

dr hab. inż. Agnieszka Ziernicka-Wojtaszek, prof. URK
Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja
w Krakowie

Motto:

Cóż ty mi, biedny biesie, możesz dać?

[...]

*masz jadła, które gorczycą
są jeno, które nie sycą,
masz złoto, które w ręce człowieka,
jak żywe srebro przecieka,
gry, które zgubę przynoszą*

Johann Wolfgang Goethe FAUST
przekład Emil Zegadłowicz

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny Kociszewskiej
pt.: „Wpływ warunków meteorologicznych i zanieczyszczeń powietrza
na stężenie wybranych form rtęci w powietrzu atmosferycznym”

Recenzję sporządzono na zlecenie Pana prof. dr. hab. inż. Janusza Kubraka Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (pismo nr IIS 57/2022 z dnia 8 listopada 2022 r.).

Krótki zarys historyczny problemu

Do niedawna jeszcze rtęć była substancją niejako oswojoną, niewywołującą u człowieka negatywnych skojarzeń, była jakąś częścią naszej codziennej praktyki czy egzystencji. Z rtęcią mieliśmy do czynienia przy powszechnym jej stosowaniu w meteorologicznych przyrządach pomiarowych służących do pomiaru temperatury, wilgotności powietrza metodą psychrometryczną i ciśnienia atmosferycznego, czyli w różnego rodzaju termometrach i barometrach. Chorym mierzono powszechnie temperaturę termometrami rtęciowymi. Stopy rtęci – amalgamaty, wykorzystywane są do dziś w stomatologii jako plomby. W praktyce rolniczej do zaprawiania ziarna siewnego, do ochrony kiełkujących w ziemi nasion przed chorobami grzybowymi stosowano między innymi preparaty, w skład których wchodziły wysoce toksyczne organiczne związki rtęciowe. Może mniej znanymi zastosowaniami były takie, jak produkcja świetlówek i lamp rtęciowych, wyrób spłonek i detonatorów, a także farb okrętowych.

Do środowiska rtęć wprowadzana była i jest ze źródeł naturalnych, w tym z wulkanów i pożarów lasów, reemisji z powierzchni oceanicznych i lądowych. Wraz z rozwojem produkcji przemysłowej powstało źródło rtęci z działalności antropogenicznej – metalurgii, produkcji cementu, spalania odpadów i innych procesów przemysłowych, a przede wszystkim z produkcji energii, zwłaszcza spalania paliw stałych – takich jak węgiel kamienny, węgiel brunatny, torf i drewno – zarówno w warunkach przemysłowych, jak i domowych. Paliwa te zawierają niewielkie ilości rtęci; po spaleniu następuje jej uwolnienie do środowiska. Oszacowano, że w wyniku działalności antropogenicznej w ciągu ostatniego stulecia stężenie rtęci w atmosferze wzrosło od 3 do 5 razy i potrojiło się w wodach powierzchniowych oceanów.

Spalanie jest głównym źródłem emisji rtęci w Europie. Jak wskazują raporty HELCOM (2018) i EMEP (2018) wśród krajów regionu Morza Bałtyckiego Polska jest jednym z głównych emitentów rtęci do atmosfery. Obszary wysoko przekształcone antropogenicznie, w tym większe ośrodki miejskie, bądź tereny o silnie rozwiniętym przemyśle charakteryzują się podwyższonymi stężeniami całkowitej rtęci gazowej TGM. Polska to także kraj, w którym redukcja emisji rtęci jest najmniej skuteczna w porównaniu z większością krajów Europy (EOG 2019), co świadczy o pilnej potrzebie modernizacji i przekształceń w sektorach energetycznym i przemysłowym.

Rtęć jest jedną z najbardziej toksycznych substancji dla ludzi, zwierząt, roślin i mikroorganizmów. Ma działanie mutagenne, może być kumulowana w organizmie. Cechą wspólną rtęci i jej licznych związków jest wysoka lotność, co skutkuje stratami rtęci, a niekiedy jej niewykryciem w trakcie analiz chemicznych o małym stopniu wykrywalności. Przemieszcza się także na duże odległości. W rzeczywistości około połowa rtęci odkładająca się w Europie pochodzi spoza kontynentu.

Pierwszym wyraźnym światowym sygnałem i niejako symbolem niebezpiecznej rtęci jest choroba z Minamaty. W połowie XX wieku japońska wytwórnia chlorku winylu stosowanego przy produkcji tworzyw sztucznych wypuszczała do wód zatoki Minamata ścieki zawierające rtęć nieorganiczną (metylortęć). Przez lata gromadziła się ona w mięsie dużych ryb drapieżnych i owocach morza, które były głównym składnikiem pokarmowym w wioskach rybackich. W sumie do roku 2001 oficjalnie rozpoznano ponad 2 tysiące przypadków choroby, w tym prawie 80% zakończonych śmiercią, około 10 tysięcy osób otrzymało odszkodowania. To tylko jeden z przypadków, najbardziej znany czy nagłośniony.

Wraz z upowszechnianiem się na świecie idei ekorozwoju następuje niejako odwrót od zastosowań rtęci. Ze względu na swoją toksyczność rtęć jest wycofywana z produktów w Europie – w ciągu ostatnich 40 lat istotne działania legislacyjne znacznie ograniczyły jej wykorzystanie i uwalnianie do środowiska. W pozostałej części świata wykorzystanie rtęci i jej emisje wzrastają z upływem czasu, co jest związane z ciągłym rozwojem gospodarczym i industrializacją, przy czym jej główne źródła to spalanie węgla oraz tradycyjne wydobywanie złota na małą skalę.

Aby rozwiązać problem rtęci, w październiku 2013 r. przyjęto pierwszą globalną umowę międzynarodową, Konwencję z Minamaty. Konwencja została ratyfikowana przez 98 stron i weszła w życie w 2017 r. W Europie nie prowadzi się już wydobywania rtęci, a w nadchodzących latach popyt na ten surowiec będzie nadal spadać. Istnieją europejskie, unijne i światowe, a wraz z nimi polskie regulacje prawne dotyczące dopuszczalnych zawartości rtęci w środowisku i w określonych produktach, a także specjalistyczne raporty, które zawierają pełny przegląd wszystkich kwestii związanych ze zdrowiem i środowiskiem, jak również strategii dotyczących rtęci. Pozytywnym aspektem jest to, że w ostatnich latach zauważa się ogromny postęp, jeśli chodzi o analizę śladowych, a nawet ultraśladowych stężeń rtęci w poszczególnych komponentach środowiska.

Doktorantka pisze we wstępie „*W świecie chorób cywilizacyjnych, pełnym stresu i pośpiechu, narastającym problemem ze smogiem itd. powinniśmy zrobić wszystko, co w naszej mocy, by zapewnić sobie czyste powietrze. By to osiągnąć niezbędna jest wiedza*”... (podkreślenie recenzenta).

Jest to zgodne z odwieczną rolą Uniwersytetu jako szczególnej instytucji do poznawania i przekazywania prawdy i wiedzy w wizji prof. Piotra Sztompki „Uniwersytet współczesny; zderzenie dwóch kultur” (Nauka 1/2014): „*Uniwersytet jest instytucją szczególną. Gdy powstawał w Średniowieczu, odróżniał się od razu od dworu monarszego, kościoła, zakonu rycerskiego, manufaktury. A później przez wieki był istotnie inny od urzędów państwowych, armii, przedsiębiorstw, innych rodzajów szkół. To, co go wyróżniało, to pewna centralna wartość: apoteoza rozumu, racjonalności. Jak głosi dewiza najstarszego polskiego uniwersytetu **Plus ratio quam vis**. Wartość ta dyktowała szczególne sposoby działania: odwoływanie się do faktów, logiczną argumentację, uzasadnianie twierdzeń, obiektywizm, odpowiedzialność za słowo. W innych instytucjach centralne są inne wartości: w politycznych – władza, w wojskowych – waleczność, w religijnych – wiara, w ekonomicznych – produkcja*” [...]

W tym to duchu Doktorantka odkrywa, porządkuje i przekazuje nam systematyczną, solidną i najnowszą prawdę oraz wiedzę o meteorologicznej fazie obiegu rtęci w Polsce na tle świata. Tak to na wstępie widzę...

Treść pracy i jej ocena

Wiele książek informuje o swojej zawartości w pierwszym krótkim rozdziale pod neutralnym tytułem „Wstęp”. Parafrazując pierwszy rozdział książki Zbigniewa W. Kundzewicza i Piotra Kowalczyka „Zmiany klimatu i ich skutki”, zatytułowany „O czym jest ta książka?”, można, pisząc tę recenzję, postawić podobne pytanie: o czym jest ta praca?

Z tytułu pracy „Wpływ warunków meteorologicznych i zanieczyszczeń powietrza na stężenie wybranych form rtęci w powietrzu atmosferycznym” można domyślać się, że został opisany ów wpływ i prawdopodobnie jest to wpływ mierzalny, ilościowy – zakończony opracowaniem modeli zależności informujących o wpływie wybranych czy istotnych elementów meteorologicznych i zanieczyszczeń powietrza na stężenie rtęci w powietrzu atmosferycznym.

To przypuszczenie potwierdza postawiona hipoteza robocza w brzmieniu: „*Istnieje związek między elementami meteorologicznymi, danymi imisyjnymi i stężeniem wybranych form rtęci na tyle ścisły, że można go wykorzystać do prognozowania stężeń rtęci w innych rejonach nieobjętych monitoringiem*”. W streszczeniu i celu pracy znalazło się wszystko, ale bez szczegółów, z planu pracy też nie dowiemy się o szczegółach. Najwięcej, a może wszystko, jest jednak w treści pracy.

Układ pracy z poszczególnymi rozdziałami musi być taki, jaki jest – odpowiada to przyjętemu porządkowi dla prac przyrodniczo-technicznych. Są tam oprócz rozdziałów ściśle merytorycznych takie niezbędne, wyczerpująco i wzorowo opracowane, rozdziały jak: cel i teza pracy, wieloaspektowy przegląd literatury, analiza materiałów i opis metody badań oraz opracowań statystycznych, wyniki badań, wnioski, spis literatury, tabel i wykresów oraz streszczenie. Dyskusja nie została wyodrębniona jako osobny rozdział, prowadzona jest na bieżąco po zakończeniu każdego badanego zagadnienia. To dobry pomysł, pozwala od razu skonfrontować otrzymane wyniki z wynikami innych badaczy, bez wracania myślą na końcu pracy do poszczególnych problemów badawczych.

Analizując pracę z pozycji recenzenta, jednak w innym porządku i celu – aby odpowiedzieć na pytanie „O czym jest ta praca?”, można stwierdzić, że jest to praca o szerokiej tematyce:

1. Prezentuje stan wiedzy na temat stężeń różnych form rtęci w powietrzu na obszarze całego świata, zawiera informacje o rtęci jako substancji chemicznej, źródłach rtęci i formach jej występowania, zwłaszcza w powietrzu atmosferycznym, metodach analiz, wpływie warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się rtęci, oddziaływaniu rtęci na organizmy żywe, o regulacjach prawnych dotyczących stężeń rtęci oraz jej monitoringu.

Autorka pracy przeanalizowała w tym celu 218 pozycji literatury, w większości obcojęzycznej. W 90% cytowane pozycje są publikacjami XXI-wiecznymi. Ponad połowa została opublikowana w drugiej dekadzie i na początku trzeciej dekady XXI wieku. Literatura posłużyła również jako punkt odniesienia w dyskusji do zaprezentowanych w dalszej części wyników badań własnych. Oprócz tego poza wykazem literatury znalazło się 30 pozycji dotyczących norm i regulacji prawnych krajowych i międzynarodowych. Jest to literatura z bardzo wielu dziedzin związanych z rtęcią, jak chemia, w tym metodyka analiz chemicznych, meteorologia z doskonałą znajomością dynamiki atmosfery, medycyna, toksykologia, statystyka, prawo. Ten przegląd światowej wiedzy zadośćuczyni wymaganiom art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późniejszymi zmianami, który to artykuł mówi, w punkcie 1, że „Rozprawa doktorska [...] powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego [...] oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej lub artystycznej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej”. Taką wiedzę Doktorantka w bardzo zadowalający, systematyczny, kompletny i wzorowy sposób wykazała w rozdziale 2 zatytułowanym „Przegląd literatury”.

2. Zawiera badania własne (tak jakby zebranie światowego dorobku w dziedzinie nie było dziełem własnym) albo – parafrazując Wincentego Pola – stanowi „Pieśń o ziemi naszej”, czyli **kompleksową analizę wyników pomiarów na 5 stacjach monitoringu rtęci w Polsce**. Stężenie całkowitej rtęci gazowej (TGM) w Polsce monitorowane jest w sposób ciągły od 2010 r. w pięciu miejscowościach mniej więcej równomiernie rozmieszczonych na obszarze Polski zgodnie z wytycznymi krajowymi i unijnymi na następujących stacjach pomiarowych: Puszcza Borecka (woj. warmińsko-mazurskie), Zielonka (woj. kujawsko-pomorskie), Granica (woj. mazowieckie), Złoty Potok (woj. śląskie), Osieczów (woj. dolnośląskie). Powyższe stacje pomiarowe reprezentują warunki typowe dla tzw. obszarów podmiejskich i należą do grupy stacji tzw. tła regionalnego. Pomiary prowadzone są przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, tylko Stacja Puszcza Borecka przez Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy.

Pomiary zostały rozpoczęte w 2010 r. i od tego to czasu są przedmiotem zainteresowania i wszechstronnych analiz Doktorantki. Większość analiz obejmuje 5-letni okres 2010–2014, ale zdarza się, że analizowane są wyniki z dalszych lat, do 2020 roku. Przeanalizowano wartości średnie, skrajne, częstości poszczególnych przedziałów stężeń, rytm zmienności w poszczególnych latach, rytm sezonowy, miesięczny i dobowy. W celu zbadania zależności pomiędzy stężeniami całkowitej rtęci gazowej a dominującymi kierunkami wiatru wykonano analizę zanieczyszczeniowych róż wiatru dla całego roku oraz z podziałem na sezon chłodny i ciepły. Dla każdej z analizowanych stacji wykonano trajektorie wsteczne dla wybranych w większości trzech przykładowych dni, w których odnotowano najwyższe stężenia całkowitej rtęci gazowej w powietrzu, aby określić potencjalne obszary źródłowe napływających mas powietrza. Analizowano ruch mas powietrza trwający 96 godzin przed wystąpieniem przypadków najwyższego notowanego stężenia TGM.

Za pomocą korelacji Pearsona wykazano zależność pomiędzy stężeniem całkowitej rtęci gazowej a elementami meteorologicznymi, takimi jak: temperatura powietrza, ciśnienie atmosferyczne, wysokość opadów atmosferycznych, prędkość wiatru i wilgotność względna powietrza, a także pięcioma zanieczyszczeniami powietrza SO₂, NO₂, O₃, PM_{2,5} i PM₁₀.

Istnienie statystycznie istotnej ($p < 0,05$) korelacji Pearsona pomiędzy stężeniami TGM a stężeniami NO_2 , SO_2 , $\text{PM}_{2,5}$ i PM_{10} , wskazuje na proces spalania jako ważne źródło całkowitej rtęci gazowej, zarówno lokalne, jak i transgraniczne na wymienionych stacjach. Generalnie zasygnalizowane analizy są kompletne, wyczerpujące i przedstawione w fachowym, lecz doskonale komunikatywnym, poprawnym języku.

3. Obejmuje badania własne rtęci związanej z pyłem PM_1 w powietrzu atmosferycznym. Niezależnie od wykorzystania wyników pomiarów na 5 stacjach monitoringu wykonano **badania własne rtęci związanej z pyłem PM_1 w powietrzu atmosferycznym** we współpracy z Instytutem Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrzu (IPIŚ PAN Zabrze). Badania przeprowadzono równolegle w dwóch ośrodkach miejskich w Polsce, reprezentujących aglomerację górnośląską i warszawską. Zrealizowano je w sezonie ciepłym – niegrzewczym (2 miesiące w roku 2014) oraz chłodnym – grzewczym (2 miesiące na początku roku 2015). Badania dotyczące rtęci związanej z pyłem PM_1 do tej pory nigdzie nie były realizowane. Stanowią, więc unikatowy element pracy, z uwagi na brak prac w tym zakresie, a zarazem są one niezwykle ważne z punktu widzenia zdrowia człowieka, gdyż niewielkich rozmiarów cząstki pyłu PM_1 z łatwością wnikają do układu oddechowego i krwionośnego. W Warszawie stężenia były 2–3 razy niższe niż w aglomeracji śląskiej. Przeanalizowano wartości średnie, ekstrema w okresie ciepłym, chłodnym i ogólnie, przedstawiono histogramy rozkładu średnich dobowych stężeń HgP w Warszawie i Zabrzu.

4. Opisuje migrację rtęci związanej z pyłem z powietrza atmosferycznego do pomieszczeń zamkniętych.

Badania zrealizowano w dwóch ośrodkach – polskich uczelniach: Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie i Politechnice Śląskiej na przełomie wiosny i lata (IV–VI 2016 r.). Miały one na celu rozpoznanie stężeń submikronowego pyłu zawieszonego w powietrzu (PM_1) i związanej z nim rtęci (HgP) w sali wykładowej (Warszawa) i w laboratorium studenckim (Gliwice) oraz w powietrzu atmosferycznym poza każdym z tych pomieszczeń. Liczba badań poświęconych zanieczyszczeniu powietrza wewnątrz pomieszczeń zamkniętych przez pył zawieszony jest niewielka w porównaniu z licznymi badaniami zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. W Polsce znanych jest zaledwie kilka prac poświęconych PM wewnątrz obiektów dydaktycznych, dlatego też podjęte badania należy uznać za cenne i pionierskie.

Stwierdzono zdecydowanie wyższe stężenia zarówno PM_1 , jak i HgP w Gliwicach niż w Warszawie. W Warszawie średnia wartość stężenia HgP poza budynkiem była równa wartości średniego stężenia HgP wewnątrz sali, w Gliwicach wyższe stężenia HgP notowano przez większość okresu badawczego w sali laboratoryjnej niż na zewnątrz budynku. Analiza korelacji wykazała, że stężenia HgP w Warszawie najsilniej związane są z wartościami PM_1 (współczynnik korelacji 0,79), PM_{10} (0,77), SO_2 (0,63), NO_2 (0,56) oraz O_3 (–0,49) w całym okresie pomiarowym. W przypadku Zabrze natomiast uzyskano niższe wartości współczynników korelacji, szczególnie dla związków HgP z SO_2 i PM_{10} , natomiast wyższe dla związku HgP z NO_2 . Współczynniki korelacji dla rtęci związanej z pyłem PM_1 oraz wybranych zanieczyszczeń powietrza są wyższe niż względem parametrów meteorologicznych.

5. Ostatni rozdział i ostatni problem jest najbardziej i bezpośrednio związany z tezą pracy: *„Istnieje związek między elementami meteorologicznymi, danymi imisyjnymi i stężeniem wybranych form rtęci na tyle ścisły, że można go wykorzystać do prognozowania stężeń rtęci w innych rejonach nieobjętych monitoringiem”*, czyli rozdział na temat ilościowych zależności stężenia wybranych form rtęci jednocześnie od danych imisyjnych i elementów meteorologicznych. Zostawmy na razie drugą część tezy i ograniczmy się do analizy stwierdzenia, że istnieje związek między elementami meteorologicznymi, danymi imisyjnymi i stężeniem wybranych form rtęci.

Przeprowadzono podstawową analizę średnich stężeń TGM i HgP w powietrzu oraz wartości ekstremalnych. A co najważniejsze, przeprowadzono analizy statystyczne w postaci współczynnika korelacji i regresji wielokrotnej w celu zbadania związku między stężeniem całkowitej rtęci gazowej oraz rtęci związanej z pyłem w powietrzu a warunkami meteorologicznymi: ciśnieniem atmosferycznym, temperaturą powietrza, wilgotnością względną powietrza, prędkością wiatru i wysokością opadu atmosferycznego oraz zanieczyszczeniami powietrza: SO₂, NO₂, O₃, PM_{2,5} i PM₁₀, a także PM₁ dla Zabrze i Warszawy. Do identyfikacji wpływu czynników meteorologicznych i imisyjnych na stężenie rtęci gazowej lub związanej z pyłem PM₁ wykorzystano ogólny model regresji GRM (Generalised Regression Model). Estymację modelu GRM przeprowadzono iteracyjnie – metodą krokową wsteczną. Polega ona na tym, że zaczynamy z pełnym modelem i sekwencyjnie eliminujemy z modelu najmniej ważną zmienną. Ważność zmiennej ocenia odpowiednia statystyka. Zgodnie z przyjętą metodyką w kolejnych krokach analizy usuwano zmienne, które były nieistotne i miały najmniejszą wartość – niższą od progowej statystyki F. Uwzględniono następujące kryteria selekcji, umożliwiające uporządkowanie kandydujących modeli od najlepszego do najgorszego: statystyka R², statystyka poprawionego R², wartość ŚKR – średni kwadrat resztkowy, statystyka Mallowsa Cp. Celem zobrazowania znaczenia zmiennych (imisyjnych i meteorologicznych) uszeregowano je względem wartości statystyki t-studenta oceny istotności parametrów modelu, co przedstawiają załączone wykresy Pareto.

Otrzymano w rezultacie 15 równań (5 stacji monitoringu, na każdej stacji równanie dla całego okresu badawczego, dla okresu chłodnego i dla ciepłego, plus 6 równań dla Zabrze i Warszawy z uwzględnieniem całego okresu badawczego, sezonu chłodnego i ciepłego). Najczęściej w skład równania wchodziło 3–6 zmiennych niezależnych, mniej więcej w równej mierze były to zmienne dotyczące warunków meteorologicznych, jak i imisyjnych. Modele GRM uzyskane dla HgP są zdecydowanie lepsze niż w przypadku TGM, wyjaśniają od 22 do 83% jej zmienności. Najlepszy model uzyskano dla Warszawy dla całego okresu badawczego – wyjaśnia on 83% zmienności stężenia. Tak więc związek między elementami meteorologicznymi, danymi imisyjnymi a stężeniem wybranych form rtęci został nie tyle w zadowalający, co we wzorowy sposób zaprezentowany i jasno omówiony.

Treść pracy, a teza i cele pracy

Pierwsza część tezy została więc udowodniona, jak wykazano w punkcie 5 rozdziału recenzji omawiającego „O czym jest ta praca”. Co z częścią drugą tezy? Czy wobec tego został spełniony punkt 1 art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z późniejszymi zmianami, który mówi, że „Rozprawa doktorska [...] powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub **oryginalne rozwiązanie problemu** w oparciu o opracowanie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne, lub oryginalne dokonanie artystyczne [...]”. Czy problem naukowy został rozwiązany w świetle dotychczas zaprezentowanych i pozytywnie ocenionych badań?

Na razie kilka uwag na temat oryginalności rozwiązania przedsięwziętego problemu naukowego. Wróćmy do celu, a właściwie celów pracy, jakie sobie Doktorantka postawiła. Są to cztery cele:

1. Identyfikacja czynników wpływających na kształtowanie się stężeń wybranych form rtęci w powietrzu atmosferycznym na analizowanych obszarach.
2. Identyfikacja kierunków napływu zanieczyszczeń powietrza nad rozpatrywane obszary i próba wskazania źródeł emisji rtęci.
3. Badania nad zjawiskiem przenoszenia rtęci na cząstkach pyłu z powietrza atmosferycznego do pomieszczeń zamkniętych.

4. Opracowanie modeli identyfikujących wpływ wybranych wyników pomiarów, zarówno imisyjnych jak i meteorologicznych na stężenia rtęci gazowej i związanej z pyłem PM_{10} w powietrzu atmosferycznym.

Cel pierwszy został osiągnięty – Doktorantka zidentyfikowała metodami statystycznymi, za pomocą korelacji Pearsona i regresji krokowej wielokrotnej, istotne czynniki natury meteorologicznej i imisyjnej wpływające na stężenie średniej dobowej wartości stężenia TGM lub HgP. Przez analizę zanieczyszczeniowych róż wiatru i analizę trajektorii wstecznych zrealizowała cel drugi. Przy kierunkach wiatru z obszarów przekształconych antropogenicznie obserwowano podwyższone stężenia TGM. Na uwagę zasługuje analiza trajektorii wstecznych na trzech wysokościach, rzadko stosowana w tego typu analizach, co pozwoliło na określenie roli transportu transgranicznego mierzonych zanieczyszczeń powietrza. Cel trzeci dotyczący przenoszenia rtęci na cząstkach pyłu z powietrza atmosferycznego do pomieszczeń zamkniętych został również w zadowalający sposób osiągnięty. Na specjalną uwagę zasługuje w tym miejscu zainicjowanie badań dotyczących rtęci związanej z PM_{10} , dotychczas nigdzie nie przeprowadzanych, co uniemożliwia porównanie wyników. Podjęcie i kontynuacja badań w tym zakresie mają zatem zasadnicze znaczenie, tym bardziej, że pyły submikronowe z łatwością przenikają do układu oddechowego i krwionośnego. W celu trzecim mieszczą się też przeprowadzone badania stężenia rtęci w pomieszczeniach zamkniętych z jednoczesnymi pomiarami stężeń na zewnątrz pomieszczeń. Cel ostatni, owe modele zależności stężeń rtęci od parametrów meteorologicznych i imisyjnych, został zrealizowany nie tyle w zadowalający, co w wyczerpujący i wzorowy sposób. Na specjalną uwagę zasługują wykresy Pareto oceny parametrów meteorologicznych i imisyjnych wchodzących w skład otrzymanych równań.

Co do drugiej części tezy Doktorantka wyjaśnia, co następuje. Jako recenzent nic tu nie mogę dodać ani ująć, cytuję w całości wniosek 11, który wszystko wyjaśnia:

[...]

11. *Niewątpliwie istnieją związki między elementami meteorologicznymi, danymi imisyjnymi i stężeniem wybranych form rtęci, na co wskazywały uzyskane wyniki analizy korelacji oraz modele GRM, jednak odzwierciedlają one jedynie czynniki lokalne, pewne ogólne trendy i zależności między parametrami meteorologicznymi i zanieczyszczeniami powietrza oraz aktualne zjawiska fizykochemiczne zachodzące w atmosferze w danym miejscu. Związek ten nie jest jednak na tyle ścisły, że będzie możliwe idealne wykorzystanie go w innych regionach nieobjętych monitoringiem. Uzyskane modele mogłyby być pomocne w szacunkowym określeniu poziomów zanieczyszczenia rtęcią, ale nie można tu mówić o dokładnym odzwierciedleniu stanu faktycznego w innych obszarach. Nie można zapominać, że oprócz czynników lokalnych, poziomu przekształcenia antropogenicznego obszaru, sposobu użytkowania i ukształtowania terenu, fizycznych właściwości gruntów czy aktualnych warunków meteorologicznych, w przypadku stężeń rtęci niezwykle ważne są także jej transgraniczny transport oraz reemisja. Zatem uzyskane modele są za mało dokładne, aby mogły służyć określeniu poziomów różnych form rtęci w innych obszarach, jednak stanowią doskonałą bazę wyjściową do rozszerzenia badań.*

Jeśli się przyjrzyć tym równaniom, które mają odzwierciedlać związek stężeń wybranych form rtęci z elementami meteorologicznymi, to przez porównanie parami elementów wchodzących w skład równań zarówno w okresie rocznym, jak i półroczu chłodnym i ciepłym, tylko stacja Puszcza Borecka odbiega od czterech pozostałych, być może jest to spowodowane faktem, że badania są tu prowadzone przez Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy a nie przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska jak cztery pozostałe. Generalnie Doktorantka stwierdza, że nie znamy jeszcze wszystkich faktów, które mogą wpływać na stężenie rtęci w powietrzu.

Jeśli porównać wykresy Pareto obrazujące wagi parametrów meteorologicznych i imisyjnych wchodzących w skład otrzymanych równań dla czterech stacji monitoringu, z wyjątkiem wspomnianej stacji Puszcza Borecka, zarówno dla sezonu zimowego, jak i letniego, okazuje się, że temperatura powietrza, a za nią wilgotność powietrza, są najważniejszymi czynnikami kształtującymi stężenie rtęci w obu sezonach na czterech stacjach. Na trzecim miejscu plasuje się na wszystkich stacjach NO₂ w okresie chłodnym i SO₂ na wszystkich stacjach w okresie letnim, na czwartym SO₂ na dwu stacjach w okresie chłodnym i O₃ na wszystkich stacjach w okresie letnim, na piątym miejscu prędkość wiatru na dwu stacjach w okresie chłodnym i NO₂ na trzech stacjach w okresie letnim. Jest pod tym względem bardzo dużo podobieństw między stacjami. Z dużą dozą prawdopodobieństwa można więc powiedzieć, że uzyskane modele będą pomocne w szacunkowym określeniu poziomów zanieczyszczenia rtęcią w innych obszarach, nieobjętych siecią monitoringu. Tę ostrożność i krytyczne spojrzenie Doktorantki na drugą część tezy pracy należy więc w sumie ocenić bardzo pozytywnie.

Warto spróbować podjąć się obliczania zależności pomiędzy stężeniami wybranych form rtęci w powietrzu atmosferycznym w zależności od elementów meteorologicznych i imisyjnych dla poszczególnych sytuacji synoptycznych publikowanych dla obszaru całej Polski na bieżąco w „Biuletynie Monitoringu Klimatu Polski”. Jeśli istnieją regionalne kalendarze sytuacji synoptycznych – wyniki będą jeszcze dokładniejsze. Można też przeprowadzić typologię trajektorii wstecznych i dla wybranych typów konstruować odpowiednie równania, może nie tylko tych wysokich, ale i niskich stężeń. I w tym wszystkim chyba najważniejszy jest ów proces dążenia do prawdy, a nie szybkie i efektowne jej osiągnięcie, jak w przysłowiowym przenośnym powiedzeniu o króliczku, że nie chodzi o to, żeby go złapać, ale go gonić...

Wniosek o wyróżnienie pracy

Podsumowując, to, co zostało przedstawione w pracy, jest w większości nowością – zarówno podjęcie się opracowania stężeń wybranych form rtęci w powietrzu atmosferycznym z pomiarów działających dopiero od 2010 r. pięciu polskich stacji monitoringu, jak również podjęcie się pierwszych badań nad stężeniem rtęci w powietrzu związanej z pyłem PM₁. Charakterystyka trajektorii wstecznych przy dużych stężeniach rtęci w powietrzu i badania stężenia wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń zamkniętych też nie są powszechne. Wzorowe opracowanie modeli zależności stężeń rtęci od parametrów meteorologicznych i imisyjnych, przedstawione w sposób profesjonalny, a jednocześnie przystępny i czytelny zasługuje też na najwyższe uznanie. Doktorantka owocnie współpracuje z Instytutem Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk w Zabrze i Akademią Morską w Gdyni. Porusza się biegle i skutecznie w niezbędnych gałęziach wiedzy, jak chemia i metody analiz chemicznych, ekologia, meteorologia, ze szczególnym uwzględnieniem dynamiki atmosfery, toksykologia, statystyka, prawo ochrony środowiska. Praca napisana jest fachowym, a jednocześnie poprawnym i komunikatywnym językiem polskim. Jeśli już jako recenzent muszę na końcu wykazać zauważone nieprawidłowości, to w porównaniu z innymi recenzowanymi przeze mnie pracami jest ich naprawdę niewiele. Są to tylko małe potknięcia natury redakcyjno-technicznej – propozycje, które podniosą estetyczną, a nie merytoryczną wartość pracy. Uwag korygujących merytoryczny aspekt pracy nie mam. Proszę zatem o wyróżnienie recenzowanej przeze mnie niniejszej pracy.

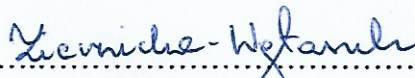
Post scriptum

Z obowiązku recenzenta wykazuję zauważone w pracy **nieprawidłowości**. Są to w większości uwagi nie merytoryczne, bo takich nie ma, a redakcyjno-techniczne, które nie wpływają na pozytywną ocenę pracy. I tak:

1. Może najpierw spis tabel, później rycin, jak jest powszechnie przyjęte.
2. Kilka przypadków spacji (przerw) bez odstępów po pierwszym wyrazie i z odstępem przed drugim wyrazem, np. str. 38 środek: urządzeń kontrolno- pomiarowych, str. 65 w. 1 insolacyjno- radiacyjnym, pozycja literatury 185 Szczepaniec- Cięciak E. (2000).
3. W cytowaniu literatury przy dwu autorach Doktorantka przyjęła wymieniać obu autorów po przecinku zamiast z łącznikiem „i” pomiędzy autorami, jak to jest powszechnie przyjęte, ale może nie jest to zasada obowiązująca.
4. Po kilku pozycjach literatury na zakończenie cytowania zbędny przecinek, jak w pozycji literatury 11, 124, przypisy pozycja 16.
5. Str. 36 w. 7 i 8 g. jest „Mniej znany, ale równie tragiczny w skutkach był przypadek zatrucia w Iraku na przełomie lat 1971 i 1972, związany z **przenawożeniem fungicydami**” – może lepiej będzie – „Mniej znany, ale równie tragiczny w skutkach był przypadek zatrucia w Iraku na przełomie lat 1971 i 1972, związany z brakiem odpowiednich środków ostrożności i spożyciem ziarna siewnego zaprawionego fungicydami”. Wtedy odpada sugerowany w pierwotnym tekście związek czy utożsamianie ochrony roślin i nawożenia czy przenawożenia.

Konkluzja

Stosownie do art. 14 ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jedn. Dz. U. 2017 poz. 1789) przedkładam Radzie Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie wniosek o dopuszczenie Doktorantki Pani mgr inż. Karoliny Kociszewskiej do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.



.....
dr hab. inż. Agnieszka Ziernicka-Wojtaszek, prof. URK

Kraków, 23 grudnia 2022 r.