

Warszawa, 16.04.2020 r.

Prof. dr hab. Jerzy Bartnicki  
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Podleśna 61  
01-673 Warszawa

## **RECENZJA**

rozprawy doktorskiej mgr Barbary Błaszczak

### **"Analiza zmienności sezonowej i pochodzenia wtórnego aerozolu nieorganicznego w drobnym pyłe atmosferycznym na wybranych stanowiskach tłowych w Polsce"**

Promotor pracy: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler

Promotor pomocniczy: dr inż. Krzysztof Klejnowski

#### **Podstawa przygotowania recenzji**

Formalną podstawą przygotowania tej recenzji jest Uchwała nr 23/2016 Rady Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej z dnia 19 kwietnia 2016 roku i zlecenie (pismo RND-IŚGIE-6-2020 z dnia 3 lutego 2020 roku).

#### **Celowość podjęcia tematu**

Problem zanieczyszczenia powietrza w Polsce zawsze był problemem poważnym. Wystarczy wspomnieć zakwaszenie środowiska i zniszczenie lasów w latach siedemdziesiątych spowodowane głównie emisją dwutlenku siarki do atmosfery. Problem zakwaszenia praktycznie przestał istnieć, a w każdym razie został bardzo ograniczony, poprzez redukcję emisji dwutlenku siarki do atmosfery ze źródeł przemysłowych.

Emisja tlenków azotu i amoniaku również przyczyniała się do zakwaszenia środowiska, ale w jeszcze większym stopniu do jego eutrofizacji. O ile jednak emisje tlenków azotu ze źródeł przemysłowych zostały częściowo zredukowane, to znacznie wzrosły ich emisje z transportu. W jeszcze większym stopniu wzrosły emisje amoniaku związane z rolnictwem powodując w efekcie eutrofizację już nie tylko jezior i wewnętrznych wód powierzchniowych w Polsce, ale również Bałtyku.

Osobny rozdział stanowią metale ciężkie, których emisje w Polsce należały i należą do najwyższych w Europie. Początkowo problemem był ołów emitowany głównie ze spalania benzyny w ruchu drogowym. Został on ograniczony po wprowadzeniu benzyny bezołowiowej co doprowadziło do spadku emisji, ale nie zniknął. Obecnie stężenia i depozycje rtęci, kadmu i nadal ołowiu na obszarze Polski należą do najwyższych w Europie.

Podobnie wygląda sytuacja z trwałymi związkami organicznymi, których stężenia i depozycje na terenie Polski są bardzo wysokie. Szczególnie stężenia benzo(a)pirenu, jednego z najbardziej toksycznych składników pyłu są znacząco wyższe na obszarze Polski niż w Europie. Tak więc jest to problem bezpośrednio związany z pyłami.

Wysokie stężenia pyłów, a szczególnie pyłów drobnych  $PM_{2.5}$  są obecnie najpoważniejszym zagrożeniem dla jakości powietrza w Polsce, a przede wszystkim w aglomeracjach miejskich. Co prawda emisje  $PM_{10}$  i  $PM_{2.5}$  ze źródeł polskich, znajdujące się w bazie programu EMEP i oficjalnie raportowane przez Polskę, zmalały odpowiednio o 38% i 40% pomiędzy rokiem 1996 i 2015, to jednak ponownie wzrosły w okresie 2015-2017, odpowiednio o 8% i 6%. Jak wynika z najnowszego raportu Europejskiej Agencji Środowiska z roku 2019, średnie roczne stężenia  $PM_{10}$  na obszarze Polski należą do najwyższych w Europie a średnie roczne stężenia  $PM_{2.5}$  są najwyższe w Europie. Dlatego pogłębienie wiedzy o składzie chemicznym tych pyłów, ich pochodzeniu oraz zmienności ich stężeń w czasie i przestrzeni jest bardzo istotne, nie tylko z naukowego, ale i z praktycznego punktu widzenia, mając na uwadze zdrowie ludności.

**W tym kontekście temat rozprawy Pani mgr Barbary Błaszczak jest tematem ważnym i aktualnym a jego podjęcie jest jak najbardziej celowe.**

### **Zakres merytoryczny pracy**

Główne cele tej rozprawy doktorskiej to: 1) analiza stężeń i składu chemicznego drobnego pyłu zawieszonego  $PM_{2.5}$  zebranego na trzech polskich stacjach tłowych monitoringu jakości powietrza, 2) analiza pochodzenia tego pyłu i 3) Ocena udziału wtórnego aerozolu nieorganicznego w zebranych pyłach ze szczególnym uwzględnieniem zmienności sezonowej tego udziału. Tezy pracy sformułowano następująco:

- **stężenia tłowe  $PM_{2.5}$  w Polsce są w sposób znaczący kształtowane przez wtórny aerozol nieorganiczny,**
- **udział wtórnego aerozolu nieorganicznego w stężeniach tłowych  $PM_{2.5}$  jest w przebiegu rocznym mało zmienny – w przeciwieństwie do udziału aerozolu organicznego.**

Rozprawa jest objętościowo obszerna, składa się z ośmiu rozdziałów merytorycznych i liczy, wraz załącznikiem, 209 stron.

W rozdziale pierwszym, poza tezami pracy, przedstawiono ogólną koncepcję badań obejmującą materiał badawczy i jego analizę.

W rozdziale drugim przedstawiono aktualny stan wiedzy związany z tematem pracy. Rozdział ten bazujący na studiach literaturowych obejmuje skład chemiczny pyłu, źródła jego pochodzenia, wpływ na środowisko i zdrowie ludzkie oraz regulacje prawne z tym związane – Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia. W rozdziale tym szczególną uwagę zwrócono na zagadnienia związane z aerozolem wtórnym, zarówno organicznym jak i nieorganicznym. Omówiono także czynniki mające wpływ na stężenia i skład chemiczny pyłów, głównie te związane z procesami emisji pyłów i ich prekursorów gazowych do atmosfery, przemianami chemicznymi generującymi aerozole wtórne oraz warunkami meteorologicznymi i klimatycznymi. Stosunkowo największy wpływ na wystąpienie zanieczyszczeń ma emisja, zaś poza emisją decydujący wpływ na wysokość stężeń pyłów mają warunki meteorologiczne. Przy czym największy wpływ na incydenty wysokich stężeń mają lokalne warunki meteorologiczne, zaś na napływ zanieczyszczeń ze źródeł regionalnych i dalekich największy wpływ ma sytuacja meteorologiczna na obszarze napływu. Część rozdziału drugiego poświęcono metodom oceny źródeł pochodzenia aerozolu atmosferycznego. W tej części przedyskutowano trzy metody identyfikacji źródeł emisji mające wpływ na stężenia zanieczyszczeń w rozpatrywanym receptorze. Były to metody oparte na danych z monitoringu, związane z zastosowaniem numerycznych modeli atmosferycznego transportu zanieczyszczeń uwzględniających ich emisję, przenoszenie w powietrzu i depozycje oraz metody stosujące modele receptorowe, którym poświęcono stosunkowo najwięcej miejsca. Ostatnia część rozdziału drugiego omawia problemy związane z monitoringiem pyłu, w tym akty prawne, metodę wyznaczania stężeń, klasyfikację stacji pomiarowych, wartości dopuszczalne stężeń i wyniki pomiarów na obszarze Europy. Studia literaturowe, na które powołuje się autorka w tym rozdziale są bardzo obszerne i obejmują znacząco liczbę publikacji, w tym najnowszych.

Metodyka badań jest tematem rozdziału trzeciego rozprawy. Przedmiotem badań były próbki PM<sub>2.5</sub> pobrane na trzech stacjach monitoringu powietrza zlokalizowanych w Szczecinie, Trzebini i Złotym Potoku. Analizowane próbki pochodziły z dwóch okresów: grzewczego, od stycznia do marca 2013 i nie grzewczego, od maja do lipca 2013. Dwie z tych stacji (Szczecin, Trzebinia) reprezentowały tło miejskie a pozostała - Złoty Potok tło regionalne. Stężenie masowe pyłu PM<sub>2.5</sub> wyznaczano metodą grawimetryczną w laboratoriach

WIOŚ, natomiast wszystkie analizy chemiczne wykonywano w IPIŚ PAN w Zabrze. Analizy chemiczne obejmowały zawartość wybranych jonów rozpuszczalnych w wodzie oraz zawartość węgla organicznego i elementarnego. Zawartość jonów oznaczono metodą chromatografii jonowej, a zawartość węgla metodą termiczno-optyczną opisaną w załączniku.

W celu identyfikacji czynników wpływających na skład fizykochemiczny pyłu  $PM_{2.5}$  zastosowano metodę analizy składowych głównych połączoną z wielowymiarową analizą regresji. Zbadano związki pomiędzy stężeniem  $PM_{2.5}$ , stężeniami analizowanych substancji chemicznych oraz parametrami meteorologicznymi i zanieczyszczeniami gazowymi. Obliczenia wykonano dla wszystkich trzech stacji pomiarowych i dla obu okresów pomiarowych. Oceniono też wpływ typów cyrkulacji atmosferycznych na stężenie i skład chemiczny  $PM_{2.5}$ . Do oceny roli dalekiego transportu w mierzonych stężeniach na wybranych stacjach zastosowano trajektorie wsteczne na okres dziewięciu dni obliczane przy pomocy modelu HISPLIT z krokiem czasowym 3 godziny. Jako danych wejściowych użyto pola wiatru z wysokości 10m, 100m i 200m nad poziomem gruntu, jednak do dalszej analizy użyto trajektorii jedynie z poziomu 10m. Metodą CWT (*Concentration Weighted Trajectory*) wyznaczono potencjalne obszary źródłowe zanieczyszczeń na analizowanych stacjach a następnie wyznaczono główne kierunki napływu mas powietrza do każdego z trzech receptorów metodą analizy skupień trajektorii wstecznych.

### **Ocena wartości naukowej rozprawy**

Przede wszystkim warto podkreślić w metodyce badań bardzo efektywne i sprawne połączenie elementów pracy laboratoryjnej, polegającej na analizie składu chemicznego mierzonych próbek  $PM_{2.5}$  z pracą o charakterze teoretycznym obejmującą analizę zmienności sezonowej stężeń pyłów  $PM_{2.5}$  i ich komponentów oraz identyfikację ich źródeł z wykorzystaniem modelowania matematycznego. W tym połączeniu, poza zaawansowaną techniką analityczną, wykorzystano zaawansowane metody statystyczne w modelowaniu receptorowym oraz analizie trajektorii wstecznych obliczonych przy pomocy modelu HISPLIT. Jest to wartościowe naukowo podejście kompleksowe.

Omówienie stanu badań i najważniejszych problemów związanych z pyłem w rozdziale pierwszym jest cennym przeglądem sytuacji w Europie i szczególnie w Polsce bazującym na bardzo obszernym zestawie literatury naukowej oraz wiedzy i doświadczeniu autorki. Zestaw ten obejmuje pozycje najnowsze (w momencie pisania pracy) oraz szereg pozycji, których Pani mgr Błaszczak jest pierwszym autorem, bądź współautorem. Wyniki tej rozprawy zostały częściowo opublikowane jako artykuły w uznanych międzynarodowych

czasopismach naukowych, w tym w czasopiśmie 100 punktowym „Aerosol and Air Quality Research”.

Rezultatem przeprowadzonej obszernej i szczegółowej analizy stężeń  $PM_{2.5}$ , i jego składu chemicznego jest cały szereg wartościowych i interesujących z naukowego punktu widzenia wyników.

Porównanie stężeń masowych  $PM_{2.5}$  na wybranych stacjach prowadzi do dwóch wniosków. Po pierwsze, że na wszystkich stacjach stężenia są znacznie wyższe w sezonie grzewczym niż niegrzewczym, oraz że stężenia są znacznie wyższe w Trzebini i Złotym Potoku niż w Szczecinie, co jest zgodne z oczekiwaniami. Natomiast nieco zaskakują wysokie stężenia w Złotym Potoku jako stacji tła pozamiejskiego, a szczególnie absolutne maksimum wszystkich mierzonych stężeń zaobserwowane na tej stacji. Wyjaśnieniem tej sytuacji według autorki jest rozkład źródeł emisji (w czasie i przestrzeni) oraz warunki meteorologiczne. Stężenia na wszystkich badanych polskich stacjach są względnie wysokie w porównaniu ze stacjami europejskimi. To czego trochę brakuje, w tym fragmencie pracy, to analiza epizodów ze stężeniami maksymalnymi dla każdej ze stacji.

Szczegółowa analiza składu chemicznego  $PM_{2.5}$  pokazała, że głównym składnikiem  $PM_{2.5}$  na wszystkich wybranych stacjach jest aerozol węglowy, z zawartością w granicach 40%. Zachodzą jednak duże różnice w udziałach aerozolu wtórnego i pierwotnego dla poszczególnych stacji. Stwierdzono, że największy wpływ na stężenia pyłu węglowego mają: znaczna koncentracja przemysłowych, komunalnych i komunikacyjnych źródeł emisji w Trzebini, źródła komunikacyjne w Szczecinie i spalanie paliw w źródłach lokalnych w Złotym Potoku. Badania wykazały, że udział aerozolu węglowego jest wyższy na wybranych stacjach niż na innych stacjach europejskich czego powodem jest większe spalanie paliw kopalnych i biomasy w Polsce.

Aerozol wtórny jest istotnym składnikiem pyłu drobnego na badanych stacjach, przy czym udział wtórnego aerozolu nieorganicznego jest wyższy niż wtórnego aerozolu węglowego. W porównaniu z Europą, udział aerozolu wtórnego jest niższy w Polsce. Ważnym wynikiem analizy stężeń składu chemicznego pyłu drobnego na wybranych stacjach pomiarowych i zastosowania modelu PCA-MLRA jest wysoka lub bardzo wysoka korelacja pomiędzy SIA i  $PM_{2.5}$ , w obu rozpatrywanych sezonach. Ten rezultat potwierdza duży udział wtórnego aerozolu nieorganicznego w stężeniach drobnego pyłu zawieszonego, a tym samym **pierwszą tezę pracy.**

Stężenia poszczególnych wtórnych jonów nieorganicznych różniły się dla poszczególnych stacji i sezonów z wyraźnie wyższymi wartościami w sezonie grzewczym.

Wynikało to głównie z wysokiego stężenia  $PM_{2.5}$ , w sezonie grzewczym spowodowanym zwiększoną aktywnością źródeł antropogenicznych w tym okresie. Natomiast udział wtórnego aerozolu nieorganicznego pozostawał względnie stały. **Ten ważny wynik potwierdza drugą tezę pracy.**

W rozprawie podjęto skuteczną próbę identyfikacji źródeł badanego aerozolu, zarówno typu źródła jak i jego lokalizacji. Przeanalizowano także wpływ warunków meteorologicznych na mierzone stężenia pyłu drobnego, potencjalny obszar wpływu związany z dalekim transportem zanieczyszczeń oraz wpływ typów cyrkulacji na stężenia. Wyniki wskazują na dominującą rolę źródeł lokalnych i po części regionalnych z obszaru Polski, a szczególnie spalania paliw kopalnych i emisji z ruchu drogowego. W sezonie grzewczym, poza emisją pierwotną pyłu, ważną rolę odgrywają też emisje prekursorów gazowych. Analiza trajektorii wstecznych obliczonych modelem HISPLIT sugeruje, że rola dalekiego transportu zanieczyszczeń ma praktyczne znaczenie jedynie w sezonie niegrzewczym. Te wyniki wskazują na główne kierunki redukcji emisji w celu uzyskania niższych stężeń pyłu drobnego na obszarze Polski.

Badania będące przedmiotem rozprawy pogłębiły ogólną wiedzę na temat składu chemicznego pyłu drobnego, szczególnie na obszarze podmiejskim. Ważnym rezultatem tych badań jest oszacowanie udziału emisji lokalnej i dalekiego transportu zanieczyszczeń w kształtowaniu składu chemicznego i stężenia  $PM_{2.5}$  dla wybranych stacji i ogólnie diagnoza stanu zanieczyszczenia powietrza na analizowanych terenach z uwzględnieniem przyczyn.

### **Uwagi ogólne i redakcyjne**

Praca jest bardzo dobrze napisana i mimo, że obszerna to zawiera tylko istotne informacje związane z jej tematem. Zestaw tabel i rysunków jest właściwie dobrany i dobrze ilustruje zarówno poruszone zagadnienia jak i uzyskane wyniki.

Drobne uwagi redakcyjne przedstawione poniżej nie wpływają na wysoką ocenę merytoryczną pracy:

- str. 11: W wykazie stosowanych skrótów EMEP rozwinięto jako „European Monitoring and Evaluation Programme”. Jest to nazwa potoczna i nieoficjalna. Oficjalna to “The co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe”;
- str. 27: Rysunek II.1-2. Niektóre kolory reprezentujące sektory emisji pyłu pierwotnego są niewyraźne i trudne do odróżnienia;

- str. 43: Sformułowanie „Najczęściej wykorzystywane są trajektorie wsteczne generowane przez model Lagrange’a” jest trochę niefortunne, ponieważ dowolne trajektorie obliczane są przez rozwiązanie równań ruchu i nie wymagają modelu;
- str. 83: Rysunek IV.3.1. Dla każdej ze stacji użyto innej skali pionowej. Jest to nieco mylące i utrudnia porównanie;
- str. 153: Na rys. IV.6-1 zastosowano różne skale przestrzenne dla przedstawionych map izolinii stężeń PM<sub>2.5</sub>. Utrudnia to porównanie uzyskanych wyników.

### **Podsumowanie i wniosek końcowy**

Poza konstruktywnym przeglądem i podsumowaniem stanu badań nad pyłem prowadzonych w Europie i w Polsce, oryginalnymi i wartościowymi elementami pracy są szczególnie: analiza składu chemicznego mierzonych próbek PM<sub>2.5</sub> na trzech wybranych stacjach monitoringu w Polsce oraz oszacowanie udziału emisji lokalnej i dalekiego transportu w kształtowaniu składu chemicznego pyłu drobnego dla tych stacji z uwzględnieniem warunków meteorologicznych. **Rozprawa doktorska Pani mgr Barbary Błaszczak w sposób istotny przyczynia się do pogłębienia stanu wiedzy o pyłe drobnym a szczególnie o pyłe drobnym na terenie Polski.**

Biorąc pod uwagę te elementy, stwierdzam, że oceniana przeze mnie rozprawa **spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim** z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2014r. poz. 1852 z późniejszymi zmianami) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, a także Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261).

W oparciu o powyższe **wnoszę o dopuszczenie Pani mgr Barbary Błaszczak do publicznej obrony rozprawy** przed Radą Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej.

Jednocześnie ze względu na wysoki i ponadprzeciętny poziom tej rozprawy, w sposób znaczący pogłębiający wiedzę na temat pyłów, **wnioskuję o rozważenie przez Radę Wydziału jej wyróżnienia.**

