

Kraków, 02.08.2023

dr hab. inż. Mirosław Zimnoch, prof. AGH  
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie  
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
email: zimnoch@agh.edu.pl

**Recenzja rozprawy doktorskiej  
mgr Agnieszki Trzyna**

**Ocena skuteczności zastosowania sieci pajęczych poprzez wykonanie badań porównawczych (pyłomierz vs. sieci pajęczce) przy ocenie jakości powietrza wybranego regionu.**

**Podstawa formalna**

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej, dr hab. inż. Roberta Króla, prof. uczelni z dnia 12.06.2023r (nr RDND08/80/2023) oraz zawiadomienie nr 22/06/D08/2023 Prorektora ds. Nauki Politechniki Wrocławskiej, prof. Andrzeja Ożyhara o wyznaczeniu mnie na recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora Pani mgr inż. Agnieszce Trzyna pt.: „Ocena skuteczności zastosowania sieci pajęczych poprzez wykonanie badań porównawczych (pyłomierz vs. sieci pajęczce) przy ocenie jakości powietrza wybranego regionu”. Podstawą formalną jest Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2022. poz.574 z późn. zm.).

**Zasadność podjętej tematyki**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy oceny przydatności pasywnej metody biomonitoringowej wykorzystującej sieci pajęczce do oceny jakościowej i ilościowej zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym na wybranym terenie. Obserwowany w ostatnich latach wzrost świadomości społeczeństw na temat wpływu zanieczyszczeń atmosferycznych na zdrowie ludzi i kondycję środowiska naturalnego wymusza coraz bardziej szczegółowy monitoring poziomu zanieczyszczeń, szczególnie na obszarach gęsto zaludnionych. To z kolei stymuluje środowisko naukowe do opracowywania coraz bardziej efektywnych metod pomiarowych. Oznacza to z jednej strony prowadzenie bardziej szczegółowych analiz jakościowych mających na celu identyfikację składu zanieczyszczeń pozwalających na identyfikację ich źródeł emisji oraz na ocenę ich szkodliwości dla zdrowia ludzi. Z drugiej strony potrzeba zwiększenia rozdzielczości przestrzennej i czasowej prowadzonych obserwacji inspirowane środowisko naukowe do opracowywania tanich i efektywnych metod monitoringowych wykorzystujących często organizmy żywe do obserwacji obecnych i historycznych poziomów zanieczyszczenia atmosfery, jak przykładowo analiza składu roślin (liście, igły,

słoje drzew). Istotne przy tym jest, aby nowe metody dostarczały danych spójnych z metodami referencyjnymi używanymi w sieciach monitoringu atmosfery nadzorowanych przez służby państwowe. Autorka recenzowanej rozprawy postanowiła zweryfikować możliwość wykorzystania w tym celu sieci pajęczych. Wykonana na wstępie pracy kwerenda literatury naukowej pokazała rosnące zainteresowanie wykorzystaniem tego bioindykatora do oceny jakości powietrza, a z drugiej strony pokazała potrzebę weryfikacji tej metody poprzez porównanie z innymi metodami pasywnymi (wykorzystanie porostów) oraz metodami aktywnymi (klasyczny pobór i analiza składu zanieczyszczeń na filtrach). Widać zatem, że podjęta tematyka wpisuje się w najnowsze trendy badań i potencjalnie może wnieść duży wkład w rozwój Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

### **Opis pracy**

Pracę stanowi zbiór 8 powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, punktowanych przez MEiN (2x140pkt., 3x100pkt. i 3x70 pkt.), w większości indeksowanych w bazie Journal Citation Reports (JCR). Sumaryczny czynnik wpływu artykułów wynosi ok. 33. Należy zaznaczyć, że w 6 pozycjach doktorantka jest pierwszym autorem, a z opisu wkładu w tworzenie artykułów wynika, że we wszystkich przypadkach była odpowiedzialna za opracowanie koncepcji lub sformułowanie problemu badawczego, a więc odgrywała wiodącą rolę w ich powstaniu. Niestety na podstawie dostarczonych materiałów nie da się określić wkładu procentowego autorki w powstanie publikacji. Nie da się też określić na ile autorka była zaangażowana w analizę składu próbek, a więc na ile opanowała warsztat analityczny niezbędny do prowadzenia tego typu badań. Omówienie cyklu artykułów zostało przygotowane w formie autoreferatu, w którym autorka na 157 stronach zawarła streszczenia pracy w języku angielskim i polskim, podsumowanie swoich osiągnięć naukowych, wskazała osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę prowadzonego postępowania, a następnie omówiła cel naukowy pracy i osiągnięte wyniki zamieszczając po drodze pełne treści wszystkich artykułów. Autoreferat kończą podsumowanie, wnioski oraz wykaz literatury cytowanej w autoreferacie, na który składają się 42 pozycje. Znajdziemy tu również sformułowany przez autorkę główny cel pracy, którym była ocena skuteczności zastosowania sieci pajęczych w monitoringu powietrza. Realizacja celu wymagała zaaplikowania badanej metody w różnych środowiskach o odmiennym charakterze źródeł zanieczyszczeń oraz położeniu (lokalne warunki dyspersji zanieczyszczeń) oraz porównania otrzymanych wyników z innymi metodami stosowanymi w tego typu badaniach. Przedstawione wyniki zawierają zarówno porównanie z innym bioindykatorem (porosty), jak i z metodą aktywną poboru próbek pyłu (poborniki na filtrach). Umożliwiło to dokonanie zarówno oceny jakościowej (porównanie składu próbek zebranych różnymi metodami) prowadzącej do identyfikacji źródeł emisji zanieczyszczeń na badanych terenach, jak i ilościowej (ocena efektywności wyłapywania pyłów przez sieci pajęczę) wskazując na problemy związane z efektywnością tej metody oraz w niektórych przypadkach określeniem czasu ekspozycji. W wyniku analizy tych dwóch aspektów autorka sformułowała hipotezę badawczą „Wyniki otrzymane z badań wykorzystujących rekomendowaną metodę grawimetryczną z proponowaną nowatorską metodą biomonitoringu za pomocą sieci pajęczych są zgodne i dają tę samą odpowiedź co do źródła zanieczyszczeń, choć niekoniecznie muszą być to takie same wyniki w charakterze ilościowym”. Choć można mieć pewne wątpliwości co do konstrukcji stylistycznej sformułowanej hipotezy, jej przesłanie wydaje się być jasne, a wyniki zaprezentowane w publikacjach zdają się ją potwierdzać.

W kolejnej części recenzji omówione zostaną krótko poszczególne publikacje ze wskazaniem ich najważniejszych wyników.

Publikacja 1 stanowi niejako wstęp do prowadzonych badań i uzasadnia ich podjęcie. Jest to praca przeglądowa, w której autorka przedstawia aktualny stan wiedzy na temat zastosowania sieci pajęczych do monitorowania jakości powietrza. W publikacji przeanalizowano 88 artykułów wykazując duży potencjał tej metody oraz prezentując 3 różne procedury jej stosowania oraz najbardziej odpowiednie gatunki pajaków do jej stosowania. **W mojej opinii, istotnym efektem tej pracy jest identyfikacja braków w aktualnym stanie wiedzy oraz określenie możliwych ścieżek rozwoju metody, które pozwoliło na zaplanowanie dalszych badań w ramach doktoratu.** Takie podejście wskazuje na dobre przygotowanie doktorantki do prowadzenia badań naukowych.

Publikacja 2 poświęcona została analizie frakcji węglowej pyłów  $PM_{2.5}$ . Mimo, że praca nie jest poświęcona sieciom pajęczym, stanowi ona istotny element prowadzonych badań dostarczając danych uzyskanych referencyjną metodą poboru próbek dla terenu, na którym w dalszej kolejności zostały zaaplikowane sieci pajęcze. Ponadto praca zawiera cenne informacje dotyczące interpretacji wyników analiz składu pyłów uzyskanych za pomocą różnych metod analitycznych (znaczniki izotopowe, analizy FTIR, metoda termo optyczna określania różnych frakcji węgla). W pracy wskazano również na konieczność analizy sytuacji meteorologicznej, która stanowi jeden z 2 elementów warunkujących poziom zanieczyszczenia (poza wielkością emisji). **Najistotniejszym wkładem tej publikacji w całość badań było określenie charakteru oraz zmienności źródeł zanieczyszczeń na terenie Legnicy za pomocą ogólnie przyjętej i ugruntowanej metodologii, stanowiąc punkt odniesienia do badań wykorzystujących biomonitring.**

W publikacji 3 autorka skoncentrowała się na porównaniu efektywności 2 różnych bioindykatorów (sieci pajęczych i porostów) do określenia stopnia zanieczyszczenia metalami ciężkimi. Badania prowadzone były na tym samym obszarze co analizy opublikowane w artykule 2. Wyniki wykazały, że sieci pajęcze znacznie efektywniej akumulują metale ciężkie niż powszechnie używane w tym celu porosty. Autorzy dyskutują możliwe przyczyny takiego stanu rzeczy oraz określają stopień zanieczyszczenia badanego terenu miedzią, cynkiem, niklem, ołowiem oraz arsenem. **Najważniejsze wnioski wynikające z tej pracy, to wykazanie znacznie większej skuteczności w akumulacji metali ciężkich przez sieci pajęcze w porównaniu z porostami oraz spójna odpowiedź obu bioindykatorów w analizie jakościowej składu zanieczyszczeń.**

W publikacji 4 podjęto próbę porównania analizy zanieczyszczenia powietrza za pomocą sieci pajęczych z metodą referencyjną opartą na automatycznej analizie XRF zawartości wybranych metali adsorbowanych na filtrze za pomocą analizatora Horiba PX-375. W tym wypadku, jako teren badań wybrano okolice Opola. Zakładam, że przy wyborze miejsca badań autorka kierowała się chęcią przetestowania metody na obszarze zdominowanym przez lokalne źródła emisji związane z ogrzewaniem domów (w odróżnieniu od środowiska sąsiadującego z hutą miedzi w Legnicy). **W tym wypadku, podobnie jak w art.3 wykazano zgodność jakościową wyników (skład chemiczny), jednak wskazano na różnice w analizie ilościowej.**

Publikacja 5 dotyczy badań przeprowadzonych w okolicy huty miedzi w Głogowie. To kolejne miejsce poddane analizie zanieczyszczenia powietrza. W tym wypadku, podobnie jak w Legnicy mamy do czynienia z obszarem narażonym na emisje przemysłowe. Artykuł porównuje dwie metody analityczne stosowane do analizy składu pyłów zebranych za pomocą sieci pajęczych tj. skaningową

mikroskopie elektronową ze spektrometrią rentgenowską (SEM\_EDX) oraz spektrometrię mas sprzężoną z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS). W artykule wykazano spójność wyników uzyskanych obiema metodami oraz przeanalizowano skład pierwiastkowy i mineralogiczny różnych frakcji pyłów. **Istotnym wkładem tej publikacji jest wykazanie możliwości zastosowania sieci pajęczych w połączeniu z 2 testowanymi metodami analitycznymi do analizy składu zanieczyszczeń pyłowych.** Ponadto publikacja dostarczyła informacji na temat charakteru zanieczyszczenia pyłowego w kolejnej lokalizacji związanej z działalnością przemysłową.

W publikacji 6 zastosowano taką samą metodologię jak w publikacji 5 ale w odniesieniu do obszaru Legnicy. Dodatkowo w publikacji przeprowadzono analizę ryzyka zdrowotnego związanego z działalnością przemysłową na tym obszarze. Uzyskane wyniki analizy składu okazały się spójne z badaniami prowadzonymi w okolicach Głogowa. W tym wypadku również zidentyfikowano naturalne źródła zanieczyszczenia grubą frakcją, natomiast za frakcje drobne głównie odpowiadają źródła antropogeniczne. **Wartością dodaną tej publikacji jest zastosowanie sieci pajęczych do oceny ryzyka zdrowotnego dla mieszkańców Legnicy.**

Publikacja 7 stanowi kontynuację poprzednich badań. Tym razem jednak, analizy ryzyka zdrowotnego zostały przeprowadzone dla Wrocławia. W tym wypadku zidentyfikowano źródła transportowe jako mające największy udział w narażeniu zdrowotnym mieszkańców Wrocławia. **W tym wypadku istotne wydaje się rozszerzenie testowanej metodologii na obszar dużego miasta.**

Ostatnia publikacja w cyklu ponownie dotyczy porównania efektywności sieci pajęczych jako bioindykatorów zanieczyszczenia środowiska z metodą aktywną oraz innym bioindykatorem, jakim są porosty. Wykazano w pracy trudności w porównaniu bezpośrednich ilościowych wyników uzyskanych różnymi metodami, niemniej jednak wykazano zgodność jakościową uzyskanych wyników pozwalających z powodzeniem na identyfikację głównych źródeł zanieczyszczeń. W tym wypadku dla miasta Legnicy ponownie zidentyfikowano przemysł (huta miedzi) oraz komunikację, jako 2 główne źródła emisji zanieczyszczeń pyłowych na tym terenie. **Najważniejszym wnioskiem płynącym z tej publikacji jest wskazanie na problemy związane z porównaniem ilościowym wyników otrzymanych różnymi metodami, jednak zgodność analiz jakościowych pozwalających na identyfikację różnych źródeł zanieczyszczeń.**

Podsumowując, cykl artykułów stanowi spójny tematycznie opis badań mających na celu ocenę efektywności stosowania sieci pajęczych do określenia składu pierwiastkowego i mineralogicznego zanieczyszczeń pyłowych, identyfikacji źródeł ich emisji oraz oceny narażenia zdrowotnego ludności zamieszkującej badany obszar. Badania były prowadzone w 4 różnych lokalizacjach tj. w Legnicy, Głogowie, Wrocławiu oraz w okolicy Opola. Przedstawione wyniki potwierdzają przydatność sieci pajęczych w tego typu badaniach.

### **Uwagi do pracy**

Ze względu na to, że dzieło stanowi cykl artykułów opublikowanych w recenzowanych czasopiśmie nie będę się odnosił do treści samych artykułów (każdy z nich przeszedł pozytywnie proces recenzji), jednak skupię się na sposobie zaprezentowania ich najważniejszych osiągnięć przez autorkę w autoreferacie oraz postaram się syntetycznie ocenić całościowy efekt prowadzonych badań.

Praca napisana jest bardzo przejrzysto. Cel prowadzonych badań został jasno sprecyzowany w rozdziale 3 (p.3.2), gdzie autorka postawiła również hipotezę badawczą. Syntetyczne omówienie zagadnień badawczych poruszanych w publikacjach poprawnie podkreśla najważniejsze wnioski płynące z poszczególnych pozycji i pozwala jednoznacznie stwierdzić, że postawiona hipoteza została pozytywnie zweryfikowana, a założony cel badawczy został w pełni zrealizowany. Należy tu podkreślić, że autorka wykazała się wiedzą pozwalającą swobodnie interpretować wyniki pochodzące z rozmaitych metod analitycznych. Wykazała się również dojrzałością pamiętając o konieczności uzupełnienia tych danych analizami sytuacji meteorologicznej, która niejednokrotnie ma decydujący wpływ na obserwowane poziomy zanieczyszczeń oraz koniecznością stosowania metod statystycznych do oceny niepewności otrzymanych wyników. Autorka wykorzystła tu nie tylko dane meteorologiczne pochodzące ze stacji pomiarowych, ale również wykorzystła lagranżowski model transportu (HYSPLIT) pozwalający na określenie kierunków napływu mas powietrza, a zatem dający możliwość identyfikacji zanieczyszczeń napływających z większych odległości.

**Na podkreślenie zasługuje fakt, że w ramach pracy pierwszy raz porównano wyniki uzyskane za pomocą dwóch bioindykatorów (sieci pajęczce i porosty) oraz metody referencyjnej.**

Mimo, że rozprawa doktorska została napisana bardzo starannie autorka nie ustrzegła się drobnych błędów i niekonsekwencji w prowadzonych badaniach wymienionych poniżej.

Porównanie analiz z użyciem sieci pajęczych z metodą aktywną zostało przeprowadzone dla różnych frakcji pyłów. W przypadku metody pasywnej nie mamy kontroli nad zakresem średnic aerodynamicznych pyłów adsorbowanych przez sieć, natomiast metody aktywne dzięki stabilizacji przepływu i zastosowaniu impaktorów na wejściu umożliwiają dyskryminację wielkości ziaren na określonym poziomie. W publikacji 4 autorka porównywała zatem frakcję  $PM_{10}$  z pyłem całkowitym zawierającym również większe ziarna lub powstałe agregaty. Publikacja 8 zawiera porównanie jeszcze bardziej różniących się frakcji  $PM_{2.5}$  z pyłem całkowitym. Nie jest jasne, czemu nie zrezygnowano z użycia impaktorów na wlocie pobornika, co umożliwiłoby maksymalnie zbliżenie zakresu analizowanych średnic. Uzyskane zatem różnice ilościowe nie powinny dziwić. Dziwi natomiast zgodność analiz jakościowych przeprowadzonych dla różnych frakcji, zwłaszcza, że autorka zwraca uwagę na różnice w pochodzeniu i składzie pyłów różnych frakcji zaobserwowane za pomocą metody SEM-EDX. Sugerowałoby to spodziewany inny skład pierwiastkowy drobniejszych frakcji w porównaniu z pyłem całkowitym.

Dodatkowe wątpliwości budzi komentarz w artykule 4 dotyczący efektywności wyłapywania drobnych frakcji przez sieci pajęczce. Autorka pisze, że „bardzo drobne cząsteczki nie są w stanie zakumulować się na sieciach pajęczych z uwagi na specyficzne ułożenie nitek sieci”. Jak autorka powiąże ułożenie nitek w skali milimetrów ze zdolnością do akumulacji cząstek o średnicach rzędu  $1 \mu m$ ? Liczę tu na ustosunkowanie się autorki do dwóch powyższych zarzutów w czasie obrony.

W publikacjach 2, 4 i 8 autorka wykorzystła model HYSPLIT do analizy kierunków napływu mas powietrza. Świadczy to o świadomości autorki istotnej roli, jaką odgrywa dynamika atmosfery w kształtowaniu poziomu zanieczyszczeń oraz ryzyku błędnej interpretacji kierunków napływu określanych jedynie na podstawie pomiarów kierunku wiatru w miejscu pomiarowym. Brakuje jednak w artykułach bardziej szczegółowych informacji na temat konfiguracji modelu oraz źródła danych wejściowych a szczególnie ich rozdzielczości przestrzennej. W przypadku publikacji 4 wątpliwości nasuwa analiza wykresu częstotliwości trajektorii. Jeśli został on przygotowany na podstawie 24h

wstecznych trajektorii, to zasięg obszaru oddziaływania sięgający wybrzeży Islandii i Grenlandii wydaje się ogromny (dla porównania pojedyncze prezentowane trajektorie docierają w tym czasie jedynie do sąsiadujących krajów). Czy na pewno analiza częstotliwości została wykonana na podstawie 24h trajektorii?

#### **Uwagi szczegółowe**

- Autorka zamiennie używa pojęcia cząstki i cząsteczki zarezerwowanego do opisu pojedynczych molekuł. Bardziej poprawne byłoby używanie konsekwentnie pojęcia cząstki.
- Str. 16, przy opisie zasady działania analizatora HORIBA bardziej poprawnie byłoby mówić o absorpcji promieniowania  $\beta$  a nie rozproszeniu, które jest tylko jednym z mechanizmów oddziaływania promieniowania  $\beta$  z materią.
- Str. 33, rys 1. Oś x ze względu na dużą gęstość znaczników jest mało czytelna.
- Str. 106, zaskakująca jest bardzo wysoka wartość stężeń zaobserwowana w punkcie 13A. Tłumaczenie tego faktu bliskością 2 kategorii źródeł nie wydaje się wystarczające. Dyskusyjne jest też przypisanie tego faktu prowadzeniem robót remontowych, gdyż w takim wypadku skład pyłów powinien drastycznie różnić się od pozostałych punktów.

#### **Podsumowanie**

Dostrzeżone błędy wymienione powyżej nie umniejszają wartości merytorycznej pracy. W mojej ocenie praca doktorska mgr inż. Agnieszki Trzyna pt.: „Ocena skuteczności zastosowania sieci pajęczych poprzez wykonanie badań porównawczych (pyłomierz vs. sieci pajęczce) przy ocenie jakości powietrza wybranego regionu” odpowiada warunkom określonym w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2022 r. poz. 574 z późn. zm.) t.j.:

- Prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydatki w Dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, co jest poparte treścią autoreferatu prezentującego i interpretującego uzyskane wyniki oraz prezentującego dobre opanowanie autorki w tematyce badawczej;
- Stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego przedstawione w opublikowanym zbiorze 8 powiązanych tematycznie artykułów w zdecydowanej większości w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym

W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Agnieszki Trzyna do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

