dr hab. inż. Piotr Cichociński
Katedra Geomatyki
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
AGH w Krakowie

Kraków, 16 maja 2018 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Kolendo
zatytułowanej
„Metoda oceny zasobów helioenergetycznych i planowania inwestycji solarnych"

1. Wprowadzenie

Przedłożona do oceny dysertacja została napisana pod kierunkiem promotora dr. hab. inż. Andrzej Kobrynia, prof. PB i promotora pomocniczego dr inż. Doroty Anny Krawczyk. Liczy 159 stron, została opatrzona streszczeniami w języku polskim i angielskim, zawiera 63 rysunki i 17 tabel. Tekst rozprawy uzupełnia 27 załączników oraz wykaz terminów i pojęć. Do pracy została dołączona płyta CD, zawierająca tekst rozprawy oraz elektroniczne wersje załączników, zapisane w plikach jpg i pdf. Autor powołuje się na 127 pozycji książkowych i artykułów naukowych, 20 aktów prawnych, 15 źródeł internetowych oraz 9 pozostałych źródeł informacji.

Merytoryczna treść rozprawy została ujęta w osiem rozdziałów, z których większość zawiera podrozdziały stopnia drugiego. Wśród rozdziałów tych można wyróżnić część wstępną w rozdziałach 1 i 2, poświęcone analizie istniejącego stanu wiedzy rozdziały 3 i 4 oraz zasadnicze empiryczne rozdziały 5, 6 i 7, mające stanowić badawczy wkład Doktoranta w podjętą tematykę. Całość kończy krótkie podsumowanie połączone z prezentacją wniosków, zawarte w rozdziale 8. Układ ten jest w zasadzie poprawny, logicznie prezentujący przesłanki pracy, jej tezę i cel, sformułowanie i rozwinięcie problemu, przeprowadzone prace badawcze oraz podsumowanie i wnioski. Praca jest dobrze zredagowana i opracowana od strony edytorskiej, właściwie zilustrowana, a treść napisana w większości poprawnym językiem.

2. Przegląd treści zawartych w pracy

W rozdziale 1 (liczącym 2 strony) Doktorant przedstawił motywację dla podjęcia tematu badań, wynikającą z dostrzeżenia braku uniwersalnych rozwiązań metodycznych z zakresu szacowania zasobów helioenergetycznych i planowania inwestycji solarnych, szczególnie takich, które uwzględniałyby uwarunkowania panujące na terenie Polski. Sformułował tam też cenną myśl, niestety nierozwijaną dalej, że oprócz przeznaczenia terenu na inne cele, kluczowe jest zdefiniowanie w planach zagospodarowania przestrzennego obszarów związanych z produkcją energii, szczególnie tych bazujących na wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii (OZE).

Cel pracy, obejmujący *opracowanie uniwersalnej w skali kraju metody szacowania zasobów helioenergetycznych i planowania inwestycji solarnych, bazującej na implementacji technologii GIS&T, analiz wielokryterialnych oraz wykorzystaniu danych przestrzennych zgromadzonych w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym (PZGiK)* Autor zaprezentował w bardzo krótkim rozdziale 2. Została tam też sformułowana teza rozprawy w następującym brzmieniu: *Zintegrowanie danych o potencjale helioenergetycznym i wyników analiz wielokryterialnych pozwala na skuteczne planowanie najkorzystniejszych rozwiązań w zakresie inwestycji solarnych.*

Wydział Budownictwa
i Inżynierii Środowiska
Wpłynęło dn. 21.05.2018 r.

Na 35 stronach rozdziału 3, podzielonego na pięć podrozdziałów Autor zajął się, poprzez badania literaturowe, analizą istniejącego stanu wiedzy w zakresie technicznych możliwości wykorzystania energii promieniowania słonecznego. W pierwszym podrozdziale zaprezentował energię promieniowania słonecznego jako alternatywne źródło energii. Zdaniem Recenzenta zbyt wiele uwagi poświęcił procesom zachodzącym we wnętrzu i na powierzchni Słońca. W podrozdziale drugim skupił się na przedstawieniu rozwiązań technicznych, pozwalających na wykorzystanie potencjału solarnego. Podrozdział trzeci zawiera analizę uwarunkowań i kierunków planowania inwestycji solarnych w Polsce. Po przedstawieniu w podrozdziale czwartym matematycznych metod wielokryterialnych Doktorant dokonał w podrozdziale piątym zestawienia w postaci obszernej tabeli, stosowanych przez innych badaczy miękkich i twardych kryteriów lokalizacji inwestycji solarnych na przykładzie wolnostojących elektrowni fotowoltaicznych o mocy 1 MW oraz instalacji z kolektorami słonecznymi montowanymi na dachach budynków mieszkalnych.

W pierwszej części rozdziału 4 Autor dokonał przeglądu narzędzi GIS pozwalających na ocenę potencjału solarnego nawet na rozległych obszarach, przy jednoczesnym uwzględnieniu parametrów wynikających z ukształtowania terenu – spadków, ekspozycji, czy zacieniania, jak również parametrów atmosferycznych, takich jak zachmurzenie. Narzędziem, które najlepiej spełniło postawione warunki, okazał się moduł *r.sun* programu GRASS GIS. W dalszej części tego rozdziału Doktorant przeanalizował wymagane przez oprogramowanie czynniki warunkujące przestrzenno-czasową zmienność potencjału solarnego (w szczególności ukształtowanie terenu, zmętnienie atmosferyczne oraz zachmurzenie) oraz wskazał niezbędne źródła takich informacji. Niedostatkiem w tym fragmencie rozprawy zbyt skromnie przedstawiona charakterystyka bazy danych do obliczeń energetycznych w budownictwie, w tym zwłaszcza brak bardziej szczegółowego opisu typowych lat meteorologicznych oraz zagregowanych danych klimatycznych na potrzeby analiz i symulacji energetycznych budynków.

Zasadniczy wkład badawczy Doktoranta zawarty jest w rozdziałach 5, 6 i 7, liczących w sumie 69 stron. Rozdziały te są poświęcone odpowiednio autorskim metodom: szacowania zasobów helioenergetycznych dla obszaru Polski, automatyzacji procesu oceny przydatności terenu gminy w zakresie lokalizacji wolnostojącej elektrowni fotowoltaicznej oraz planowania instalacji solarnych montowanych na dachach budynków mieszkalnych.

Zaprezentowana w rozdziale 5 procedura analityczna obejmuje obliczenia potencjału solarnego w odniesieniu do promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię poziomą, przy założeniu nieba bezchmurnego, prowadzone z wykorzystaniem modułu *r.sun* programu GRASS GIS. Do uzyskanych wyników wprowadzano następnie poprawki ze względu na zachmurzenie oraz nachylenie analizowanej powierzchni. Uzyskane rozkłady przestrzenne rocznego całkowitego napromieniowania słonecznego zaprezentowano bezpośrednio jako wartości komórek rastra oraz w odniesieniu do jednostek podziału administracyjnego: województw, powiatów i gmin. W tej części rozprawy brakuje szczegółowych informacji na temat sposobu wyznaczenia współczynnika $k_{s,\alpha}$ reprezentującego relacje wartości promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę o ekspozycji południowej i nachyloną do poziomu pod kątem α, do promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię horyzontalną. Można podejrzewać, że ma to związek z zauważoną wcześniej w rozdziale 4 niedoskonałością opisu bazy danych do obliczeń energetycznych w budownictwie.

Rozdział 6 przedstawia autorską metodę, pozwalającą na automatyzację procesu oceny przydatności terenu gminy do posadowienia elektrowni fotowoltaicznej. Doktorant zaproponował zastosowanie wielokryterialnego wspomagania decyzji – metody AHP. Na podstawie przeglądu literatury, zapisów dokumentów prawnych, jak również zasobów danych przestrzennych zgromadzonych w PZGiK opracował zestaw kryteriów wykluczających.

Doboru zestawu kryteriów miękkich, wraz z ustaleniem ich ważności (wag), dokonał na podstawie badania ankietowego, przeprowadzonego wśród gmin na terenie Polski. Brakuje tu, chociażby najkrótszego przedstawienia teorii badań ankietowych. Procedura analityczna została zapisana w postaci dwóch modeli zbudowanych w aplikacji ModelBuilder oprogramowania ArcGIS firmy Esri. Pierwszy z modeli uwzględnia szereg kryteriów o charakterze wykluczającym, natomiast model drugi służy do wyznaczeniu stopnia przydatności analizowanych terenów na podstawie zbioru kryteriów miękkich. Metoda została pozytywnie zweryfikowana na przykładzie dwóch gmin położonych na terenie województwa podlaskiego.

Rozdział 7 poświęcony jest metodzie planowania instalacji solarnych montowanych na dachach budynków mieszkalnych. Podobnie jak wcześniej, Doktorant założył zastosowanie wielokryterialnego wspomagania decyzji – metody AHP Zgodnie z przyjętą praktyką realizacji złożonych projektów GIS, Autor podzielił prowadzone w proponowanej metodzie działania na pięć etapów: pozyskania, oceny jakości i przygotowania danych wejściowych; budowy trójwymiarowego modelu zabudowy mieszkaniowej wraz z otoczeniem na poziomie szczegółowości LoD2/LoD3; wyznaczenia klas przydatności połaci dachowych do montażu urządzeń solarnych; wybór połaci dachowych należących do budynków mieszkalnych; wyznaczenie propozycji rozmieszczenia kolektorów na dachach budynków mieszkalnych wraz z prezentacją wyników na trójwymiarowym modelu rzeczywistości. Etap III został zautomatyzowany poprzez zbudowanie modelu analizy w stosowanej już wcześniej aplikacji ModelBuilder. Chociaż nie jest to jednoznacznie napisane, to można podejrzewać, że etap V polega na manualnym określaniu lokalizacji poszczególnych kolektorów. Wątpliwości Recenzenta budzi zastosowanie w jednym projekcie danych z lotniczego skaningu laserowego o rozdzielczości ok. 10 cm i obrysów budynków z bazy danych BDOT10k, charakteryzującej się dokładnością położenia nie większą niż 1 m. Praktyczne zastosowanie metody zaprezentowano na przykładzie wybranego fragmentu osiedla mieszkaniowego zlokalizowanego na terenie Białegostoku.

W rozdziale 8 (liczącym 3 strony) Doktorant stwierdza, że uznaje tezę pracy za udowodnioną. Ponadto prezentuje wnioski wynikające z przeprowadzonych badań.

Kolejny element rozprawy stanowi spis literatury, na którą składa się 127 pozycji książkowych i artykułów naukowych, 20 aktów prawnych, 15 źródeł internetowych oraz 9 pozostałych źródeł informacji. 75 publikacji (ok. 60%) pochodzi z wydawnictw o zasięgu międzynarodowym (w języku angielskim i francuskim). Zarówno liczba pozycji wykorzystanej literatury, jak i jej struktura są zadowalające. Należy natomiast zwrócić uwagę na dwie kwestie, związane z opisem pozycji bibliografii oraz odwoływaniem się do nich w tekście pracy. Zastrzeżenia Recenzenta budzi sposób opisania źródeł internetowych. Opis ten powinien, podobnie jak w przypadku pozycji książkowych i artykułów, oprócz adresu internetowego obejmować autora (jeżeli jest znany), nazwę konkretnej strony i tytuł portalu. Umożliwiłoby to stosowanie w tekście odwołań w postaci (Autor, rok), zamiast czasami długich i mało czytelnych adresów. Także odwołania do aktów prawnych poprzez wskazanie wyłącznie numeru Dziennika Ustaw, zamiast na przykład tytułu, utrudniają czytanie rozprawy.

Tekst pracy zamyka wykaz terminów i pojęć oraz spisy rysunków i tabel. Terminy i pojęcia nie zostały ułożone w kolejności alfabetycznej, co utrudnia korzystanie z wykazu. Być może lepiej by było, gdyby wykaz nie „chował się" na końcu pracy, lecz został wyróżniony na jej początku. Brakuje też opisu użytych symboli oraz rozwinięcia wielu skrótów, które Autor dosyć swobodnie i czasem wydaje się, że bez potrzeby oraz należytego objaśnienia wprowadza (na przykład PV na oznaczenie [elektrowni] fotowoltaicznej).

Ostatnim elementem rozprawy jest 27 załączników, głównie kartograficznych. Brakuje spisu tych załączników.

Na podstawie powyższego przeglądu można stwierdzić, że treść pracy odpowiada tematowi określonemu w tytule.

3. Merytoryczna ocena rozprawy doktorskiej

Zgodnie z zapisami Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora, recenzja zawiera szczegółowo uzasadnioną ocenę spełniania przez rozprawę doktorską warunków określonych w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki: „Rozprawa doktorska (...) powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązanie problemu w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne, lub oryginalne dokonanie artystyczne, oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej."

a. Ocena oryginalności rozwiązania problemu naukowego

Doktorant postawił następujący cel pracy: *opracowanie uniwersalnej w skali kraju metody szacowania zasobów helioenergetycznych i planowania inwestycji solarnych, bazującej na implementacji technologii GIS&T, analiz wielokryterialnych oraz wykorzystaniu danych przestrzennych zgromadzonych w Państwowym Zasobie Geodezyjnym i Kartograficznym (PZGiK).* Zdaniem Recenzenta cel ten został osiągnięty, a o oryginalności rozwiązania problemu badawczego świadczy dokonany przez Doktoranta przegląd literatury, który pozwolił Mu stwierdzić, że brakuje obecnie uniwersalnych rozwiązań metodycznych z zakresu szacowania zasobów helioenergetycznych i planowania inwestycji solarnych, uwzględniających uwarunkowania panujące na obszarze Polski. Dlatego w pierwszej kolejności zaproponował podejście pozwalające na szacowanie zasobów helioenergetycznych dla obszaru całej Polski z wykorzystaniem modelu *r.sun*. Metoda ta pozwoliła na wyznaczenie zasobów helioenergetycznych w warunkach rzeczywistych w odniesieniu do powierzchni poziomej oraz płaszczyzn nachylonych. Szczególną uwagę zwrócił Doktorant na kwestię uwzględniania roli zachmurzenia w procesie obliczeń potencjału solarnego, dokonując porównania dwóch podejść służących do jego modelowania. Ma to zwłaszcza znaczenie w sytuacji niewielkiej liczby stacji aktynometrycznych w Polsce.

Druga z opracowanych metod jest szczególnym przypadkiem zastosowania analiz lokalizacyjnych do określenia przydatności terenu do posadowienia elektrowni fotowoltaicznej. Doktorant zdecydował o użyciu wielokryterialnego wspomagania decyzji – metody AHP. Zestaw kryteriów wykluczających opracował na podstawie przeglądu literatury, zapisów dokumentów prawnych, jak również zasobów danych przestrzennych zgromadzonych w PZGiK, natomiast w doborze kryteriów miękkich oraz ustaleniu ich ważności (wag), wykorzystał badania ankietowe prowadzone w gminach na terenie Polski.

Jako trzecią zaproponował Doktorant metodę wyznaczenia stopnia przydatności połaci dachowych do posadowienia instalacji solarnych. Polega ona na wyznaczeniu na podstawie trójwymiarowego modelu zabudowy klas przydatności połaci dachowych do montażu urządzeń solarnych, dokonaniu wyboru połaci dachowych należących do budynków mieszkalnych i ostatecznie przedstawieniu propozycji rozmieszczenia kolektorów na dachach budynków mieszkalnych wraz z prezentacją wyników w formie katastru solarnego 3D.

Pozytywne wyniki zastosowania proponowanych metod drugiej i trzeciej na wybranych obszarach województwa podlaskiego pozwalają stwierdzić prawdziwość postawionej na wstępie tezy o treści: *Zintegrowanie danych o potencjale helioenergetycznym*

i wyników analiz wielokryterialnych pozwala na skuteczne planowanie najkorzystniejszych rozwiązań w zakresie inwestycji solarnych. Autorowi udało się zautomatyzować całość działań koniecznych do wykonania w metodzie drugiej oraz jeden etap metody trzeciej poprzez zbudowanie odpowiednich modeli analiz. Niestety z niezbyt precyzyjnego opisu można wywnioskować, że ostatni etap wymaga manualnego określenia lokalizacji poszczególnych kolektorów. Otwiera to jednak pole dalszych badań.

Opierając się na powyższych rozważaniach, a w szczególności biorąc pod uwagę postawiony w dysertacji cel i sformułowaną tezę Recenzent stwierdza, że Doktorant określił w rozprawie problem badawczy, a następnie przedstawił jego oryginalne rozwiązanie.

b. Opinia o ogólnej wiedzy teoretycznej Kandydata

Praca prezentuje dogłębną wiedzę Doktoranta dotyczącą systemów informacji przestrzennej (GIS), w szczególności w zakresie przestrzennych analiz wielokryterialnych, automatyzacji procesów analiz oraz przetwarzania danych przestrzennych. Może On także pochwalić się znajomością zagadnień związanych z szacowaniem zasobów helioenergetycznych i planowaniem inwestycji solarnych.

c. Opinia o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Doktorant pokazał, że potrafi stawiać przed sobą zadania, definiować i realizować cele, a następnie formułować wnioski wynikające z przeprowadzonych badań, czyli potrafi samodzielnie prowadzić pracę naukową.

4. Uwagi szczegółowe

Recenzent docenia nakład pracy włożony przez Autora w pozyskanie i przygotowanie niezbędnych danych przestrzennych, przeprowadzenie i opracowanie wyników ankiet skierowanych do wszystkich gmin w Polsce oraz zbudowanie złożonych modeli analitycznych.

Chociaż Recenzent dobrze ocenia stronę edytorską rozprawy, to jednak Autor nie ustrzegł się drobnych niedociągnięć:

- Zdarzają się błędy w składni zdań, literowe, a nawet ortograficzne.
- Często, zamiast właściwego „liczba", występuje „ilość".
- Nadużywany jest termin „implementacja".
- W kilku miejscach pracy (str. 14, str. 112) powtarza się sformułowanie „*inwestycji* solarnych montowanych na dachach". Chodzi chyba o „*instalacje*"?
- Rys. 3.4 (str. 21): dwukrotnie występują elementy „Rolnictwo 'suszarnictwo'" i „Procesy przemysłowe".
- W porównaniu z szerokim opisem innych rozwiązań technicznych, pozwalających na wykorzystanie potencjału solarnego, zaskakuje skierowanie czytelnika do źródeł literaturowych w przypadku ogniw fotowoltaicznych.
- Nie ma potrzeby podawania procentowego udziału energii ze źródeł odnawialnych oraz mocy elektrowni w rozdziale 3.3 z precyzją do dwóch miejsc dziesiętnych. Podobnie w podrozdziałach rozdziałów 5 i 7.
- W spisie literatury nie ma pozycji (BDL 2016) przywoływanej na str. 32.
- Str. 38: standard CityGML i jego poziomy szczegółowości (LoD) nie zostały opisane w tekście pracy, a dopiero w wykazie terminów i pojęć; niezrozumiałe sformułowanie „rozwiązaniach sieciowych"; elektrownie skoncentrowanej energii słonecznej CSP, kominy solarne – nieopisane wcześniej.
- Str. 39: wyrwane z kontekstu odwołanie do Infrastruktury Informacji Przestrzennej.

- Rys. 4.2 (str. 55): Recenzent nie dostrzega różnicy między mapami A i B.
- Autor zamiennie stosuje terminy „dane wEjściowe" i „dane wYjściowe". Powinny być chyba tylko „wEjściowe" (od „na wejściu").
- Str. 68: brakuje zacytowania definicji „średniego dnia miesiąca".
- Str. 89: rozbieżność numeracji kryteriów B między listą, a opisem w tekście na kolejnej stronie (B.19, B.20, B.22).
- Zastosowanie liter A i B do oznaczenia jednocześnie kryteriów twardych i miękkich.
- Załączona płyta CD jest niepodpisana.
- Modele przedstawione w załącznikach 18, 19 i 27 są nieczytelne. Być może dałoby się pokazać je we fragmentach. Prezentacje okien narzędzi zasługują na samodzielne, większe ilustracje.

Ponadto Recenzent prosi o udzielenie podczas obrony odpowiedzi na następujące pytania:

- Jak Doktorant wyjaśni rozbieżność między stwierdzeniem na temat promieniowania odbitego: „nie mające z reguły znaczącego udziału w całkowitym bilansie promieniowania" (str. 19), a informacją na temat układu luster i blach lustrzanych, „których zadaniem jest dodatkowe koncentrowanie światła rozproszonego" w kolektorach (str. 23)?
- Str. 36: czym są wagi globalne i lokalne?
- Tabela 5.1 (str. 71): w jaki sposób zostały wyznaczone obszary zurbanizowane?
- Rys. 5.5 (str.74): czym podyktowany był wybór narzędzi *v.vol.rst* i *v.surf.rst*?
- Str. 84: czy Doktorant zastanawiał się, z czego wynikają różnice wartości napromieniowania dla analizowanych kątów nachylenia płaszczyzny w poszczególnych miesiącach?
- Str. 89: jak należy rozumieć „(B.17) tereny innych kompleksów użytkowania terenu" i „(B.21) inne obszary wykluczające"?
- Str. 92: dlaczego do oceny stopnia zasadności stosowania poszczególnych kryteriów użyto 7-stopniowej skali Linkerta?
- Str. 115: proszę wyjaśnić, w jaki sposób była generowana mapa cieniowania przy 16-kierunkowym oświetleniu oraz jakie są jej wady i zalety.

5. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że Doktorant zrealizował zamierzony cel i zakres badań objętych rozprawą, wykazując słuszność tezy o treści: *Zintegrowanie danych o potencjale helioenergetycznym i wyników analiz wielokryterialnych pozwala na skuteczne planowanie najkorzystniejszych rozwiązań w zakresie inwestycji solarnych*. Wśród przedstawionych w rozprawie wyników badań można wyróżnić samodzielny i oryginalny dorobek naukowy Doktoranta. Wymienione powyżej uwagi krytyczne wskazują jedynie na ujemne cechy rozprawy, nie umniejszając znaczenia przedstawionych przez Doktoranta propozycji rozwiązań.

Mając na uwadze przytoczone w powyższej recenzji oceny: oryginalności rozwiązania problemu naukowego, ogólnej wiedzy teoretycznej Kandydata oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, jak też w świetle powyższej uwagi podsumowującej uważam, iż przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Łukasza Kolendo spełnia warunki formalne i zwyczajowe stawiane rozprawom doktorskim i tym samym wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Piotr Gilarek