

Łódź, dn. 25 sierpnia 2022 r.

prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak
Instytut Meteorologii i Hydrologii
Wydział Nauk Geograficznych
Uniwersytet Łódzki

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. Piotra Sekuły
pt. „Rola warunków meteorologicznych w kształtowaniu zanieczyszczenia powietrza
pyłem zawieszonym PM10 w obszarach zurbanizowanych o zróżnicowanej rzeźbie
terenu na przykładzie Krakowa”

Recenzję opracowałem na wniosek Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne AGH Pana dr. hab. Łukasza Gondka, prof. AGH, pismo WFIS-b.510-2/22/259/22 z dnia 30 czerwca 2022 r. na mocy Uchwały nr 4/06/RD/2022 Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne AGH z dnia 23 czerwca 2022 r.

Rozprawa doktorska Pana mgr. Piotra Sekuły zatytułowana „Rola warunków meteorologicznych w kształtowaniu zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM10 w obszarach zurbanizowanych o zróżnicowanej rzeźbie terenu na przykładzie Krakowa”, napisana została pod kierunkiem dr hab. inż. Mirosława Zimnocha, prof. AGH (I Promotor) i prof. dr hab. Zbigniewa Ustrnula (II Promotor) w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej w Katedrze Zastosowań Fizyki Jądrowej.

Recenzowana rozprawa, na którą składa się 5 wieloautorskich artykułów, podejmuje tematykę meteorologiczno-topograficznych uwarunkowań koncentracji pyłu zawieszonego PM10 na obszarze Krakowa. Bezpośrednie konsekwencje stanu aerosanitarne powietrza dla zdrowia i życia mieszkańców powodują, że jest to zagadnienie niezwykle istotne, nie tylko jako problem badawczy, lecz również ze względu na możliwości praktycznego wykorzystania w zapobieganiu sytuacji kryzysowych. Zestawione artykuły obejmują dosyć różnorodne aspekty i podejścia do badań warstwy granicznej atmosfery nad miastem położonym we wklęsłej formie terenu, a elementem spinającym je w jednolitą rozprawę doktorską jest ukierunkowanie na poznanie czynników wpływających na koncentrację pyłu zawieszonego PM10. W pracach, składających się na dysertację, przedstawiono oryginalne rozwiązania zdefiniowanych problemów badawczych, niejednokrotnie modyfikujące ugruntowane poglądy dotyczące wpływu wybranych czynników na koncentrację PM10 na obszarze Krakowa.

Chociaż można uznać, że tematyka pracy mieści się w szeroko rozumianej fizyce atmosfery, w moim odczuciu odpowiada ona bardziej dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku niż dyscyplinie nauki fizyczne, do której została przypisana.

Opis rozprawy

Przedstawiona do oceny dysertacja liczy 252 strony zawierające: streszczenie w języku polskim i angielskim (str. 6–9), listę publikacji składających się na rozprawę (str. 10), syntetyczny opis pracy (autoreferat) (str. 11–53), bibliografię (str. 54–63), spis dorobku Doktoranta (granty, konferencje) (str. 64–65), deklaracje udziału autorów (str. 66–96), oraz publikacje składające się na rozprawę (97–252).

Przygotowany przez Autora syntetyczny opis pracy (autoreferat) ma układ typowy dla zwartych tekstów naukowych. W rozdziale wprowadzającym (rozd. 1) analizowany problem badawczy został scharakteryzowany na tle dotychczasowego stanu badań. Następnie (rozd. 2), zdefiniowano cel i koncepcję pracy, sformułowano cele szczegółowe i hipotezy badawcze. Kolejny rozdział (3) zawiera opis obszaru badań ze szczególnym uwzględnieniem ukształtowania terenu. Rozdział 4 poświęcony został danym wykorzystanym w badaniach. W rozdziale 4.1 scharakteryzowano naziemną sieć pomiarową, podając lokalizacje punktów i zakres wykonywanych pomiarów (pomiar meteorologiczne i koncentracja pyłu PM10). Pomiar naziemne uzupełniały badania w profilu pionowym atmosfery (rozd. 4.2) wykonywane przy pomocy bezzałogowego statku powietrznego (drona) oraz balonu na uwięzi, na których zamontowano aparaturę pomiarową. Pomiar dronem wykonywano w ciągu 3 dni, natomiast w przypadku balonu kampania obejmowała 31 dni, podczas których wykonano 317 lotów, otrzymując 634 profile pionowe. Reanalizy (ERA5) oraz typy cyrkulacji wykorzystane w ostatniej publikacji przedstawiono w rozdziałach 4.4 i 4.5. Różnorodne metody pozyskiwania i analizy danych wykorzystywane w publikacjach, w tym wykorzystane oprogramowanie, scharakteryzowano w rozdziale 5. W szczególności zwrócono tu uwagę na: metodykę wyznaczania epizodów wiatru fenowego (5.1); pomiar profili pionowych elementów meteorologicznych i jakości powietrza przy pomocy drona, w tym wprowadzanie odpowiednich poprawek kalibracyjnych (5.2); klasyfikację profili pionowych PM10 pozyskanych z sondazy balonowych (5.3); metody uczenia maszynowego, w szczególności metodę „lasu losowego” (ang. *Random Forest*) (5.4). Rozdział 6 zawiera obszernie streszczenia składających się na dysertację publikacji:

- A1: Sekula P., Bokwa A., Bochenek B., Zimnoch M. (2019). Prediction of Air Temperature in the Polish Western Carpathian Mountains with the ALADIN-HIRLAM Numerical Weather Prediction System. *Atmosphere*, 10(4),
- A2: Sekula P., Bokwa A., Ustrnul Z., Zimnoch M., Bochenek B. (2021). The impact of a foehn wind on PM10 concentrations and the urban boundary layer in complex terrain: a case study from Krakow, Poland. *Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology*, 73(1),
- A3: Sekula P., Zimnoch M., Bartyzel J., Bokwa A., Kud M., Necki J. (2021). Ultra-Light Airborne Measurement System for Investigation of Urban Boundary Layer Dynamics. *Sensors*, 21(9),
- A4: Sekula P., Bokwa A., Bartyzel J., Bochenek B., Chmura L., Galkowski M., Zimnoch M. (2021). Measurement report: Effect of wind shear on PM10 concentration vertical structure in the urban boundary layer in a complex terrain. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(15),
- A5: Sekula P., Ustrnul Z., Bokwa A., Bochenek B., Zimnoch M. (2022). Random Forests Assessment of the Role of Atmospheric Circulation in PM10 in an Urban Area with Complex Topography. *Sustainability*, 14(6).

W rozszerzonych streszczeniach przedstawiono główne ustalenia każdej z publikacji w nawiązaniu to celów szczegółowych rozprawy i postawionych hipotez badawczych. Autoreferat kończy podsumowanie (rozdz. 7), będące w dużej mierze jeszcze bardziej skondensowanym streszczeniem rezultatów uzyskanych w poszczególnych pracach, w tym weryfikacji hipotez badawczych. Dopełnieniem autoreferatu jest zestawienie bibliografii liczące 160 pozycji literatury, głównie angielskojęzycznej.

Autoreferat napisany jest generalnie poprawną polszczyzną, świadczącą o dobrym przygotowaniu Doktoranta do samodzielnej pracy naukowej. Nie uniknął On jednak kilku potknięć językowych, z których najbardziej rażącym jest kilkukrotne stosowanie określenia czujnik „nisko kosztowy” czy „sformułowanie nie udokumentowanych stwierdzeń”.

Ocena merytoryczna rozprawy

Artykuły składające się na ocenianą rozprawę doktorską prezentują wysoki poziom merytoryczny. Opublikowane zostały w renomowanych czasopismach o zasięgu realnie międzynarodowym, co w pewnym stopniu samo w sobie jest gwarantem odpowiedniego poziomu naukowego. Obejmują one bardzo różnorodne aspekty uwarunkowań koncentracji pyłu zawieszonego PM10 na obszarze Krakowa i przynoszą szereg nieoczywistych, czy wręcz

sprzecznych z utartymi poglądami ustaleń. Stwierdzono na przykład niejednoznaczny wpływ wiatru halnego na stan aerosanitarny powietrza w Krakowie. Również występowanie ścięcia wiatru może prowadzić do pojawiania się różnych typów profili pionowych zanieczyszczeń powietrza. Studia nad wpływem cyrkulacji atmosferycznej na jakość powietrza w Krakowie nie tylko potwierdziły istotne związki z takimi elementami meteorologicznymi jak prędkość wiatru czy pionowy gradient temperatury, lecz pozwoliły również wskazać znaczący wpływ innych - gradientu wilgotności i występowania ścięcia wiatru. W pracy potwierdzono istotną rolę rzeźby terenu w kształtowaniu warunków klimatycznych i aerosanitarnych aglomeracji krakowskiej, przy czym skoncentrowano się w tym wypadku na wpływie rzeźby na dynamikę miejskiej warstwy granicznej i koncentracji PM10. Powyższe ustalenia oraz wysoki poziom merytoryczny prezentowanych artykułów pozwalają na zdecydowanie pozytywną ocenę dysertacji Pana Piotra Sekuły.

Jednocześnie należy zwrócić uwagę na słabsze bądź dyskusyjne elementy pracy. Przede wszystkim szczegółowe cele pracy i sformułowane hipotezy stwarzają wrażenie nieco sztucznie dopasowanych do opublikowanych artykułów. Niektóre z hipotez wydają się wręcz trywialne: *bezzałogowe statki powietrze mogą być wykorzystane w miastach do profilowania miejskiej warstwy granicznej (H3)*, czy *metody uczenia maszynowego mogą być wykorzystane do prognozowania jakości powietrza dla obszarów o dużym zróżnicowaniu terenu (H5)*. Czy tak postawione hipotezy mogłyby być w ogóle zweryfikowane negatywnie? Natomiast w celu pełnej weryfikacji hipotezy H1 (*zwiększenie rozdzielczości przestrzennej i pionowej siatki numerycznych modeli prognoz pogody na terenach górskich znacząco poprawia dokładność prognoz temperatury*) należałoby przetestować więcej konfiguracji niż jedynie dwie domeny o zbliżonym wymiarze komórki 1 km x 1 km i 2 km x 2 km. Dlatego trudno zgodzić się z wnioskiem, iż przeprowadzone studia pozwalają na falsyfikację, tak ogólnie sformułowanej i mającej poważne konsekwencje dla numerycznych prognoz pogody, hipotezy. Interesujących ustaleń odnośnie profili pionowych stężenia PM10 dostarcza praca A4. Szkoda, że wprowadzając typologię profili autorzy opracowania nie skorzystali z powszechnie stosowanego w badaniach warstwy granicznej, szczególnie w teorii podobieństwa, skalowania wartości (na przykład poprzez normalizację stężenia PM10 przez jego wartość przy powierzchni Ziemi a wysokości przez grubość warstwy mieszania). Wydaje się, że typ I jest przypadkiem typu III, a różnica wynika jedynie z zasięgu sondażu względem wysokości warstwy mieszania, co prawdopodobnie ujawniłaby odpowiednia normalizacja danych. Dyskusyjna wydaje się również teza (H4), że *występowanie ścinania wiatru nad doliną przyczynia się do pogorszenia warunków aerosanitarnych poprzez modyfikację wysokości*

warstwy mieszania. Choć efekt ten często pojawia się na górnej granicy konwekcyjnie wymieszanej granicznej warstwy atmosfery, to występowanie ścięcia wiatru jest nie przyczyną, lecz przejawem separacji mas powietrza prowadzącej do pogorszenia warunków aerosanitarnych. Za bardzo wartościowe uważam natomiast badania wpływu wiatru fenowego na stężenie PM10, prowadzące do wydzielenia 4 schematów przestrzenno-czasowego rozkładu stężenia PM10 na obszarze Krakowa i wskazanie mechanizmów prowadzących do realizacji tych schematów (praca A2). Nieco niejasne wydają mi się tu jedynie rozważania dotyczące wpływu fal grawitacyjnych na rozwój turbulencji.

Ocena ogólna i wnioski końcowe

Sformułowane powyżej uwagi krytyczne mają charakter dyskusji naukowej i nie wpływają na ogólnie pozytywną ocenę merytoryczną przedstawionych prac. Największą trudność w ogólnej ocenie przedłożonej dysertacji stwarza natomiast określenie rzeczywistego wkładu Doktoranta w powstanie poszczególnych publikacji. Choć znaczną część manuskryptu stanowią kserokopie deklaracji udziału autorów, zgodnie z którymi wkład ten wynosił 30% (prace A1, A3) bądź 55% (A2, A4, A5), to mimo, iż są one poprawne pod względem formalnym, trudno na ich podstawie ocenić rzeczywisty zakres prac Doktoranta w poszczególnych badaniach jego profil badawczy. Można jedynie stwierdzić, że we wszystkich artykułach brał On udział w sformułowaniu koncepcji publikacji, walidacji i analizie danych, prezentacji wyników, edycji tekstu oraz odpowiedzi na recenzje. W większości również w opracowaniu metodologii, interpretacji i dyskusji wyników (A2-A5), a w trzech (A1, A3, A5) kierował badaniami.


Przy zbliżonej metodyce badawczej artykułów charakterystyki takie byłyby wystarczające. Jednak przedłożony zbiór artykułów charakteryzuje się w tym względzie wyjątkowo dużą różnorodnością, obejmując zarówno szczegółowe opisy rozwiązań technicznych stosowanych przy wytwarzaniu aparatury badawczej, charakterystykę stosowanych operacyjnie i eksperymentalnie numerycznych modeli pogody, jak i zaawansowane analizy warstwy granicznej atmosfery.

Realizacja opisanych zadań badawczych wymagała zatem bardzo szerokiego spektrum zaawansowanych umiejętności obejmujących między innymi: konfigurację numerycznych modeli pogody i modyfikacje domen (praca A1); skomplikowane prace inżynierskie (budowa i instalacja systemu pomiarowego na dronie – A3, budowa aparatury pomiarowej umieszczonej w balonie – A4); wykorzystanie klimatologicznych baz danych (reanalizę ERA5 – A5); znajomość metod uczenia maszynowego (metoda „lasu losowego” – A5). Dodatkowo

przeprowadzone w artykułach analizy wyników wymagały głębokiej wiedzy zarówno z zakresu klasycznej klimatologii, dynamiki warstwy granicznej atmosfery, jak i zagadnień dyspersji zanieczyszczeń oraz warunków aerosanitarnych. Dlatego w ramach dyskusji oczekiwałbym bardziej precyzyjnego wyszczególnienia zakresu prac przeprowadzonych przez Doktoranta, co pozwoliłoby na jasne określenie jego kompetencji i zainteresowań badawczych.

Niezależnie od powyższych niejasności przedłożona rozprawa pozwala stwierdzić, iż Pan mgr Piotr Sekuła posiada wiedzę z zakresu problematyki badawczej, której dotyczy praca, jak również umiejętność definiowania problemów badawczych, prowadzenia badań naukowych i analizy otrzymanych wyników. Przedstawiony zbiór artykułów zawiera oryginalne wartości poznawcze i prowadzi do rozwiązania sprecyzowanego problemu naukowego.

Uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr. Piotra Sekuły „Rola warunków meteorologicznych w kształtowaniu zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM10 w obszarach zurbanizowanych o zróżnicowanej rzeźbie terenu na przykładzie Krakowa” spełnia zarówno merytoryczne, jak i formalne wymagania określone w Ustawie i wnioskuję o przyjęcie pracy jako rozprawy na stopień doktora oraz dopuszczenie Pana mgr. Piotra Sekuły do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora, w tym do publicznej obrony.


prof. dr hab. Krzysztof Fortuniak