowie
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
ul. Balicka 116B; 30-149 Kraków

RECENZJA

rozprawy doktorskiej dr inż. Izabeli Piaseckiej pt. "Oddziaływania procesorów fotowoltaicznych na środowisko naturalne" zrealizowanej pod kierunkiem naukowym dr hab. inż. Andrzeja Tomporowskiego, prof. UTP i udziałem promotora pomocniczego dr inż. Jacka Kapicy.

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję przedłożonej rozprawy doktorskiej wykonano zgodnie z uchwałą Rady Wydziału i prośbą Dziekana Wydziału Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie z dnia 15 marca 2016 r.

2. Tematyka rozprawy

Ochrona środowiska naturalnego w kontekście korzystania ze źródeł odnawialnych, a w szczególności ich oddziaływania na środowisko rolnicze nie jest do tej pory w pełni określona. Dotyczy to między innymi instalacji fotowoltaicznych, które powszechnie uważane są za źródło czystej energii. Czy w istocie to czysta energia? Wzrost zainteresowania energetyką solarną na świecie spowodował rozwój ilościowy podmiotów produkujących panele fotowoltaiczne. Z jednej strony większa podaż, a z drugiej instalacje PV liczone w wielu krajach w GW mocy zainstalowanej ingerują w środowisko pracy, produkcji rolniczej i egzystencji człowieka. Wpływ ten wynika nie tylko z eksploatacji, ale również z całego procesu technologicznego związanego z przygotowaniem i wytworzeniem elementów elektrowni fotowoltaicznej oraz związany jest z utylizacją produktu po jego wykorzystaniu. Problematyka ujmująca powyższy zakres oddziaływania na otoczenie znalazła się w obszarze zainteresowania Doktorantki, która podjęła zadanie wielopłaszczyznowej oceny wpływu generatorów fotowoltaicznych na środowisko naturalne.

3. Ocena formalna

Rozprawa doktorska, której tematyka dotyczy wpływu źródła fotowoltaicznego na środowisko naturalne kapitalnie wpisuje się w zagadnienia obejmujące swym zasięgiem szeroką problematykę oceny ekologiczno-energetycznej stosowanych produktów. Mnogość zagadnień i ich złożoność do tej pory była przyczyną pomijania wielu czynników degradujących nasze środowisko. Polityka zrównoważonego rolnictwa, gospodarka żywnościowa oraz dbałość o wypracowaną jakość i markę polskich produktów rolniczych to przykład głównych obszarów, które wymagają wiedzy na temat oddziaływania wyposażenia technicznego na środowisko. Jednym z takich wycinków wiedzy jest przedstawiona dysertacja zawierająca praktyczne dane dotyczące kompleksowej oceny szkodliwości zastosowanej elektrowni fotowoltaicznej. Obciążenia, na które narażone jest środowisko w cyklu istnienia takiej elektrowni to nie tylko eksploatacja źródła PV, ale także wytworzenie elementów składowych (potrzeby surowcowe i energetyczne, odpady) i po okresie eksploatacji oddziaływanie poprodukcyjne tych elementów.

Zakres zrealizowanej dysertacji został przez Doktorantkę podzielony na trzy zagadnienia. Pierwsze z nich dotyczyło cyklu istnienia elektrowni fotowoltaicznej i obejmowało analizą aktualny stan wiedzy na temat wszystkich jego etapów (od wytworzenia do zagospodarowania użytkowego). Drugie objęło swym zasięgiem propozycję metodologii analiz ekologiczno-energetycznych elektrowni fotowoltaicznej o mocy 1 MW pod kątem obciążeń wprowadzanych do środowiska rolniczego. W trzecim Autorka określiła poziomy szkodliwości oddziaływań na środowisko rolnicze w cyklu istnienia elektrowni PV wraz z dominującymi obszarami obciążenia. Podsumowaniem tych analiz było porównanie wpływu na środowisko elektrowni fotowoltaicznej i najpopularniejszych konwencjonalnych źródeł energii.

Podjęta przez Doktorantkę tematyka ma znaczenie praktyczne, co jest ważne ze względu na klasyfikację w naukach aplikacyjnych i mieści się w dyscyplinie inżynieria rolnicza.

3. Ocena merytoryczna

Recenzowana dysertacja składa się ze 196 stron maszynopisu zawartych w 5 merytorycznych rozdziałach. Pierwszy z nich zawiera trzy podrozdziały. Geneza to krótkie wprowadzenie w problematykę odnawialnych źródeł energii i ich oddziaływania na środowisko rolnicze.

Kolejny to to cel pracy i problem badawczy, który właściwie powinien wynikać z określenia aktualnego stanu wiedzy przedstawionego w przeglądzie literatury. Jest to jednak szeroko i wyczerpująco przedstawione w rozdziale drugim.

Szerokie i złożone zadanie jakie postawiła sobie Autorka do rozwiązania stanowi cel pracy, który został przygotowany poprawnie. Sformułowała również zasadniczy problem naukowy dotyczący wpływu elementów elektrowni fotowoltaicznej na środowisko rolnicze, zdrowie ludzi i zasoby surowców. Realizacja celu została podzielona na sześć zadań badawczych, które pomogły Doktorantce zrealizować cel pracy według przyjętego zakresu pracy.

Drugi rozdział na początku definiuje etapy istnienia instalacji fotowoltaicznej poczynając od sformułowania potrzeb już w czasie produkcji, aż do zagospodarowania użytkowego jej elementów. Kolejno została przedstawiona charakterystyka dostępnego promieniowania słonecznego służąca do określenia zakresu pracy elektrowni PV. Konwersja promieniowania słonecznego odbywać się może w różnego rodzaju ogniach. Autorka w podrozdziale dotyczącym produkcji ogni fotowoltaicznych zawarła szerokie i wyczerpujące informacje dotyczące ich budowy i technologii wytwarzania. W ten sposób zwracając uwagę na użycie surowców, złożoność i energochłonność procesu technologicznego powstawania różnych rodzajów paneli PV. Podejście takie przygotowuje materiał jaki należy brać pod uwagę przy ocenie oddziaływania środowiskowego. W tym rozdziale na stronie 23 podana jednostkowa wartość mocy gontu asfaltowego „ 30 kWp/m^2 ” wydaje się mało prawdopodobna. Podobnie na stronie 30 stwierdzenie „... systemy dołączone do sieci... W pewnych okresach (przy odpowiednim nasłonecznieniu) oddają energię do sieci, a w pozostałym – pobierają”. Jest to stwierdzenie poprawne, ale mało precyzyjne ze względu na fakt zasilania falowników z sieci energetycznej. Z własnego doświadczenia – energia zużyta na swoje potrzeby przez falownik o mocy 5 kW w ciągu roku wyniosła tylko 0,5 kWh (praca ciągła).

Podrozdział 2.5. – zagospodarowanie użytkowe – zawiera między innymi własne opracowania schematów dotyczących przepływu materiałów w systemie recyklingu modułów fotowoltaicznych, czy też literaturowe przykłady linii technologicznych do odzysku krzemu. Zawarte w tym podrozdziale informacje zwracają uwagę na wykorzystanie nie tylko materiałów i surowców w cyklu istnienia produktu, ale również recykling krócej pracujących elementów elektrowni.

Na koniec rozdziału drugiego Autorka zwraca uwagę na wybrane aspekty wykorzystania energii słonecznej w rolnictwie biorąc pod uwagę jego specyfikę. Wskazuje na poszukiwanie sposobów uniezależnienia się od dostaw energii elektrycznej z sieci ze względu na: nieoczekiwane przerwy, uzyskanie potrzebnej mocy przyłączeniowej, jakość energii itp., wyjaśniając możliwości użycia elektrowni fotowoltaicznych w rolnictwie. Przedstawione w rozdziale 2 zagadnienia związane z określeniem etapów istnienia instalacji fotowoltaicznej przygotowały grunt do wskazania procesów obciążających środowisko rolnicze przez to źródło.

Obiektem badań prowadzonych przez Doktorantkę była elektrownia fotowoltaiczna o mocy 1 MW zlokalizowana w północnej części Polski. Zastosowano konstrukcję wsporczą (stal ocynkowana) z dwoma podstawami ze względu na bardzo długie rzędy. Tu Autorka nie precyzuje co oznacza określenie „bardzo długie”. Jednocześnie podając dokładną konfigurację mocowania paneli PV w pozycji pionowej i poziomej. Zastosowano panele z krzemu polikrystalicznego o mocy 240 W każdy. Szczegółowy opis oraz dane techniczne paneli zostały przedstawione w Tablicy 3.1. na stronie 46.

Elementy instalacji elektrycznej to kolejne źródło materiałów obciążających środowisko. Tu Autorka wymieniła nazwy tych substancji, które później zostaną użyte do oceny obciążenia środowiska w rozdziale analiza wyników.

Procesy obciążające środowisko rolnicze w cyklu istnienia instalacji fotowoltaicznych to podrozdział, w którym Doktorantka definiuje (uwzględniając przegląd literatury) przebieg faz rozpatrywanych w analizie cyklu istnienia produktu – rys.3.9. strona 51. Powyższy przykład dobrze obrazuje jak zachodzą procesy obciążające i wyznacza dalszy tok postępowania w ich ocenie z uwzględnieniem poszczególnych faz. Autorka przedstawiła je w sposób syntetyczny począwszy od fazy produkcji, przez fazę eksploatacji i na fazie zagospodarowania użytkowego kończąc. Obciążenia te to: pobierane z otoczenia materiały i nośniki energii, zanieczyszczenia i odpady wprowadzane do środowiska rolniczego, wykorzystanie gruntów i ich deformacja oraz oddziaływanie na rolnicze środowisko pracy. Na każdym etapie istnienia instalacji fotowoltaicznej pojawiają się odpady. Struktura ich generowania i wykorzystania przedstawiona została na rys.3.14. strona 56.

Zdefiniowane procesy obciążające środowisko rolnicze wymagają określenia również ich ilościowego wpływu. Sposób ich kwantyfikacji w pracy doktorskiej Autorka przedstawiła w rozdziale 3.3. opisując na podstawie literatury wiele wskaźników, wskaźników kategorii (uwzględniające efekty pośrednie) i metody stosujące efekty pośrednie i końcowe (zawierające obszerną listę oddziaływań na środowisko rolnicze). Jedną z nich jest metoda Ekowskażnik 99 grupująca kategorie szkód (ludzkie zdrowie, jakość ekosystemu, ilość i jakość zasobów) wraz z określającymi te kategorie oddziaływaniami (Tablica 3.3. str. 64). Metodą tą Autorka posłużyła się do określenia szkód w rozdziale analiza wyników.

Kompleksowe podejście do określenia wielkości oddziaływania na środowisko rolnicze Doktorantka przedstawiła w rozdziale 3.4. W ocenie tak rozumianego wpływu zastosowanie ma metoda LCA (*Life Cycle Assessment*) stanowiąca proces oceny efektów, jaki dany wyrób wywiera na środowisko podczas cyklu istnienia. W opisie tej metody (strona 82) Autorka użyła określenia „...analiza LCA stanowiąca metodologię analiz ekologiczno-energetycznych...”.

Powinno być użyte sformułowanie „...analiza LCA stanowiąca metodykę analiz...”, bo metodologia to nauka o metodach badań i ich wartości poznawczej.

Analiza LCA objęła cztery fazy: określenie celu i zakresu, analizę zbioru wejść i wyjść, ocenę wpływu cyklu istnienia i interpretację. Dane do analizy pozyskano w drodze wywiadu bezpośredniego i baz danych zawartych w programie SimaPro 7.1. Program ten również posłużył do przeprowadzenia analizy LCA. Dokładniej mówiąc Doktorantka wykorzystwała cztery metody udostępnione przez program SimaPro. Należały do nich: Ekowsłaźnik 99, CED, IPCC i CML, których efekty przedstawiono w rozdziale analiza wyników.

Autorowi recenzji trudno ocenić wkład Doktorantki w przygotowanie materiałów do analizy wpływu instalacji fotowoltaicznej na środowisko rolnicze. Obiekt analizy i jego elementy zostały wyszczególnione, ale narzędzie, z którego korzystała Autorka zawierało wiele danych już opracowanych. Pewnym wytłumaczeniem może być fakt opracowania schematów dotyczących sygnałów wejścia/wyjścia na przykład w procesach produkcji czy zagospodarowania użytkowego. Zastosowana zaś metoda umożliwia w sposób dość elastyczny opracowanie swojej struktury oceny wpływu na środowisko.

Rozdział 4 zawiera szeroką i dogłębną analizę wyników, którą Doktorantka wykonała na podstawie wcześniej przedstawionych metod badań. Należą do nich metody: Ekowskaźnik 99, CED (*Cumulative Energy Demand*), IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) i CML (*Centre for Milieukunde, Leiden*).

Stosując metodę Ekowskaźnik 99 Autorka przedstawiła wpływ oddziaływania instalacji PV na środowisko w fazach: produkcyjnej, eksploatacyjnej i zagospodarowania użytkowego. Przy czym zagospodarowanie użytkowe zostało ograniczone tylko do recyklingu i wysypiska odpadów. Wyniki zostały pogrupowane na trzy etapy analiz. Pierwsza dotyczyła charakterystyki w czterech jednostkach: wpływ na zdrowie człowieka, wpływ na zwierzęta, wpływ na rośliny i zużycia energii (wydobycie surowców). Wyniki przedstawiono na w tablicach od 4.1 do 4.3 oraz na wykresach od 4.1 do 4.26. Wynika z nich, że niekorzystny wpływ generuje przede wszystkim faza produkcji i wysypisko odpadów. W znakomitej większości to recykling ogranicza szkodliwe oddziaływanie na środowisko.

Drugi etap obejmował normalizację wcześniej przedstawionych wyników w odniesieniu do negatywnego wpływu przypadającego na jednego Europejczyka. Znormalizowane wartości odniesienia Autorka podała w Tablicy 3.4. na stronie 65. Etap ten daje możliwość oceny dystansu między analizowaną wielkością a wielkością docelową i stanowi punkt wyjścia do etapu grupowania i ważenia. Przedstawione w tym etapie wyniki w tablicach od 4.7 do 4.14 i rysunkach od 4.28 do 4.57 wskazują na fazę produkcji elementów do budowy elektrowni

fotowoltaicznej o mocy 1 MW jako najwyższy poziom szkodliwego oddziaływania na otoczenie. Należy tu zwrócić uwagę na wyniki związane z oddziaływaniem na środowisko wodne, gdzie źródłem głównego obciążenia jest wysypisko odpadów.

Kolejna forma oceny negatywnego wpływu na środowisko przez elektrownię PV dotyczy użycia metody LCA z zastosowaniem numerycznego modelowania. Analiza przeprowadzona przez Doktorantkę dotyczyła zużycia energii (CED) i wielkości emisji gazów cieplarnianych (IPCC).

Metoda CED pozwala na wyodrębnienie dwóch obszarów pozyskiwania energii niezbędnej w cyklu istnienia elektrowni fotowoltaicznej dla źródła energii nieodnawialnej i odnawialnej. Dla analizowanego w rozprawie doktorskiej obiektu zarówno jeden i jak i drugi rodzaj energii był wykorzystywany w największym stopniu w fazie produkcji. Choć ilość energii odnawialnej ze względu na jej okresowość i dostępność w warunkach krajowych jest ograniczona.

Kolejna metoda zastosowana przez Doktorantkę pozwoliła na ilościową ocenę wpływu gazów cieplarnianych w przeleczeniu na ilość emitowanego CO₂. Szczególnie istotna jest informacja dotycząca ilości kopalnych gazów. To one głównie wpływają na niekorzystny bilans naszej atmosfery. W tym przypadku również faza produkcji jest największym emitorem tych gazów.

Ostatnią metodą jaką zastosowała Autorka w swojej pracy była analiza CML wykonana w oprogramowaniu SolidWorks Sustainability 2013. W wyniku tej analizy uzyskano dane dotyczące wartości śladu węglowego, całkowitej zużytej energii, zakwaszenia powietrza oraz eutrofizacji wody. Otrzymane wyniki przedstawiono na tablicy 4.27 i rysunkach 4.66 i 4.67.

Uzupełnieniem przedstawionych wyników badań i ich analizy jest podrozdział 4.4., w którym Doktorantka przedstawiła porównanie negatywnego wpływu najważniejszych elementów elektrowni fotowoltaicznej. Elementy te to: panele fotowoltaiczne, konstrukcje wsporcze, stacja inwertorowa i instalacja elektryczna. Z analizy wynika, że panele fotowoltaiczne mają największy łączny poziom szkodliwego oddziaływania na otoczenie. Poprawa może nastąpić jedynie poprzez zastosowanie recyklingu. Autorka przedstawiła również wyniki grupowania i ważenia następstw środowiskowych wybranych tworzyw i materiałów wchodzących w skład elementów elektrowni fotowoltaicznej (rys.4.71. str. 166). Największy wpływ na otoczenie mają: srebro, nikiel miedź, poliamid ołów, kadm itd.

Dysertacja była by niepełna bez porównania źródła opartego o technologię konwersji promieniowania słonecznego na energię elektryczną z innymi źródłami energii. Doktorantka zgodnie z przyjętą metodyką w pracy doktorskiej oraz danymi dostępnymi w programie SimaPro przedstawiła porównanie negatywnego oddziaływania na środowisko rolnicze

procesów pozyskiwania energii z węgla kamiennego, węgla brunatnego, gazu ziemnego, oleju opałowego oraz mix-u energetycznego Polski z pozyskaniem energii z elektrowni fotowoltaicznej. Efektem tej analizy (raczej oczekiwanym) było potwierdzenie najmniejszej szkodliwości systemu fotowoltaicznego.

Podsumowanie, przedstawionej do recenzji pracy, obejmuje zestawienie głównego celu pracy wraz z celami szczegółowymi, w których Doktorantka zestawia zrealizowane zadania przytaczając osiągnięte rezultaty. Jednocześnie wskazując na działania prowadzące z jednej strony do ograniczenia negatywnego oddziaływania, a z drugiej do polepszenia jakości środowiska rolniczego.

Uwagi redakcyjne nie mające wpływu na ocenę merytoryczną:

- str. 38 rys. 2.23. jednostki powierzchni powinny być napisane małymi literami,
- brak uzasadnienia stosowania kropek w liczbach do oddzielenia setek od tysięcy: dotyczy stron 104-106, 110-112, 118-121, 162-168, 170-172. Liczby w tekście mają kropki, natomiast na wykresach i w tablicach kropki nie są używane.

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską ze względu na oryginalny charakter, walory poznawcze i wartość użyteczną oceniam pozytywnie. Stwierdzam, że dysertacja dr inż. Izabeli Piaseckiej rozwiązała problem naukowy i mieści się w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie inżynieria rolnicza. Spełnia zatem wymogi stawiane rozprawom doktorskim wynikające z ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki wraz ze zmianami z dnia 18 marca 2011 roku. Na tej podstawie wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczeniu dr inż. Izabeli Piaseckiej do publicznej obrony.

W przypadku pozytywnej decyzji Rady Wydziału Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie o przyjęciu publicznej obrony i nadaniu stopnia doktora dla pani dr inż. Izabeli Piaseckiej wnioskuję o wyróżnienie jej pracy.



Dr hab. inż. Hubert Latała