prof. dr hab. Józef S. Pastuszka
Politechnika Śląska,
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Ochrony Powietrza,
Centrum Nowych Technologii,
ul. Konarskiego 22B, 44-100 Gliwice

Gliwice, 17 maja 2018 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Gayer pt.

„Ocena personalnego narażenia na zanieczyszczenia powietrza pyłem PM2.5 w środowisku miejskim, z uwzględnieniem dziennych aktywności mieszkańców"

PODSTAWA OPRACOWANIA

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, Pana prof. dr hab. inż. Krzysztofa Wojdygi, w oparciu o uchwałę nr 48/2017 Rady Wydziału (pismo WIBHiIŚ-42/2018 z dnia 23.04.2018 r).

CELOWOŚĆ PODJĘCIA TEMATU

Jak wiadomo, najlepszym parametrem oceny narażenia organizmu na działanie konkretnego zanieczyszczenia powietrza nie jest jego *stężenie* w środowisku, lecz *dawka*, czyli ilość lub masa zanieczyszczenia wchłonięta do organizmu. Ponieważ *dawkę* można obliczyć mnożąc *stężenie* zanieczyszczenia w powietrzu przez *czas narażenia* i *współczynnik wchłaniania*, dochodzimy do wniosku, że do prognozy skutków zdrowotnych ekspozycji na zanieczyszczenia powietrza potrzebne jest jednak zmierzenie *stężenia* zanieczyszczenia w powietrzu. Można by więc stwierdzić, że wróciliśmy do punktu wyjścia, ale dla specjalistów jest oczywiste, że tak nie jest. Po pierwsze, oprócz stężenia potrzebna jest informacja o czasie narażenia. Po drugie stężenie

powinno być zmierzone w warstwie powietrza bezpośrednio otaczającej konkretne, narażone osoby. Ten drugi postulat, jest jak dotąd spełniany jedynie w badaniach narażenia zawodowego, podczas których pracownicy noszą samplery osobiste. Dotyczy to w szczególności narażenia na pył, którego dyspersja w przestrzeni różni się znacznie od dyspersji zanieczyszczeń gazowych i powoduje znaczne zróżnicowanie pola stężeń. Z tego względu jest powszechnie akceptowane, że głowica aspiratora pyłu powinna być usytuowana w pobliżu głowy pracownika, ponieważ zainhalowana dawka pyłu silnie zależy od stężenia pyłu przy wlocie do układu oddechowego. Od prawie dwóch dekad pojawia się postulat, aby takie badania narażenia „osobistego", czy też „personalnego" przeprowadzać dla losowo wybranych osób określonych subpopulacji z tzw. populacji generalnej, a więc nie narażonej zawodowo. Postulat ten wynika z szeregu, nawet pobieżnych obserwacji, wskazujących, że także dla „zwykłych" mieszkańców miast stężenie wdychanego przez nich pyłu może nawet znacząco odbiegać od stężenia pyłu rejestrowanego na najbliższej stacji monitoringowej. W dzisiejszych czasach odzew na formułowane zapotrzebowania pojawia się dość szybko i nie należy się dziwić, że w ostatnich latach badania tej problematyki już zainicjowano w kilku ośrodkach naukowych na świecie. Jak należało się spodziewać, wykazano znaczące zróżnicowanie między stężeniami mierzonymi na stacjach monitoringowych a stężeniami „personalnymi". Fascynującym zadaniem pozostaje jednak opracowanie stosownego algorytmu, który pozwoliłby przeliczać stężenia rejestrowane w określonej stacji monitoringowej na wartości stężeń występujące w warstwie powietrza przylegającej do konkretnych osób. Jak rozumiem, jest to cel strategiczny badań podjętych przez Panią mgr inż. Annę Gayer pod kierunkiem Pana prof. Politechniki Warszawskiej dr hab. inż. Artura Badydy, oraz Pani dr inż. Magdaleny Reizer. Oczywiście pierwszym, ale jednocześnie najważniejszym, etapem do opracowania stosownego modelu byłaby ocena narażenia osobistego (personalnego) na pył w środowisku dużego miasta i porównanie tak otrzymanych wyników z poziomami stężeń rejestrowanymi w jednej, bądź dwóch najbliższych stacjach monitoringowych. Temu zadaniu poświęcona została recenzowana rozprawa doktorska, co należy spuentować stwierdzając, że podjęty temat jest bardzo aktualny i bardzo ważny, zarówno z naukowego, jak i z praktycznego punktu widzenia. Doktorantka skoncentrowała się na ocenie narażenia na pył respirabilny (PM2.5), co z wielu powodów jest bardzo trafnym wyborem, a ponadto badała aktywność dzienną narażonych osób, co jest niezwykle ważne przy dokładnym obliczaniu dawki dobowej.

Zatem, z perspektywy ochrony powietrza, oraz rozwoju nowoczesnych technik pomiarowych, zarówno motywy badawcze recenzowanej rozprawy doktorskiej, jak też jej tematyka i cel należy uznać za uzasadnione i właściwe.

Praca doktorska została zrealizowana w Warszawie (na Politechnice Warszawskiej), pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Artura Badydy, który pomimo młodego wieku jest już rozpoznawanym w skali światowej specjalistą w problematyce ochrony powietrza.

ZAWARTOŚĆ ROZPRAWY

Licząca 167 stron rozprawa została wydrukowana i posiada piękną szatę edytorską. Można w niej wyróżnić 7 rozdziałów (aczkolwiek formalny podział pracy jest nieco inny). Po streszczeniu i krótkim wprowadzeniu, Autorka przedstawiła tezy, cel i zakres pracy a następnie dokonała przeglądu istniejącego stanu wiedzy w zakresie pyłowych zanieczyszczeń powietrza. Zostały omówione zarówno źródła emisji pyłu, jak też jego skład i charakterystyka fizyko-chemiczna. W kolejnym rozdziale Doktorantka opisała metodologię badań epidemiologicznych służących ocenie wpływu zanieczyszczeń na zdrowie człowieka, a następnie syntetycznie przedstawiła aktualny stan wiedzy w zakresie wpływu zanieczyszczeń pyłowych na zdrowie ludzi. Następny rozdział zawiera opis najważniejszych metod pomiarowych stężeń pyłu, gdzie, moim zdaniem, na szczególną uwagę zasługuje zdefiniowanie i analiza współczynnika korekcyjnego dla pomiarów wykonywanych metodami niereferencyjnymi. O ile wiem, jest to *novum* w polskiej literaturze przedmiotu.

W kolejnym rozdziale Autorka dokonała przeglądu metod oceny narażenia na pyłowe zanieczyszczenia powietrza, w tym także z uwzględnieniem dziennych aktywności ludzi. Następny rozdział, zamykający część literaturową, którą to część Doktorantka nazywa niezbyt fortunnie „Częścią teoretyczną", zawiera zestawienie obowiązujących w Polsce uwarunkowań prawnych i ocena narażenia na pył PM2.5 w środowisku miejskim. O ile druga część tego rozdziału nie budzi moich wątpliwości, to podczas lektury pierwszej części miałem ambiwalentne odczucia. Z jednej strony zestawienie obowiązujących norm ma dla czytelnika duży walor praktyczny, ale z drugiej strony, rodzi się pytanie, czy właściwym miejscem na takie zestawienie jest rozprawa doktorska, która przecież z natury rzeczy nie powinna być poradnikiem inżyniera… Sądzę, że właściwsze byłoby zamieszczenie tych informacji w suplemencie.

Już od strony 62 pojawia się część badawcza, w której Autorka dość szczegółowo opisuje stosowane metodyki i urządzenia pomiarowe.

Opisane zostały zarówno pomiary zanieczyszczeń powietrza prowadzone przez WIOŚ, jak również poszczególne fazy badań prowadzonych przez Doktorantkę. Należy podkreślić, że Doktorantka przedstawiła nie tylko wyniki pomiarów, ale także analizy modelowe. Ostatnie rozdziały rozprawy to „Podsumowanie" i „Wnioski". Rozprawę zamyka przedstawienie kierunków rozwoju dalszych badań, oraz propozycje zastosowania wyników w praktyce.

Dobór cytowanej literatury (187 pozycji) pozwala sądzić, że w trakcie przygotowywania rozprawy Doktorantka znacząco poszerzyła zakres swojej wiedzy; nie tylko w obszarze objętym swoimi badaniami, ale również w szerszym wymiarze monitoringu zanieczyszczeń powietrza.

CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY I JEJ WARTOŚĆ NAUKOWA

Opisane w rozprawie doktorskiej badania to kombinacja badań przede wszystkim terenowych, ale także laboratoryjnych, oraz modelowania. Zakres wykonanej pracy budzi uznanie i zapewne był realizowany w ramach kilku projektów badawczych. Recenzowaną rozprawę oceniam jako bardzo wartościową w aspekcie celu i zakresu badań.

Doktorantce udało się nie tylko potwierdzić już znane i dobrze udokumentowane w literaturze ogólne zależności między stężeniami personalnymi pyłu PM2.5 a stężeniami tegoż pyłu rejestrowanymi na najbliższych stacjach monitoringowych, ale także wykazać konkretne korelacje i zależności wiążące zbiory danych monitoringowych ze zbiorami danych narażenia personalnego dla populacji generalnej Warszawy. W przyszłości umożliwi to stosowne przeliczanie stężeń środowiskowych pyłu PM2.5 na stężenia personalne tegoż pyłu w różnych dzielnicach Warszawy. Będzie także możliwe porównanie ekspozycji personalnych na pył w Warszawie z różnymi miastami na świecie, co z pewnością będzie jedną z lepszych miar kompleksowej jakości powietrza w metropoliach.

Należy podkreślić, że Doktorantka otrzymała kilka nowych, interesujących i wartościowych ustaleń. Przede wszystkim, charakteryzując przedmiotową rozprawę należy wskazać, że jest to pierwsza w Polsce analiza porównawcza stężeń pyłu PM2.5 w odniesieniu do poziomu stężeń PM2.5 rejestrowanych na stacjach monitoringowych.

Doktorantka przeprowadziła pierwsze w Polsce badania narażenia osobistego /personalnego na pył PM2.5 z wykorzystaniem aspiratorów personalnych, oraz z uwzględnieniem rozkładu czasu narażenia w różnych mikrośrodowiskach.

Wprawdzie w skali światowej w ostatnich kilkunastu latach opublikowano znaczną liczbę prac poświęconych narażeniu personalnemu na pył PM2.5, ale zwykle badano narażenie na pył jedynie przedstawicieli określonych subpopulacji: pracowników biurowych, studentów, dzieci, itp., bądź ograniczano się do badań narażenia personalnego na PM2.5 jedynie w wybranych mikrośrodowiskach, takich jak samochody, inne środki transportu, biura, bądź uczelnie. Wedle mojej wiedzy, opisane w opiniowanej rozprawie doktorskiej badania są pierwszymi, a przynajmniej jednymi z pierwszych badań przeprowadzonych tak kompleksowo. Dotyczą narażenia na PM2.5 populacji generalnej (mieszkańców Warszawy), a wyznaczony profil aktywności dziennej pozwala obliczyć dzienną dawkę zainhalowanego przez badane osoby pyłu PM2.5 w okresach pozagrzewczych.

Doktorantka uwzględniła różnice stężeń PM2.5 wynikające z różnicy w budowie i w zasadzie pomiaru stężeń otrzymywanych użytymi w badaniach miernikami personalnymi i urządzeniami pomiarowymi na stacjach monitoringowych. Otrzymane przez nią współczynniki korekcyjne pozwalają, zatem, wyznaczyć rzeczywiste różnice w poziomie stężeń w otoczeniu układu oddechowego poszczególnych osób a stężeniem mierzonym na najbliższych stacjach monitoringowych.

Generalnie, oceniam recenzowaną rozprawę jako ważną z punktu widzenia badań inżynierii środowiska.

UWAGI KRYTYCZNE

Praca jest bardzo dobrze napisana i starannie przygotowana pod względem edytorskim. Tym niemniej, lektura rozprawy nasuwa kilka krytycznych uwag i sugestii.

1. Poważnym mankamentem pracy, aczkolwiek niezawinionym przez Doktorantkę, jest ograniczenie kluczowych badań narażenia personalnego na pył PM2.5 jedynie do okresu pozagrzewczego. Było to związane z ograniczeniem urządzenia SidePak, które może pracować jedynie w dodatnich temperaturach powietrza. Jednakże jeśli uświadomimy sobie, że w gruncie rzeczy pomiary stężenia pyłu PM2.5 wykonuje się w celu oszacowania aktualnych i prognozowanych skutków zdrowotnych wynikających z narażenia na ten pył, to widzimy, że nie prowadząc pomiarów personalnych w sezonie grzewczym musimy wyznaczać dawkę pyłu wchłanianego w tym okresie nadal w oparciu o pomiary monitoringowe. Wiadomo, że w Polsce stężenia pyłu w okresie zimowym znacząco wzrastają, zatem skutki zdrowotne

narażenia na inhalację pyłu w okresie grzewczym są znacznie poważniejsze niż np. w okresie letnim. Zatem, z puntu widzenia oceny i prognozy skutków zdrowotnych narażenia na pył respirabilny, korekta stężenia pyłu wynikająca z pomiarów personalnych w lecie może być zupełnie nieistotna w skali całego roku i może nie mieć praktycznego wpływu na poprawę dokładności analiz zdrowotnych. Z tego względu, badania przeprowadzone w rozprawie doktorskiej Pani mgr inż. Anny Gayer powinny być kontynuowane i prowadzone koniecznie w sezonach grzewczych, oczywiście przy użyciu innych mierników personalnych. Niestety, takich zapowiedzi nie ma w ostatnim rozdziale rozprawy, w którym Doktorantka proponuje kierunki dalszych badań.

2. Moim zdaniem brakuje odpowiedniego podsumowania przeglądu literaturowego, ze wskazaniem istniejących luk w stanie wiedzy w zakresie objętym tematyką rozprawy doktorskiej.
3. Jestem przekonany, że krótka informacja o zastosowanych współczynnikach korekcyjnych powinna być zamieszczona w opisie tabel i rysunków prezentujących otrzymane wyniki, co znacznie ułatwiłoby ich analizę.
4. Sugeruję, aby w dalszych badaniach, opisanych w rozdziale 15, przy wyznaczaniu pochłoniętych dawek pyłu PM2.5, uwzględnić zmienność współczynnika inhalacji w trakcie spaceru, jazdy na rowerze, itd.
5. Problematyka wpływu zanieczyszczeń pyłowych powietrza na zdrowie jest w niniejszej rozprawie znacznie ważniejsza od metodyki badań epidemiologicznych, zatem rozdział 5.3 powinien być usytuowany przed rozdziałem 5.2.
6. Pod rysunkiem 10.6 powinna być informacja o rodzaju pyłomierza zainstalowanego na stacji monitoringowej na Ursynowie.
7. Uważam, że nazewnictwo poszczególnych frakcji pyłu stosowane przez Doktorantkę jest dość swobodne i nie zawsze poprawne. I tak, pył PM10 nazywany jest pyłem drobnym, a pył PM2.5 – pyłem bardzo drobnym. Stosując tę konwencję pył PM1 powinien się nazywać pyłem „bardzo bardzo drobnym", albo „najdrobniejszym". Natomiast pył gruby, to zdaniem Doktorantki pył o średnicy aerodynamicznej w zakresie od 2.5 do 10 mikrometrów. Cały ten bałagan nomenklaturowy, *notabene* występujący w literaturze dość często, wynika z pomieszania podziałów cząstek aerozolu wprowadzonych w mechanice aerozoli, oraz w toksykologii pyłów. Z punktu widzenia mechaniki aerozoli dzieli się pył na dwie podstawowe frakcje: na pył drobny, o średnicy aerodynamicznej do 2,5 mikrometra, oraz na pył gruby,

zawierający cząstki większe od 2,5 mikrometra. Podział ten jest uzasadniony innym pochodzeniem pyłu. Pył drobny powstaje w procesie nukleacji bezpośrednio z fazy gazowej, natomiast pył gruby powstaje w procesach mechanicznych. Ponadto cząstki pyłu drobnego rozpraszają światło słoneczne (gdyż ich wymiary są porównywalne z długością fali światła). Wyróżnia się ponadto podzbiór cząstek drobnych – cząstki mniejsze od 0,1 mikrometra, który nazywa się pyłem ultradrobnym. To wyróżnienie pyłu ultradrobnego uzasadnione jest faktem, że cząstki tej frakcji mają zaniedbywalnie małą masę (potocznie mówi się, że są to cząstki „bezmasowe") i zwykle jako stężenie tych pyłów wyznacza się stężenia ilościowe (nie masowe). Z kolei podział frakcji pyłu proponowany przez toksykologów opiera się na ustaleniach depozycji cząstek pyłu w układzie oddechowym. Z tego powodu definiuje się frakcję PM10, nazywaną też frakcją inhalabilną, ponieważ pyły grubsze nie są, w normalnych warunkach, w znaczącej ilości wchłaniane do układu oddechowego. Kolejną frakcję stanowią pyły respirabilne, a więc pyły osadzające się w dolnych partiach układu oddechowego. Aktualnie najczęściej definiuje się je jako cząstki o średnicach aerodynamicznych nie przekraczających 2,5 mikrometra, czyli tzw. pył PM2.5. W odniesieniu do tej frakcji zbiegają się definicje toksykologów i mechaników aerozoli, gdyż pył respirabilny PM2.5, to jest inaczej pył drobny. Dodatkowo wyróżnia się podzbiór cząstek respirabilnych, mniejszych od 1 mikrometra, tzw. pył PM1, który dociera do pęcherzyków płucnych. Ponieważ monitoring pyłu ostatecznie ma na celu ocenę skutków zdrowotnych, powinniśmy w tej problematyce stosować nazewnictwo toksykologiczne, dzieląc pył na pył całkowity (TSP) , pył inhalabilny (PM10), w Polsce nazywany także pyłem zawieszonym, pył respirabilny (PM2.5), który mamy także prawo nazywać pyłem drobnym, oraz pył submikronowy (PM1).

Powyższe uwagi w żaden sposób nie umniejszają wartości rozprawy, którą oceniam pod względem merytorycznym bardzo wysoko.

PODSUMOWANIE

Wybór tematu należy uznać za trafny zarówno pod względem poznawczym, jak i aplikacyjnym. Przyjęty program badań został zrealizowany.

Pomimo przedstawionych w niniejszej recenzji kilku krytycznych uwag, sugestii i wątpliwości, uważam, że Doktorantka wykonała znaczącą pracę badawczą. Umiejętnie przedyskutowała otrzymane wyniki. Wykazała się niezbędną wiedzą i zdolnością

samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych. W trakcie prowadzonych badań Doktorantka uzyskała kilka interesujących i ważnych rezultatów o charakterze naukowej nowości. Jestem przekonany, że recenzowana praca spełnia kryteria stawiane rozprawom doktorskim, i to w zakresie, który stwarza możliwość zgłoszenia pracy do wyróżnienia.

W podsumowaniu stwierdzam, że praca pt. „Ocena personalnego narażenia na zanieczyszczenia powietrza pyłem PM2.5 w środowisku miejskim, z uwzględnieniem dziennych aktywności mieszkańców" spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z art.13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowym i tytule naukowym, oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki – Dz.U. Nr 65, poz. 595, wraz z późniejszymi zmianami. Zatem, wnoszę o dopuszczenie Pani mgr inż. Anny Gayer do jej publicznej obrony przed Radą Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Jednocześnie zgłaszam propozycję wyróżnienia przedmiotowej rozprawy.

J. Pastuszka