



Wrocław, 17.12.2023 r.

Prof. dr hab. inż. Witold Rohm
Instytut Geodezji i Geoinformatyki
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Mierzwiaka w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.

1. Wstęp

Prognozowanie warunków atmosferycznych, przestało być tylko domeną codziennych wyborów dotyczących odpowiedniego ubioru, planowaniu środka transportu, podejmowania aktywności sportowych czy organizacji plenerowych imprez kulturalnych czy sportowych. Po za ochroną życia i zdrowia ludności cywilnej (podtopienia, zagrożenia wyładowaniami atmosferycznymi, huraganowym wiatrem czy gradem) i planowaniem operacji wojskowych i humanitarnych, prognoza pogody stała się również elementem gospodarki opartej na wiedzy. Prognozy pogody zasilają systemy precyzyjnego rolnictwa, wspomagają walkę z epidemiami, podnoszą bezpieczeństwo transportu drogowego, kolejowego i lotniczego.

Ze względu na rosnącą rolę odnawialnych źródeł energii (w tym głównie z wiatru i promieniowania słonecznego), wysokiej jakości prognoza pogody stała się poszukiwanym towarem rynkowym, wspierającym handel energią odnawialną na krótkoterminowych kontraktach. Wartość zakontraktowanej produkcji energii ze źródeł odnawialnych jest w zasadzie bezpośrednią konsekwencją warunków wietrznych i solarnych, a w związku z tym niezawodna wiedza o nadchodzącej produkcji energii jest elementem obniżającym ryzyko kontraktów a przez to przedmiotem obrotu rynkowego.

Tematyka badań podjęta przez Pana mgr inż. Michała Mierzwiaka w rozprawie doktorskiej p.t. „Modelowanie meteorologicznych danych przestrzennych na potrzeby krótkoterminowych prognoz warunków solarnych w Europie Środkowo-Wschodniej”, wpisuje się w trend poszukiwania kompleksowego systemu prognozowania warunków solarnych dla wybranego obszaru Europy by wspomagać produkcje energii elektrycznej z OZE. Praca opiera się na modyfikacji parametrów istniejącego rozbudowanego narzędzia prognostycznego jakim jest model Weather Research and Forecasting, tak by ten realizował najbliższe rzeczywistości krótkie prognozy warunków solarnych (24h / 48h).



2. Manuskrypt

Praca jest zbiorem pięciu artykułów naukowych jednego w czasopiśmie *Reports on Geodesy and Geoinformatics* (De Gruyter), jednego w *Remote Sensing* oraz trzech w *Energies* (dwa ostatnie tytuły wydawnictwo MDPI).

Praca została poprzedzona przewodnikiem zawierającym następujące sekcje:

Wprowadzenie – w którym Autor na dwóch stronach przybliży problematykę produkcji energii z OZE, ze szczególnym uwzględnieniem szybkiego rozwoju mocy instalacji a także warunków posadowienie inwestycji i prognoz generacji mocy. Autor dowodzi, że dla obszaru Europy Środkowo-Wschodniej brak jest obecnie kompleksowej analizy jakości predykcji warunków solarnych.

Problem badawczy, cel badań, teza, cykl publikacyjny – w tym rozdziale Autor formułuje tezę badawczą „Optymalna parametryzacja modelu WRF zwiększa sprawdzalność prognoz warunków solarnych w potencjalnych lokalizacjach farm fotowoltaicznych”, którą próbuje powiązać także z potrzebą prowadzenia analiz geoprzestrzennych i analiz klimatologicznych. W efekcie tak postawionego problemu badawczego, Pan mgr Mierzwik sformułował trzy cele szczegółowe: 1) Opracowanie metodyki wyznaczania potencjalnych lokalizacji farm solarnych, 2) Zdefiniowanie optymalnej charakterystyki domen obliczeniowych WRF, 3) Optymalizacja parametryzacji modelu WRF dla konkretnych warunków pogodowych.

Metodyka badawcza - w tym rozdziale Pan mgr Mierzwik w tabeli przyporządkował zdefiniowane w poprzednim rozdziale problemy badawcze, do opublikowanych prac i jednym zdaniem opisał metody rozwiązania ww. problemów (zazwyczaj po prostu analizy i symulacje numeryczne).

Wyniki badań – w zasadzie w tym rozdziale są dwa główne podrozdziały: (4.1) dotyczący wyboru optymalnej lokalizacji dla farm solarnych oraz (4.2) związany z numerycznym prognozowaniem pogody. W pierwszym z nich opisano badania zrealizowane w publikacji nr 1 dotyczące analizy gruntów pod inwestycje fotowoltaiczne w gminie Legionowo, pod Warszawą. Natomiast w podrozdziale 4.2. zawarto wyniki eksperymentów związanych z zagnieżdżaniem siatek obliczeniowych modelu (Publikacja nr 4), parametryzacji chmur konwekcyjnych (cumulus) powstających na skraju chłodnego frontu atmosferycznego wraz z intensywnymi zjawiskami pogodowymi (Publikacja nr 5), parametryzacji procesów promieniowania krótkofalowego (Publikacja nr 3), a także analizy dwunastu lat obserwacji zintegrowanej zawartości pary wodnej dla stacji ASG-EUPOS w Polsce (Publikacja nr 2).

Wnioski i podsumowanie – Autor na dwóch stronach opisał potwierdzenie tezy badawczej oraz realizacji celu badawczego ogólnego a także celi szczegółowych. Brak jednak w tym rozdziale bezpośrednich wniosków z przeprowadzonych badań (np. uzyskanych optymalnych ustawień modelu WRF), czy rekomendacji dla kontynuowanych badań.



3. Ocena

W ewaluacji pracy skupię się na ocenie realizacji tezy pracy, która brzmi „Optymalna parametryzacja modelu WRF zwiększa sprawdzalność prognoz warunków solarnych w potencjalnych lokalizacjach farm fotowoltaicznych”. W związku z powyższym poniżej będę się odnosił głównie do publikacji 3, 4 oraz 5.

W pracach podjęto ważny problem pojawiającego się zachmurzenia, które w strefie klimatycznej wybranej do badań to jest – w strefie klimatu umiarkowanego ciepłego oceanicznego (Cfb) oraz kontynentalnego z ciepłym latem (Dfb) – jest wyjątkowo częste i ogranicza możliwości produkcji OZE. Autor skupił się w swoich rozważaniach na zjawisku frontów atmosferycznych, które stanowią około 40% zjawisk pogodowych ww. obszarach klimatycznych. Zróżnicowanie zjawisk frontowych zostało uchwycone przez dobór przypadków badawczych: frontu chłodnego, ciepłego i zokludowanego a dla porównania także przypadków pozbawionych zachmurzenia (z pogodą zdominowaną przez układy wysokiego ciśnienia).

W publikacji nr 3, Autorzy przeprowadzili kompleksową analizę jakości prognozowanego promieniowania bezpośredniego porównując swoje prognozy z danymi obserwacyjnymi, ale również z reanalizą ERA5. Cenna jest duża świadomość meteorologiczna Doktoranta, który osobno analizuje sytuację zachmurzenia w zależności od tego czy mamy do czynienia z frontem chłodnym, ciepłym czy zokludowanym. Wyniki potwierdzają rozbieżność w jakości prognoz ze względu na użytą parametryzację, z jednej strony to RRTMG a z drugiej to Dudhia, ale też ze względu na rodzaj zjawiska atmosferycznego. Zdecydowanie, najtrudniejsze okazały się do prognozowania przypadki przejścia frontu chłodnego, a także lokalizacje we wnętrzu lądu z większym wpływem lokalnych czynników środowiskowych (Seehausen) niż stacje położone na wybrzeżu (Arkona, Rostok). Mimo zastosowania wysokiej rozdzielczości modelu (d01 - 3000m, d02 - 1000m), prognozy okazały się niższej jakości niż reanalizy dostarczone przez globalny model ERA5 (0.25° x 0.25°) o dużo niższej rozdzielczości. Brak w dyskusji, ale też w metodologii mechanistycznej analizy działania schematu RRTMG oraz schematu Dudhia, uniemożliwia udzielenia odpowiedzi na fundamentalne pytanie, co może powodować lepsze wyniki. Zdecydowanie jest to ważny artykuł, otwierający w zasadzie tematykę prognozowania warunków solarnych, którego konsekwencją są dwa kolejne (4 oraz 5).

Artykuł nr 4 przedstawia dyskusję wpływu rozdzielczości siatek zagnieżdżonych na jakość prognoz warunków solarnych w różnorodnych warunkach pogodowych. Przeanalizowano przypadki wystąpienia na badanym obszarze: ośrodków wysokiego ciśnienia więc i stabilnej sytuacji atmosferycznych (5 na 8 przypadków) jak również w przypadku dynamicznej pogody (3 na 8 przypadków). Przetestowano szereg siatek dwie podwójnie zagnieżdżone (d01 – 3000m, d02 – 1000m; d01 – 5000m, d02 – 1000m) i jedna potrójnie zagnieżdżona (d01 – 9000m, d02 – 3000m, d03 – 1000m). W rezultacie, okazało się, że wpływ potrójnego zagnieżdżenia jest negatywny, a co ciekawe i nieintuicyjnie jakość prognoz 48h była wyższa niż 24h. Jasno wykazano, że dużo trudniej prognozować dynamiczne zjawiska związane z frontem chłodnym niż stabilną sytuację pogodową w przypadku ośrodków wyżowych.



Wydaje się, że publikacja numer 5 była swego rodzaju próbą zmierzenia się z problemem dynamicznych zjawisk atmosferycznych, które występują częściowo na przedpolu frontu chłodnego w postaci na przykład linii konwergencji. Autorzy, podjęli próbę wykorzystania specjalnej parametryzacji, związanej bezpośrednio z powstawaniem chmur konwekcyjnych (schemat Kain – Fritsch), która nieco poprawia prognozę warunków solarnych. Widoczne są pozytywne efekty w zakresie podniesienia korelacji Pearsona, w niektórych przypadkach nowa konfiguracja redukuje wartości błędu średniego (MBE) oraz błędu średniokwadratowego (RMSE). Wykazano, że tego typu modyfikacje pozwalają na kilkuprocentowy wzrost jakości prognoz warunków solarnych. Nie przeprowadzono jednak analizy, jaki byłby wpływ na prognozowane wartości generacji OZE a przez to nieznaną jest wpływ jaki zmiany w parametryzacji miałyby na monetyzację uzyskanych wyników i ich istotność dla odbiorcy. Podsumowując Doktorant przeprowadził szereg analiz, które są wartościowe i wskazują kierunek poszukiwań optymalnej konfiguracji numerycznych modeli prognozy pogody dla potrzeb OZE. Należy się zastanowić czy jest to zestaw parametrów wyczerpujący możliwości optymalizacyjne.

Pozostałe dwie publikacje nr 1 oraz nr 2 stanowią odrębny element pracy, który jest luźno (w najlepszym razie) powiązany z publikacjami nr 3 – 5.

Publikacja nr 1, nie stanowi całościowego ujęcia problemu projektowania lokalizacji farm solarnych, przez brak informacji o strukturze własności. Publikacja ta również bardzo wąsko traktuje przestrzeń geograficzną, skoro przedstawia rozwiązanie problemu wyboru optymalnych lokalizacji tylko dla jednej nizinnej gminy w Polsce. Mnogość uwarunkowań geograficznych występujących choćby tylko na obszarze Polski (wyżyny, kotliny podgórskiej, doliny rzeczne, wybrzeża, przedgórze, tereny górskie) wymagałyby osobnego zestawu kryteriów. Należy także zaznaczyć, że badania zawarte w publikacji 5 demonstrują istotny wpływ warunków lokalnych na warunki solarne, co oznacza, że w analizie powinny także się znaleźć analizy sąsiedztwa (np. rodzaj pokrycia / użytkowania terenu sąsiadującego z lokalizacją farmy). Zdaję sobie sprawę, że jest to pierwsza praca z cyklu, jednak odbiega i tematycznie, i jakościowo od pozostałych.

Natomiast publikacja nr 2 dotyczy klimatologicznego ujęcia problemu rozkładu pary wodnej na obszarze Polski z 12 lat ciągłych obserwacji sieci ASG-EUPOS. W pracy wykazano roczną, półroczną i miesięczną zawartość zintegrowanej pary wodnej nad Polską. Ponadto, zademonstrowano zmienność tego parametru w ujęciu czasowym i przestrzennym. Wreszcie wykazano występowanie istotnego, ale innego niż w obserwacjach radiosondażowych (sic!) trendu zmiany średniej zawartości PW. W mojej ocenie, jest to poznawczo interesująca praca, kotwicząca badania atmosfery technikami GNSS w klimatologii, ale jej powiązanie z tezą pracy i cyklem publikacyjnym jest niewielkie. Żadne obserwacje pochodzące z sensorów GNSS nie zostały użyte w prognozowaniu zachmurzenia, a zawartość pary wodnej nie była analizowana jako element kontrolny w weryfikacji jakości prognoz w pracach 3-5.

W związku z powyższym nasuwa się kilka pytań związanych z cyklem:

- A. Jakiego Pana zdaniem, elementy dodatkowo należałoby uwzględnić w analizie warunków wyboru optymalnej lokalizacji dla farm solarnych, ponad te które zostały opisane w publikacji 1? Czy jest



- Pan w stanie wskazać takie, które były pochodną publikacji 2 a może takie które wynikałyby z publikacji 3-5?
- B. Jak jest zastosowanie PW ze stacji GNSS w optymalnej parametryzacji modelu WRF w celu zwiększenia sprawdzalności prognoz warunków solarnych w potencjalnych lokalizacjach farm fotowoltaicznych? A jakie mogłyby być?
 - C. Czy asymilacja danych zewnętrznych w siatkach zagnieżdżonych (dla której rozdzielczości?), miałyby szanse na podniesienie sprawdzalności prognoz? Jakie mogłyby to być dane?
 - D. W publikacji 3 jedna ze stacji (Seehausen) w stopniu znacznym odbiega jakością prognoz od pozostałych, jaka może być tego przyczyna? Czy może Pan przedstawić propozycję metodyki zmierzającej do identyfikacji powodów rozbieżności na tej stacji i stacjach podobnych (wewnątrz łądu).
 - E. W publikacji 4 w konkluzjach pisze Pan, że 48h prognoza uzyskuje niższe rozbieżności pomiędzy obserwacjami a wartościami prognozowanymi (np. Tabela 7 oraz Tabela 9). Czy po za liczebnością obserwacji wchodzącymi do wyznaczenia miar dokładności, istnieją inne, związane z fizyką modelu, powody, dla których prognoza 48h jest wyższej jakości niż 24h?
 - F. Jakie działania należałoby podjąć by zbudować operacyjny serwis udostępniający prognozy dla farm fotowoltaicznych w Polsce.

4. Podsumowanie

Pan mgr inż. Michał Mierzwiak, przedstawił w postaci cyklu publikacji oraz krótkiego przewodnika, rozprawę doktorską w której udowodnił, że możliwe jest zwiększenie sprawdzalności prognoz warunków solarnych w potencjalnych lokalizacjach farm fotowoltaicznych, przez optymalną parametryzację modelu WRF.

Publikacja nr 1 oraz szczególnie publikacja nr 2 są w niewielkim stopniu powiązane z tezą pracy i ich brak w cyklu niewiele by zmienił. Natomiast prace nr 3, 4 i 5 stanowią o realizacji zamierzeń naukowych i udowodnieniu tezy, sprawdzenie parametryzacji promieniowania krótkofalowego, parametryzacji chmur konwekcyjnych czy wreszcie zagnieżdżenia modeli pozwoliło na kompleksową realizację tematu pracy.

W związku z powyższym, stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Mierzwiaka, spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim określonym w art. 187 ust 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 poz. 74) i wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, Wojskowej Akademii Technicznej o dopuszczenie Pana mgr inż. Michała Mierzwiaka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.