

dr hab. Krzysztof Markowicz, prof. UW
Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki,
Uniwersytet Warszawski
ul. Pasteura 5,
02-093 Warszawa
kmark@igf.fuw.edu.pl

Warszawa, 5.09.2023r.

RECENZJA

osiągnięcia naukowego dr. inż. Mariusza Rogulskiego „Analiza i poprawa jakości pomiarów wykonywanych za pomocą wybranych niskokosztowych czujników zanieczyszczenia powietrza oraz wykorzystanie ich do budowy urządzeń pomiarowych i rozszerzenia możliwości systemów pomiarowych” oraz Jego aktywności naukowej w związku z wnioskiem Kandydata o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

1. Formalne podstawy przygotowania oceny

Ocena została przygotowana w związku z powołaniem mnie przez Radę Naukową Dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka Politechniki Warszawskiej uchwałą z dnia 4 lipca 2023 r. na recenzenta w postępowaniu habilitacyjnym dr. inż. Mariusza Rogulskiego. Opinię wykonano na podstawie dostarczonych (w wersji elektronicznej i papierowej) dokumentów zawierających:

- wniosek przewodni Kandydata o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego na Politechnice Warszawskiej,
- autoreferat,
- wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych, stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny,
- oświadczenia współautorów publikacji,
- kopię dyplomu potwierdzającego uzyskanie stopnia doktorskiego,
- kopie publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe,
- kopie innych publikacji powiązanych z osiągnięciem naukowe.

Przedstawiona dokumentacja umożliwia przeprowadzenie recenzji, którą przeprowadzono stosując kryteria ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Zgodnie z obowiązującymi przepisami stopień doktora habilitowanego może ubiegać się osoba, która posiada stopień doktora, ma w dorobku osiągnięcia naukowe lub artystyczne stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, oraz wykazuje się istotną aktywnością naukową lub artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, zwłaszcza zagranicznych.

Analiza załączonej dokumentacji wniosku Pana dr. inż. Mariusza Rogulskiego o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego pozwala stwierdzić, że dorobek naukowy i aktywność badawcza Habilitanta mieszczą się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Równie dobrze obszar tematyczny monotematycznego cyklu publikacji można zakwalifikować do dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych oraz dyscypliny nauki o Ziemi i środowisku. Działalność naukowa obejmuje głównie problematykę monitoringu jakości powietrza, wykorzystując niskobudżetowe czujniki.

2. Sylwetka Kandydata

Pan dr inż. Mariusz Rogulski jest absolwentem Wydziału Elektroniki i Technik Politechniki Warszawskiej. Studia magisterskie ukończył w 2001 r. Stopień doktora na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej uzyskał w roku 2007 na podstawie rozprawy pt. „Analiza wybranych modeli zintegrowanego obrotu wielotowarowego w systemach rozproszonych na przykładzie rynku energii”. Promotorem rozprawy był prof. dra hab. inż. Eugeniusz Toczyłowski. Od roku 2008 jest zatrudniony w Zakładzie Informacji i Badań Jakości Środowiska, Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej początkowo na stanowisku adiunkta.

Spośród ważniejszych danych naukowometrycznych charakteryzujących Habilitanta należy wymienić (dane na czas złożenia wniosku):

- autorstwo bądź współautorstwo 25 artykułów (wszystkie po doktoracie), z czego 24 znalazło się w bazie Web of Science, 23 w bazie Scopus z sumaryczną liczbą cytowań 99 (WoS) i 116 (Scopus) oraz sumarycznym współczynnikiem wpływu IF = 54,664
- Index Hirscha, H = 6 (zarówno w bazie WoS jak i Scopus);
- autorstwo bądź współautorstwo rozdziałów w 14 monografiach naukowych, w tym 3 po uzyskaniu stopnia doktora,
- autorstwo 5 książek (wszystkie po doktoracie),
- 28 wystąpień konferencyjnych (wszystkie po doktoracie),
- udział w jednym grantie międzynarodowym i jednym krajowym Ministerstwa Rozwoju w charakterze wykonawcy
- Kierowanie projektem Ministerstwa Rozwoju finansowanego w ramach programu operacyjnego Human Smart Cities

Formalne spełnienie warunku realizacji aktywności naukowej w więcej niż jednej uczelni bądź instytucji naukowej zapewnia odbycie miesięcznego stażu w Departamento de Ambiente e Ordenamento w Universidade de Aveiro (Portugalia) i prowadzenie badań w Seville w latach 2018-2019. Jednak współpraca międzynarodowa Habilitanta nie jest imponująca, na co wskazuje zaledwie jedna praca opublikowana w 2022 roku.

3. Charakterystyka osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

Jako osiągnięcie naukowe zatytułowane „Analiza i poprawa jakości pomiarów wykonywanych za pomocą wybranych niskokosztowych czujników zanieczyszczenia powietrza oraz wykorzystanie ich do budowy urządzeń pomiarowych i rozszerzenia możliwości systemów pomiarowych” Pan dr inż. Mariusz Rogulski przedstawił cykl 5 publikacji:

- Rogulski Mariusz, Badyda Artur Jerzy: Investigation of Low-Cost and Optical Particulate Matter Sensors for Ambient Monitoring, Atmosphere, vol. 11, nr 10, 2020, s. 1-18, DOI:10.3390/atmos11101040, 70 punktów, IF(2,046).*
- Rogulski Mariusz, Badyda Artur Jerzy, Gayer Anna, Reis Johnny: Improving the Quality of Measurements Made by Alphasense NO2 Non-Reference Sensors Using the Mathematical Methods, Sensors, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, vol. 22, nr 10, 2022, s. 1-17, DOI:10.3390/s22103619, 100 punktów, IF(3,031).*
- Owczarek Tomasz, Rogulski Mariusz, Czechowski Piotr O: Assessment of the Equivalence of Low-Cost Sensors with the Reference Method in Measuring PM10 Concentration Using*

Selected Correction Functions”, *Sustainability*, 2020, vol. 12, s. 1-17, DOI 10.3390/su12135368, 100 punktów, IF(2,592).

- iv) Rogulski Mariusz: *Using Low-Cost PM Monitors to Detect Local Changes of Air Quality*, *Polish Journal of Environmental Studies, Institute of Scientific Information in Philadelphia*, vol. 27, nr 4, 2018, s. 1699-1705, DOI:10.15244/pjoes/77075, 15 punktów, IF(1,186).
- v) Firląg Szymon, Rogulski Mariusz, Badyda Artur Jerzy: *The Influence of Marine Traffic on Particulate Matter (PM) Levels in the Region of Danish Straits, North and Baltic Seas*, w: *Sustainability*, vol. 10, nr 11, 2018, ss. 1-19, DOI:10.3390/su10114231, 20 punktów, IF: 2,592.

Wszystkie prace zostały opublikowane w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, które charakteryzują się niskim i średnim współczynnikiem wpływu (w zakresie od 1.2 do 3.0), oraz liczbą punktów Ministerstwa Edukacji i Nauki w przedziale od 15 do 100. Pan dr. inż. Mariusz Rogulski jest pierwszym autorem w trzech z tych artykułów (w jednym z nich jest jedynym autorem), a także współautorem w dwóch pozostałych. Prace współautorskie powstały w zespołach składających się z 2-4 osób, przy czym tylko jedna z prac w cyklu powstała w międzynarodowym gronie. Na podstawie oświadczeń współautorów czterech prac można stwierdzić, że wkład Habilitanta jest znaczący, ale nie zawsze dominujący. Z bardzo ogólnych informacji przedstawionych w oświadczeniach współautorów można wywnioskować, że w pracach współautorskich dr. inż. Mariusz Rogulski głównie odpowiadał za metodologię, zbieranie i przetwarzanie danych, a w mniejszym stopniu za przygotowanie pierwszej wersji manuskryptu lub odpowiedzi na recenzje. Liczba artykułów i ranga czasopism słabo odpowiada standardom przyjętym przy ubieganiu się o stopień doktora habilitowanego.

4. Ocena merytoryczna osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień

Przedstawiony cykl publikacji dotyczy problematyki niskokosztowych czujników zanieczyszczenia powietrza w kontekście korekcji i poprawy danych pochodzących z tych czujników, tak aby mogły one rozszerzyć możliwości systemów pomiarowych służących do monitoringu jakości powietrza. Temat ten stał się istotny w ostatnich latach ze względu na powszechność niskobudżetowych czujników, ale także z uwagi na zbyt rzadką sieć obserwacji jakości powietrza. Profesjonalny monitoring jakości powietrza w Polsce obejmuje około 300 stacji pomiarowych, zlokalizowanych głównie w miastach. Wyniki badań, wykorzystujące platformy mobilne, sugerują, że obecna gęstość sieci nie jest w stanie odzwierciedlić rzeczywistych zmian czasoprzestrzennych zanieczyszczeń powietrza. Wynika to z faktu, że reprezentatywność stacji jakości powietrza jest niska w miastach i terenach o urozmaiconym ukształtowaniu terenu. Jest to związane, z jednej strony, z bardzo zróżnicowanym rozkładem czasoprzestrzennym źródeł emisji, zaś z drugiej strony wynika ze skomplikowanych procesów fizykochemicznych zachodzących w atmosferze, które odpowiadają za transport i depozycję zanieczyszczeń. Z tego powodu gwałtowny rozwój sieci nieprofesjonalnych pomiarów opartych na czujnikach niskobudżetowych jest istotny i może, pod pewnymi warunkami, uzupełnić lukę w rozkładach przestrzennych poziomu zanieczyszczenia powietrza opartych na pomiarach profesjonalnych. Czujniki niskokosztowe wykorzystywane są obecnie nie tylko do pomiarów prowadzonych na powierzchni ziemi, ale także z wykorzystaniem balonów, dronów czy kolejek górskich. Należy jednak podkreślić, że w ostatnich latach opublikowano dużą liczbę artykułów dotyczących niskokosztowych czujników, w których przedyskutowano ich jakość w porównaniu do profesjonalnych urządzeń. W tym kontekście temat monotematycznego cyklu publikacji nie jest

nowatorski, a stan wiedzy dotyczący jakości i przydatności niskokosztowych czujników do pomiarów jakości powietrza jest, moim zdaniem, dość dobrze rozpoznany.

W pracy [i] Autor skoncentrował się na statystycznej poprawie danych pochodzących z niskobudżetowego czujnika SEN0177, wykorzystując dane z profesjonalnego urządzenia pomiarowego. Wykazał, że w przypadku danych uśrednionych w interwałach 24-godzinnych istnieje wysoki współczynnik korelacji liniowej Pearsona dla koncentracji masy PM_{10} . Jednak dane pochodzące z prostego czujnika wykazują znacznie wyższe wartości niż te raportowane przez standardowe przyrządy pomiarowe. Przebadano wpływ parametrów meteorologicznych, takich jak temperatura, wilgotność względna powietrza i prędkość wiatru, na różnice PM_{10} pomiędzy czujnikiem niskokosztowym a profesjonalnym urządzeniem. Wykazano, że największy wpływ na przeszacowanie wielkości PM_{10} ma wilgotność względna powietrza. W celu poprawy jakości danych zaproponowano proste równania oparte na wartościach PM_{10} oraz wilgotności względnej powietrza pozyskiwanych z niskobudżetowych czujników. Pokazano, że zaproponowana procedura znacząco redukuje błędy systematyczne czujnika SEN0177. Opublikowana praca, a także jej streszczenie w języku polskim, zawierają liczne błędy, w tym interpretacyjne. Głównym z tych błędów jest próba wyjaśnienia zawyżania wartości koncentracji masy PM_{10} podczas wysokiej wilgotności względnej powietrza. Autorzy pracy wskazują na kropelki wody (mgły), które pojawiają się przy wysokiej wilgotności względnej powietrza. Jednak na wykresie 5 (artykuł [i]) widoczne jest, że przeszacowanie PM_{10} rośnie wraz z wilgotnością względną, a efekt ten jest widoczny już dla wilgotności wynoszącej około 60%. Przy tak niskich wartościach wilgotności nie występuje zjawisko mgły ani tworzenie się kropeł wody. Mgła pojawia się przy wilgotności zbliżonej do 100%, a takich danych praktycznie nie ma na wykresie 5. Bez wątplenia za to odpowiedzialne są cząstki higroskopijne, które obniżają ciśnienie pary nasyconej nad zakrzywioną powierzchnią cząstek (zgodnie z prawem Raoult'a). Efekt higroskopijny, czyli kondensacja pary wodnej na aerozolu, który zawiera różnego rodzaju substancje zmniejszające ciśnienie pary nasyconej (głównie sole), jest dobrze rozpoznany w fizyce atmosfery, jak również to stanowi on główną przyczynę zawyżonych wartości PM_{10} dla coraz wyższych poziomów wilgotności względnej w niskobudżetowych czujnikach. Przeszacowanie wielkości PM_{10} w tych czujnikach zależy w głównej mierze od składu chemicznego zanieczyszczeń, ponieważ część z nich jest niehigroskopijna (na przykład drobiny pyłu mineralnego), część wykazuje umiarkowaną (związki węgla organicznego) lub bardzo wysoką higroskopijność (aerozole morskie, kropelki kwasu siarkowego lub azotowego). W związku z tym bardziej precyzyjna korekcja danych wymagałaby m.in. znajomości składu chemicznego, który zazwyczaj nie jest mierzony. Dlatego tego typu poprawki mogą być wykonywane tylko w sposób statystyczny, na przykład z uwzględnieniem pory roku, lokalizacji itd.

Znacznym mankamentem pracy jest brak analizy koncentracji masowych $PM_{2.5}$ lub PM_1 w odniesieniu do profesjonalnych urządzeń pomiarowych. W tym przypadku kropelki mgły nie są mierzone, ponieważ ich typowe rozmiary zaczynają się od kilku mikrometrów. W związku z tym podczas mgły wartości te nie są tak silnie zaburzone, jak wartości PM_{10} . Aczkolwiek efekt higroskopijny jest również widoczny dla wielkości $PM_{2.5}$ czy PM_1 . Ponadto wielkość PM_{10} są na ogół znacznie bardziej zaszumione ze względu na niską koncentrację dużych cząstek i sporadyczną ich detekcję. Dziwić może również brak sugestii dotyczącej ogrzewania powietrza w celu zmniejszenia efektów związanych z wysoką wilgotnością względną. Znacznym ograniczeniem pracy jest porównanie danych na poziomie średnich dobowych. To podejście jest odpowiednie w kontekście porównania danych na dłuższą skalę czasową. Jednak epizody smogowe często mają znacznie krótszą

skalę czasową, np. kilka godzin, dlatego analiza danych na poziomie godzinnym lub nawet dziesięciominutowym byłaby bardzo wartościowa.

Moim zdaniem znacznym problemem tej pracy, jak również pozostałych artykułów, jest brak rysunku technicznego ilustrującego, jak zamocowane są czujniki jakości powietrza oraz czujniki meteorologiczne. Czy są one umieszczone w osłonie radiacyjnej, czy mierzą parametry powietrza wewnątrz obudowy? Trudno zrozumieć, dlaczego Habilitant nie zamieścił takich informacji, tym bardziej że jako jedno z jego większych osiągnięć uznaje zaprojektowanie i wykonanie stacji pomiarowych. Dodatkowo Habilitant wykląda przedmiot "Elementy grafiki inżynierskie," umożliwiając studentom uzyskanie certyfikatów programu AutoCAD. Dlaczego takie schematy nie powstały? Z tego względu nie sposób zinterpretować przedstawionych wyników, jeśli chodzi o warunki meteorologiczne. Z oczywistych względów parametry termodynamiczne powietrza, które znajduje się w komorze pomiarowej, mogą być nieco inne niż powietrza zewnętrznego, szczególnie podczas słonecznego dnia, gdy przyrząd może nagrzewać się o kilka stopni w stosunku do otaczającego powietrza. Dla przykładu w niskobudżetowym czujniku OPC-N3 sensor temperatury i wilgotności względnej powietrza umieszczony jest przez producenta wewnątrz komory pomiarowej, przez co temperatura jest średnio o 5-10°C wyższa niż temperatura powietrza zewnętrznego, a wilgotność względna powietrza praktycznie nigdy nie przekracza 70%. Ważne jest również, w jaki sposób został zamocowany czujnik SEN0177, gdyż teoretycznie wiatr może wpływać na pracę wentylatora. Dlatego kierunek i prędkość wiatru mogą mieć znaczenie dla wartości raportowanych przez czujnik. Nie sposób również pominąć faktu, że Habilitant błędnie używa pojęcia siły wiatru, której jednostką jest [N], traktując ją jako synonim prędkości wiatru w [m/s]. W publikacji występuje też często pojęcie "wilgotność powietrza," gdy prawdopodobnie chodzi o "wilgotność względną powietrza". Brak precyzyjnej informacji wprowadza czytelnika w błąd, gdyż w termodynamice atmosfery wprowadza się różne wielkości związane z wilgotnością powietrza. Wymienione uwagi pokazują, że praca, która przeszła fazę recenzji, zawiera wiele błędów merytorycznych, i w moim odczuciu fizyka atmosfery nie powinna zostać zaakceptowana w obecnej wersji do publikacji.

Praca [ii] dotyczy walidacji i korekcji czujnika zanieczyszczeń gazowych. W tym przypadku brak schematu technicznego urządzenia pomiarowego nie jest tak krytyczny ze względu na fakt, że sensor mierzy koncentrację gazu, a nie cząstek. Przeprowadzono analizę porównawczą przy stacji PMŚ na terenie Nowego Sącza z wykorzystaniem dwóch czujników NO₂-B43F firmy Alphasense. Wybór tego czujnika został dokonany przez Habilitanta na podstawie wcześniejszych pomiarów wykonanych w Nowym Sączu oraz Sewilli z wykorzystaniem innego czujnika firmy SpecSensors, którego jakość okazała się znacznie gorsza niż czujnika firmy Alphasense. Uzyskane parametry statystyczne wskazują na zróżnicowaną jakość czujników Alphasense w zależności od miesiąca. Najniższe wartości współczynnika korelacji odnotowano w lipcu, zaś znacznie większe dla miesięcy jesiennych. Przeprowadzone badania pokazały, że jednym z istotnych czynników zaburzających wskazania sensorów Alphasense stanowi temperatura. Zauważono, że korekcja temperaturowa zaproponowana przez producenta prowadzi w przypadku wysokiej temperatury do ujemnych wartości stężeń NO₂. Zespół badawczy, w którym uczestniczył Habilitant zaproponował własny algorytm, który poprawiał dokładność wskazań oraz eliminował ujemne wartości stężeń w przypadku pomiarów prowadzonych w wysokich temperaturach. Zastosowanie funkcji korygującej przyniosło w większości przypadków poprawę jakości wyznaczonych wartości pomiarów, zwiększając wartość współczynnika korelacji Pearsona. Dzięki wprowadzeniu i zastosowaniu funkcji korygującej udało się w wielu przypadkach znacząco poprawić jakość danych. Po zastosowaniu korekcji średni błąd

bezwzględny na poziomie miesięcznym zmniejszył się do wartości około 40-50%. Niemniej jednak jest to znacznie większa wartość niż w przypadku czujników cząstek PM_{10} . Jak zauważa Habilitant, w porównaniu z sensorami cząstek, przestrzeń możliwych czynników wpływających na błędy pomiarowe jest znacznie bardziej wielowymiarowa. Poza czynnikami meteorologicznymi wpływ na pomiary mają także: dokładność pomiaru napięcia (napięcia na elektrodach czujnika są dość niskie, więc wymaga to precyzyjnego pomiaru), wpływ innych zanieczyszczeń (w szczególności ozonu) oraz bezwładność (czas reakcji czujnika na zmianę stężenia zanieczyszczenia oraz czas po uruchomieniu, potrzebny do uzyskania względnie wiarygodnych wyników, są znacznie dłuższe niż w przypadku czujników PM).

Uważam, że chociaż badania tego typu nie są pierwsze na świecie (np. Mijling i in. 2017), to w tym przypadku praca jest jakościowo znacznie lepsza niż poprzednia. Istotnym elementem osiągnięcia naukowego w tym przypadku jest analiza długoterminowa czujników w polskich warunkach klimatycznych oraz wyznaczenie matematycznych zależności umożliwiających zmniejszenie błędów pomiarowych.

W pracy [iii] przedstawiono wyniki badań nad wykorzystaniem różnych modeli korygujących wyniki pomiarów koncentracji cząstek uzyskanych przy pomocy niskokosztowych sensorów. W tym celu wykorzystano uogólnione modele regresji. Do konstrukcji modeli wykorzystano koncentrację masy PM_{10} pochodzącą z pomiarów metodą grawimetryczną w Nowym Sączu jako zmienną zależną oraz koncentrację PM_{10} z czujnika niskobudżetowego i czynniki, które mogą istotnie wpływać na pracę czujnika (temperaturę i wilgotność względną powietrza oraz prędkość wiatru) jako zmienne niezależne. Przebadano osiem grup modeli, począwszy od liniowych po modele nieliniowe. Pokazano, że w przypadku czterech z tych grup uzyskano modele o obiecujących właściwościach, znacznie różniące się pod względem konstrukcji. Wśród nich znalazły się modele liniowe, modele liniowe z interakcjami zmiennych, modele liniowe z logarytmami zmiennych oraz modele liniowe z przekształceniami wykładniczymi zmiennych. Istotność statystyczną zmiennych wykazała, że wilgotność względna powietrza i prędkość wiatru mają największy wpływ na błędy pomiarowe. Wyniki wskazują, że zastosowanie nawet prostych funkcji korygujących przyniosło znaczącą poprawę i mogło doprowadzić do uzyskania akceptowalnych poziomów jakości otrzymywanych wyników pomiarów. Natomiast uwzględnienie dodatkowych parametrów meteorologicznych w większości przypadków może przynieść jeszcze większą poprawę dopasowania wyników pomiarów, wykonywanych za pomocą sensorów niskokosztowych, w odniesieniu do wyników pochodzących z urządzeń profesjonalnych. Autorzy stwierdzają, że koszt dodatkowego instrumentu pomiarowego do pomiaru temperatury i wilgotności względnej jest bardzo niewielki, a tym samym opłacalny, biorąc pod uwagę jakość całego urządzenia. Podobnie jak w artykule [i], nie jest jasne, o jakie wielkości chodzi. W szczególności, czy są to wielkości fizyczne opisujące stan termodynamiczny powietrza wewnątrz, czy na zewnątrz urządzenia? W moim przekonaniu, chociaż niewątpliwie proponowane korekty danych pozwalają zmniejszyć systematyczne błędy pomiarowe, to jednak lepszym kierunkiem jest ograniczenie zmian wilgotności względnej czujnika. Najprostszym rozwiązaniem jest ogrzewanie toru pomiarowego powietrza doletowego do czujnika. Ogrzanie powietrza już o około $10^{\circ}C$ spowoduje, że wilgotność względna będzie bardzo rzadko przekraczać ok. 60-70%, a tym samym efekt higroskopijny będzie praktycznie zaniedbywalny. Błędy językowe, poczynione w ww. pracy, są analogiczne do błędów w pracy [i]. Co więcej, na jedynym zamieszczonym w pracy wykresie brak opisu osi y oraz jednostek zaprezentowanej wielkości fizycznej.

zignorował emisję aerozolu morskiego, która z całą pewnością wpływała na poziom PM mierzony przez czujniki. Aerosol morski jest ważnym składnikiem atmosfery, a szczególnie nad otwartym morzem jego poziom może być znaczący. Przedstawione dane o prędkości wiatru podczas rejsu w zakresie od 2 do 14 m/s sugerują, że cząsteczki te były obecne w powietrzu. Aerosol morski jest emitowany do atmosfery, gdy prędkość wiatru przekracza około 8 m/s, co jest związane z załamywaniem się fal na morzu. Fizyka związana z aerozolem morskim jest dość skomplikowana i nie ogranicza się jedynie do emisji z morza. Duże krople wody zawierające sól mogą skutecznie usuwać drobniejsze zanieczyszczenia atmosfery. Tym samym analiza wyników pomiarów w takich warunkach jest trudna i wymaga wielu dodatkowych badań. Z tego powodu zaprezentowana analiza danych jest wybiórcza, a wyciągnięte wnioski zostały opracowane pomijając jeden z najważniejszych czynników występujących na akwenach wodnych. Warto zauważyć, że podczas rejsu nie były wykorzystywane żadne czujniki NO_2 . Jednak rejs odbył się 6 lat temu, więc być może takie czujniki nie były powszechnie dostępne w tamtym okresie.

Mimo pewnych pozytywnych aspektów przedstawionych w monotematycznym cyklu prac moja ogólna ocena jest bardzo niska. Widać wyraźnie brak doświadczenia w analizie danych atmosferycznych w przypadku Habilitanta, który wcześniej nie zajmował się tym tematem. Jego doświadczenie naukowe dotyczyło zupełnie innych zagadnień, dlatego prawdopodobnie popełnił wiele błędów merytorycznych i językowych. Innym mankamentem jest fakt, że prace wykorzystujące niskobudżetowe czujniki zostały opublikowane przed pracami, w których rozważano kwestie związane z kalibracją, korekcją i porównaniem tych czujników do urządzeń profesjonalnych. Z oczywistych względów kolejność tych publikacji powinna być odwrotna. W związku z tym w dwóch ostatnich pracach nie jest jasne, jaka była metodologia przetwarzania danych oraz czy i jak dokonywano korekcji danych. Dlatego jakość merytoryczna tych prac jest trudna do określenia.

Niewątpliwie jako osiągnięcie Habilitanta można uznać stworzenie sieci pomiarowej w Nowym Sączu oraz opracowanie metody poprawy jakości czujników niskobudżetowych PM i NO_2 . Jednak brak opisu tej sieci pomiarowej (przysrzędów) i metod przetwarzania danych uniemożliwia ocenę jej jakości i przydatności.

W przedstawionym cyklu publikacji brakuje technicznego spojrzenia na pomiar fizyczny realizowany w niskokosztowych czujnikach. Poza lakonicznym stwierdzeniem, że jest to pomiar optyczny, brak bardziej szczegółowych informacji, które z pewnością pozwoliłyby na lepsze zrozumienie błędów pomiarowych i ograniczeń technicznych. W szczególności brak dyskusji na temat takich zagadnień jak:

- Problem stabilizacji przepływu powietrza (prędkości obrotowej wiatraczka), czy mamy tu do czynienia z pomiarem podobnym do tych wykorzystywanych w nefelometrach, gdzie prędkość przepływu nie ma znaczenia, a pomiar promieniowania rozproszonego na cząstkach ma małą częstotliwość próbkowania. W przypadku tych czujników natężenie promieniowania rozproszonego na mieszaninie cząstek jest przeliczane na koncentrację masy PM_{10} przy założeniu składu chemicznego. Czy to jest czujnik, w którym natężenie promieniowania jest mierzone z bardzo dużą częstotliwością, a następnie na podstawie transformaty Fouriera wyznaczany jest rozkład wielkości cząstek? W takim przypadku prędkość przepływu powietrza ma znaczenie, a fluktuacje prędkości przepływu mogą wpływać na wyniki pomiaru
- Jaka jest prędkość przepływu powietrza i czy powietrze wewnątrz komory pomiarowej może być znacząco cieplejsze niż powietrze na zewnątrz, co ma istotne znaczenie z punktu widzenia wilgotności względnej powietrza?

Praca [iv] zawiera analizę wyników pochodzących z prototypowej sieci pomiarowej uruchomionej w 2016 roku w Nowym Sączu. Jest to niewątpliwie jedno z głównych osiągnięć Habilitanta, który był pomysłodawcą i twórcą urządzeń pomiarowych opartych na niskokosztowych czujnikach jakości powietrza, jak również zbierania i przetwarzania danych. Wybór Nowego Sącza jako miejsca sieci pomiarowej jest trafny ze względu na fakt, że miasto to położone jest w rozległej kotlinie o zróżnicowanej orografii, a w samym mieście znajduje się zaledwie jedna stacja monitoringu jakości powietrza, funkcjonująca w ramach PMS, mierząca między innymi koncentracje masy PM_{10} i ditlenku azotu. Publikacja, która miała opisywać powstałą sieć i prezentować wstępne wyniki, jest jednak na bardzo niskim poziomie. W paragrafie opisującym metody i materiały, większość tekstu poświęcona jest profesjonalnej sieci monitoringu jakości powietrza w Polsce oraz przeglądowi niskokosztowych czujników jakości powietrza. Ostatni fragment tego rozdziału dotyczy powstałej sieci z bardzo lakonicznym opisem urządzeń pomiarowych. Brakuje konkretnych informacji na temat użytych czujników jakości powietrza, tak samo, jak brak jest informacji o zastosowanych czujnikach meteorologicznych. Podobnie jak w poprzednich artykułach brakuje też poglądowego schematu prezentującego zaprojektowaną stację pomiarową. Pojawia się jedynie informacja, że stacja mierzy metodą optyczną "dust" (pył) i rejestruje pewne parametry meteorologiczne. Nie jest jasne, o jaki konkretny czujnik jakości powietrza chodzi, a także, dlaczego mierzony jest tylko pył, a nie inne rodzaje cząstek (np. ciekłe). Habilitant dodatkowo stwierdza, że powstała stacja wykazuje błędy pomiarowe na poziomie 5-10%. Nie jest wyjaśnione, z czego te błędy wynikają. Co więcej, brak jest nawet informacji na temat przetwarzania danych zbieranych przez stację. Praca ta została opublikowana w 2018 roku, czyli dwa lata przed pracą [i], która zawiera informacje o porównaniu prostych czujników do aparatury profesjonalnej i analizie błędów pomiarowych.

Część opisująca wyniki opiera się wyłącznie na danych zebranych w lutym 2017 roku. Analizowane są głównie średnie dobowe wartości PM_{10} , co znacznie ogranicza zakres analizy. Warto podkreślić, że zmiany w warunkach meteorologicznych w ciągu dnia, włączając w to procesy mieszania pionowego i poziomego, w połączeniu ze zmiennością czasową źródeł emisji, mogą prowadzić do znacznej zmienności czasoprzestrzennej poziomu zanieczyszczenia powietrza. Jest to ukazane w pewnym stopniu na wykresie 4, choć brak informacji o zmieniającej się prędkości wiatru w ciągu doby. Habilitant zauważa, że porównując poziomy zanieczyszczeń dla dni o wysokiej prędkości wiatru, wyniki czujników niskokosztowych wykazują niższe wartości w porównaniu do stacji profesjonalnej. To sugeruje, że dane z czujników nie były poddawane korekcji (na podstawie metodologii opracowanej w artykule [ii]). Natomiast w przypadku niskich prędkości wiatru różnice pomiędzy wynikami stacji są znacznie większe, co jest oczekiwanym wynikiem i wskazuje, że pojedyncza stacja w Nowym Sączu nie jest w stanie dokładnie przedstawić poziomu zanieczyszczenia powietrza w całym mieście. Niewątpliwie praca ukazuje potencjał czujników niskokosztowych. Niemniej jednak sposób opisu i prezentacji wyników jest pozostawia wiele do życzenia.

W ostatniej pracy przedstawiono analizę danych pochodzących z niskokosztowego czujnika zainstalowanego na żaglowcu STS Fryderyk Chopin w ramach seminarium naukowego Politechnika na Fali, które odbyło się w dniach od 16 do 30 września 2017 roku; pomiędzy Edynburgiem a Szczecinem. Pomysł wykorzystania niskokosztowych czujników w tym przypadku jest bardzo interesujący, ponieważ emisja zanieczyszczeń ze statków stanowi istotne źródło związków chemicznych w powietrzu. Przedstawione wyniki niewątpliwie ukazują wzrost poziomu PM (o około 2-2.5 razy) po przepłynięciu większych jednostek w pobliżu żaglowca. Z tego względu uzyskane wyniki są interesujące. Należy podkreślić, że zespół badawczy, w którym uczestniczył Habilitant, całkowicie

- Jaki jest wpływ współczynnika załamania światła różnego rodzaju aerozoli na wskazania czujnika?
- Jak często i w jaki sposób należy czyścić niskokosztowe czujniki?
- Czy degradacja diody laserowej może wpływać na wyniki pomiarów?

Publikacje stanowiące ten monotematyczny cykl były do tej pory cytowane 36 razy w bazie Web of Science (WoS). Połowa tych cytowań dotyczy prac zagranicznych, co może świadczyć o tym, że prace zostały dostrzeżone przez naukowców. Stosunkowo niska liczba cytowań może wynikać z faktu, że prace zostały opublikowane stosunkowo niedawno, tj. w latach 2018-2022.

5. Ocena pozostałej aktywności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej

Przytoczone w opisie sylwetki Habilitanta dane naukometryczne wskazują na aktywność naukową odnotowywaną w bazie WoS dopiero od roku 2015. Skupia się ona głównie na badaniach związanych z jakością powietrza. Przejawem aktywności naukowej realizowanej przez Pana dr. inż. Rogulskiego może być udział w jednym międzynarodowym i kilku krajowych konsorcjach badawczych. W przypadku projektu międzynarodowego K-HEALTHinAIR jest to program HORIZON-HLTH-2021-ENVHLTH-02-02. Należy wspomnieć, że Habilitant kierował jednym projektem Ministerstwa Rozwoju finansowanym w ramach programu operacyjnego "Human Smart Cities". W mojej opinii brak projektu finansowanego przez NCN lub NCBR wskazuje, że dorobek dr. inż. Rogulskiego nie jest znaczący.

O aktywności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej Habilitanta świadczyć mogą również otrzymane nagrody i wyróżnienia, w szczególności: nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora PW w 2017 i 2020 roku, nagroda zespołowa III stopnia JM Rektora PW w 2016 roku, czy nagroda indywidualna II stopnia JM Rektora PW w 2013 roku. Działalność dydaktyczna Habilitanta oceniam wysoko, o czym świadczy nagroda dydaktyczna oraz wydanie 4 podręczników dla studentów. Dr inż. Mariusz Rogulski był promotorem 1 pracy inżynierskiej oraz 11 prac magisterskich na Wydziale Inżynierii Środowiska PW. Brał udział w inicjatywie związanej z promowaniem czystego powietrza prowadzoną przez Forum Rozwoju Efektywnej Energii. Od 2021 roku pełni funkcję kierownika w projekcie NERW PW Nauka-Edukacja-Rozwój-Współpraca, którego celem jest modyfikacja programu studiów I stopnia na kierunku Ochrona Środowiska. W ramach obowiązku dydaktycznego prowadził zajęcia na Wydziale Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska oraz na Wydziale Zarządzania Politechniki Warszawskiej. Zakres tematyczny prowadzonych zajęć dydaktycznych tylko w bardzo małym stopniu pokrywa się z tematyką monotematycznego cyklu publikacji stanowiącego osiągnięcie naukowe Habilitanta. Sugeruje to, że dr inż. Mariusz Rogulski jest znacznie bardziej związany z tematami obejmującymi programowanie, grafikę czy zarządzanie niż przetwarzanie i analizę danych środowiskowych.

W ramach osiągnięć organizacyjnych należy odnotować, że Habilitant pełnił w latach 2010–2020 funkcję Pełnomocnika Dziekana ds. Informatyki. W tym czasie pozyskał fundusze na rozwój infrastruktury informatycznej Wydziału oraz pełnił funkcję administratora serwera i wdrożył nową wersję strony internetowej Wydziału.

6. Wnioski końcowe

Dokonując końcowej oceny wniosku habilitacyjnego Pana dr. Inż. Mariusza Rogulskiego stwierdzam, że cykl prac „Analiza i poprawa jakości pomiarów wykonywanych za pomocą wybranych niskokosztowych czujników zanieczyszczenia powietrza oraz wykorzystanie ich do budowy urządzeń

pomiarowych i rozszerzenia możliwości systemów pomiarowych” nie spełnia warunków osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Poziom merytoryczny monotematyczny cykl publikacji jest bardzo niski o czym świadczą liczne błędy i uwagi wskazane powyżej. Habilitant przedstawił jako osiągnięcie naukowe cykl monotematyczny, który w mojej ocenie nie stanowi znaczącego wkładu w rozwój wskazanej dyscypliny.

Biorąc pod uwagę wszystkie przesłanki zawarte w niniejszej recenzji stwierdzam, że Pan dr inż. Mariusz Rogalski nie spełnia w stopniu minimalnym wymogów stawianych przez Ustawę przy nadawaniu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Krzysztof Holcownik