Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Ochrony Powietrza

Dr hab. inż.
Barbara Kozielska, prof. PŚ

Gliwice, 5.02.2026 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Karoliny Kais

pt.: „USŁUGI EKOSYSTEMOWE ALEI WARSZAWY”

wykonanej pod kierunkiem
dr hab. inż. arch. kraj. Marzeny Suchockiej, prof. SGGW

Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Karoliny Kais zatytułowana *„Usługi ekosystemowe alei Warszawy”* przygotowana pod opieką promotora dr hab. inż. arch. kraj. Marzeny Suchockiej, prof. SGGW, a realizowana w Katedrze Architektury Krajobrazu, Instytutu Inżynierii Środowiska, SGGW w Warszawie.

Podstawa wykonania recenzji

Niniejsza recenzja została sporządzona na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, reprezentowanej przez Przewodniczącą, Panią dr hab. inż. Agnieszkę Karczmarczyk, prof. SGGW, na podstawie umowy o dzieło nr LUP/2025/00531 z dnia 19 grudnia 2025 roku.

Recenzję opracowano w oparciu o dostarczony egzemplarz pracy doktorskiej.

Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Ochrony Powietrza
ul. Konarskiego 22 B, pok. 229 f, 44-100 Gliwice
+48 32 237 15 30
Barbara.Kozielska@polsl.pl

Zasadność i znaczenie podjętego tematu badawczego

Problematyka usług ekosystemowych świadczonych przez drzewa przyuliczne, podjęta w rozprawie doktorskiej, ze szczególnym uwzględnieniem ich znaczenia w ograniczaniu zanieczyszczenia powietrza w środowisku miejskim, znajduje pełne uzasadnienie zarówno w kontekście współczesnych wyzwań środowiskowych, jak i potrzeb planowania oraz zarządzania przestrzenią miejską. Postępująca urbanizacja, wzrost natężenia ruchu drogowego oraz systematyczne zmniejszanie powierzchni biologicznie czynnej, w szczególności terenów zielonych, przyczyniają się do pogarszania jakości powietrza w miastach, co stanowi jedno z istotnych zagrożeń dla zdrowia publicznego. Wśród zanieczyszczeń atmosferycznych szczególne zagrożenie stanowi pył zawieszony, zwłaszcza jego drobna frakcja $PM_{2,5}$, której negatywny wpływ na układ oddechowy oraz sercowo-naczyniowy został jednoznacznie potwierdzony w licznych badaniach naukowych. Należy jednak podkreślić, że skutki zdrowotne epizodów podwyższonego stężenia $PM_{2,5}$, związane z krótkotrwałą ekspozycją, są słabiej udokumentowane niż konsekwencje oddziaływania długookresowego.

W tym kontekście drzewa miejskie, stanowiące największy i najbardziej rozpowszechniony element zielonej infrastruktury, postrzegane są coraz częściej jako istotny komponent strategii mitygacji zanieczyszczeń powietrza oraz adaptacji miast do zmian klimatu. Pomimo rosnącej liczby badań potwierdzających zdolność roślin do wychwytywania i akumulacji zanieczyszczeń atmosferycznych (wychwytują pył zawieszony (PM) na powierzchni liści, igieł i kory, adsorbują lub absorbują gazy zanieczyszczające (np. NO_2, SO_2, O_3) i częściowo akumulują zanieczyszczenia w tkankach), wiedza na temat rzeczywistej skali i efektywności tych procesów w warunkach lokalnych pozostaje fragmentaryczna. Szczególnie widoczny jest deficyt badań odnoszących się do drzew przyulicznych, funkcjonujących w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł emisji liniowej, a jednocześnie narażonych na silną presję siedliskową.

Istotnym argumentem przemawiającym za zasadnością podjętego tematu jest również zidentyfikowana w rozprawie luka badawcza dotycząca porównywalności i wiarygodności stosowanych metod oceny usług regulacyjnych drzew. Modele narzędziowe, takie jak i-Tree Eco, są coraz powszechniej wykorzystywane w praktyce zarządczej, jednak ich wyniki rzadko podlegają weryfikacji empirycznej z użyciem metod laboratoryjnych. Brak takiego porównania ogranicza możliwość krytycznej oceny uzyskiwanych rezultatów oraz ich wykorzystania w procesie podejmowania decyzji planistycznych i politycznych. Uwzględnienie w rozprawie zarówno podejścia modelowego, jak i bezpośrednich pomiarów fitofiltracji cząstek stałych, stanowiłoby istotny wkład metodologiczny w rozwój badań nad usługami ekosystemowymi w środowisku miejskim.

Przedstawiony do recenzji materiał rozprawy doktorskiej mgr inż. Karoliny Kais zawiera niestety liczne uchybienia o charakterze merytorycznym (zarówno w warstwie teoretycznej, jak i metodycznej), a także edycyjnym i stylistycznym. Należy jednak podkreślić, że temat pracy jest interesujący i posiada potencjał do stworzenia wartościowego dzieła o charakterze interdyscyplinarnym. Poniżej przedstawię szczegółowe uwagi, mając nadzieję, że okażą się one pomocne i zostaną wykorzystane przez Doktorantkę w dalszym doskonaleniu warsztatu badawczego oraz przyszłej działalności naukowej.

Ogólna charakterystyka rozprawy i jej merytoryczna ocena

Rozprawa doktorska została napisana w oparciu o cykl trzech wieloautorskich powiązanych tematycznie publikacji, przy czym Doktorantka jest w nich pierwszym Autorem:

1. Kais, K., Gołaś, M., Suchocka, M. *Awareness of Air Pollution and Ecosystem Services Provided by Trees: The Case Study of Warsaw City*. Sustainability, 2021, 13(19), 10611. https://doi.org/10.3390/su131910611.
2. Kais, K., Gołaś, M., Suchocka, M., Ziemiański, M., Kalaji, H.M. *The Role of Urban Trees in PM2.5 Mitigation: Air Quality Assessment and Absorption Capacity Comparison in Warsaw Alleys*. Journal of Soil, Plant and Environment, 2025, *4*(2), 75–94. https://doi.org/10.56946/jspae.v4i2.730.
3. Kais, K., Suchocka, M., Balcerzak, O., Przybysz, A. *Street Trees as Sustainable Urban Air Purifiers: A Methodological Approach to Assessing Particulate Matter Phytofiltration*. Sustainability, 2025, *17*(16), 7451. https://doi.org/10.3390/su17167451.

Dwa manuskrypty opublikowano w wydawnictwie *MPDI*, a jeden w pakistańskim wydawnictwie *Science Research Publishers*. Sumaryczny współczynnik wpływu *Impact Factor (IF*) wg bazy *Journal Citation Reports (JCR)* zgodny z rokiem wydania, dla cyklu publikacji będących podstawą do ubiegania się o stopień doktora wynosi 7,189, a liczba punktów zgodna z listą MEiN 205 punktów. Doktorantka jest samodzielną Autorką korespondencyjną jedynie w jednej z publikacji, natomiast w drugiej pełni rolę Współautorki korespondencyjnej. Pozostaje to w sprzeczności z deklaracją zawartą na stronie 20 rozprawy, gdzie wskazano, iż w każdym artykule pełniła ona funkcję Autorki korespondencyjnej.

Zgodnie z zamieszczonymi w pracy oświadczeniami udział Doktorantki w przygotowaniu publikacji obejmował opracowanie koncepcji artykułów i metodyki, analizę oraz wizualizację danych, a także przygotowanie i redakcję treści artykułów. Analiza oświadczeń Współautorów ujawnia jednak istotne niespójności, które rodzą uzasadnione wątpliwości co do rzeczywistego zakresu wkładu Doktorantki w przygotowanie manuskryptów. W jednym z artykułów[1] Pan Arkadiusz Przybysz zadeklarował opracowanie metodyki oraz oryginalnej wersji pracy, jak również przeprowadzenie walidacji danych, natomiast Pani Olga Balcerzak wskazała na swoje autorstwo wizualizacji danych. Z kolei w manuskrypcie[2] Pan Hazem M. Kalaji oświadczył, że był Autorem oryginalnej wersji pracy, analogicznie jak Doktorantka.

Ponadto z oświadczeń Autorki i pozostałych Współautorów, z wyjątkiem Pani Promotor, wynika, że wszyscy deklarują udział w „*edycji publikacji i ich recenzji*". Sformułowanie to jest nieprecyzyjne i wymaga jednoznacznego doprecyzowania, gdyż autorzy publikacji nie pełnili funkcji recenzentów zewnętrznych. W obecnym brzmieniu oświadczenia te nie umożliwiają jednoznacznego określenia indywidualnego wkładu poszczególnych Autorów, w tym Kandydatki ubiegającej się o stopień naukowy doktora.

Zbiór publikacji został poprzedzony 48-stronicowym przewodnikiem, który zawiera oświadczenia promotora oraz autorki rozprawy doktorskiej, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis literatury obejmujący 10 stron, a także wykaz innych osiągnięć Doktorantki. Na stronach 49–116 zamieszczono pełne teksty publikacji, natomiast w dalszej części pracy przedstawiono oświadczenia współautorów.

[1] Kais, K., Suchocka, M., Balcerzak, O., Przybysz, A. *Street Trees as Sustainable Urban Air Purifiers: A Methodological Approach to Assessing Particulate Matter Phytofiltration*. Sustainability, 2025, 17(16), 7451

[2] Kais, K., Gołaś, M., Suchocka, M., Ziemiański, M., Kalaji, H.M. *The Role of Urban Trees in PM2.5 Mitigation: Air Quality Assessment and Absorption Capacity Comparison in Warsaw Alleys*. Journal of Soil, Plant and Environment, 2025, *4*(2), 75–94

Spis literatury dołączony do omówienia obejmuje 122 pozycje z lat 1988–2022, przy czym 35 z nich stanowią prace opublikowane w ciągu ostatnich dziesięciu lat, w tym tylko jedna z 2022 roku. Biorąc pod uwagę, że praca doktorska została wydana w 2025 roku, nasuwa się pytanie, dlaczego Doktorantka nie uwzględniła doniesień literaturowych z ostatnich trzech lat? Co prawda w dwóch manuskryptach wchodzących w tzw. cykl publikacji, wydanych w 2025 roku, cytowane są nowsze prace, jednak pozostaje niejasne, dlaczego nie zostały one ujęte w przewodniku stanowiącym podstawę oceny.

Część literaturowa

W części teoretycznej Doktorantka zajęła się przeglądem zagadnień związanych z usługami ekosystemowymi świadczonymi przez drzewa miejskie, koncentrując się przede wszystkim na ich potencjale w ograniczaniu zanieczyszczenia powietrza. Rozważania osadzone zostały w kontekście urbanizacji oraz narastających problemów środowiskowych miast, co jest uzasadnione z punktu widzenia inżynierii środowiska. Jednocześnie zakres tematyczny tej części jest bardzo rozległy, co prowadzi do znacznego zróżnicowania poziomu szczegółowości omawianych zagadnień.

Autorka przedstawia definicje i klasyfikacje usług ekosystemowych oraz rolę zielonej infrastruktury w miastach. Drzewa zaprezentowano jako kluczowy element systemów miejskich, generujący liczne korzyści środowiskowe, zdrowotne i społeczne. Przegląd ten ma charakter syntetyczny, miejscami przyjmuje formę opisową, z ograniczonym odniesieniem do aspektów ilościowych i inżynierskich, istotnych z punktu widzenia oceny skuteczności tych usług.

Kolejny rozdział stanowią rozważania dotyczące świadomości społecznej i postaw mieszkańców wobec zieleni miejskiej. Autorka odwołuje się do teorii psychologii środowiskowej oraz prezentuje wyniki badań ankietowych prowadzonych w różnych miastach świata. Choć zagadnienie to ma znaczenie dla planowania i zarządzania środowiskiem miejskim, jego rozbudowanie w części teoretycznej pracy o profilu inżynierskim może być postrzegane jako słabiej powiązane z zasadniczym problemem badawczym, jakim jest ocena wpływu drzew na jakość powietrza.

Następny fragment (rozdział „*Problem zanieczyszczenia powietrza*”) poświęcono zagadnieniu zanieczyszczenia powietrza w miastach, ze szczególnym uwzględnieniem pyłu zawieszonego i jego oddziaływania na zdrowie ludzi. Przedstawiony przegląd ma jednak w dużej mierze charakter odtwórczy i ogranicza się do powielania ogólnych, powszechnie znanych informacji zaczerpniętych z literatury. Co istotne, część zawartych w tym rozdziale stwierdzeń jest nieprecyzyjna lub niezgodna z aktualnym stanem wiedzy, co zostanie szczegółowo wskazane w dalszej części recenzji. Zasadniczym mankamentem rozdziału jest brak pogłębionej analizy procesów emisyjnych i dyspersyjnych, w szczególności w odniesieniu do źródeł komunikacyjnych, które stanowią kluczowy czynnik kształtujący jakość powietrza w środowisku miejskim, a jednocześnie są istotnym elementem badań prowadzonych w ramach niniejszej rozprawy. Pominięcie tych zagadnień świadczy o niewystarczającym przygotowaniu teoretycznym Autorki w dziedzinie ochrony powietrza i znacząco obniża wartość merytoryczną tej części pracy.

Dalej Autorka analizuje rolę roślin, a w szczególności drzew, w ograniczaniu zanieczyszczenia powietrza. Omówiono pobieżnie mechanizmy usuwania zanieczyszczeń, takie jak adsorpcja cząstek stałych na powierzchni liści i kory oraz absorpcja gazów zanieczyszczających powietrze przez aparaty szparkowe. Przedstawiono czynniki warunkujące skuteczność tego procesu, w tym cechy morfologiczne

liści, strukturę koron, gatunek drzew oraz uwarunkowania meteorologiczne. Zaprezentowano również wyniki badań porównawczych dotyczących efektywności różnych grup gatunkowych. Do tego fragmentu mam wiele zastrzeżeń, które omówię w *„Uwagach krytycznych i dyskusyjnych”*.

W dalszej części pracy scharakteryzowano narzędzia i metody wykorzystywane do oceny zdolności drzew miejskich do świadczenia usług ekosystemowych, ze szczególnym uwzględnieniem modeli Urban Forest Effects (UFORE) oraz i-Tree Eco. Model UFORE, który nie był stosowany w badaniach własnych, omówiono pod kątem zakresu danych wejściowych, obliczanych parametrów oraz potencjalnych możliwości jego zastosowania w analizie usuwania zanieczyszczeń powietrza i innych korzyści środowiskowych. Z kolei model i-Tree Eco, stanowiący główne narzędzie badawcze wykorzystane w pracy, został przedstawiony w sposób stosunkowo skrótowy. Uzupełnieniem tej części jest przegląd laboratoryjnych metod oceny zanieczyszczeń zatrzymywanych na powierzchni liści.

Część teoretyczną zamyka rozdział zatytułowany „*Działania polityczne mające na celu poprawę jakości powietrza*”, który obejmuje przegląd wybranych inicjatyw miejskich ukierunkowanych na poprawę jakości powietrza poprzez zwiększanie zadrzewienia. Przegląd ten ma jednak charakter przykładowy i nie zawsze jest bezpośrednio powiązany z oceną efektywności środowiskowej omawianych rozwiązań. Warto przy tym zauważyć, że działania polityczne na rzecz poprawy jakości powietrza obejmują wyższy szczebel zarządzania, w tym regulacje prawne (np. dyrektywy Unii Europejskiej, krajowe programy ochrony powietrza), mechanizmy wsparcia finansowego (m.in. programy wymiany źródeł ciepła), a także inicjatywy ukierunkowane na podnoszenie świadomości społecznej, takie jak edukacja czy systemy monitorowania jakości powietrza. Polityka środowiskowa koncentruje się w szczególności na ograniczaniu emisji, przechodzeniu na czystsze źródła energii oraz działaniach termomodernizacyjnych.

Autorka trafnie identyfikuje lukę badawczą w zakresie niedoboru danych empirycznych wspierających skuteczne zarządzanie zielenią miejską, jednak jej pełniejsze osadzenie w kontekście metod i narzędzi inżynierskich mogłoby dodatkowo wzmocnić spójność tej części pracy.

Cel badań i hipotezy badawcze

Sformułowany cel rozprawy oraz przedstawione hipotezy badawcze budzą poważne zastrzeżenia metodologiczne i koncepcyjne. Autorka posługuje się pojęciem „założeń badawczych”, które w istocie pełnią funkcję hipotez, jednak nie zostały one sformułowane w sposób jednoznaczny. Część z nich ma charakter ogólnikowy lub deklaratywny, co utrudnia ich rzetelną ocenę.

Istotną niespójność stanowi nieprecyzyjne operowanie pojęciem „zanieczyszczeń powietrza” przy jednoczesnym stosowaniu progu 15 µg/m³, który odnosi się wyłącznie do stężeń pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$. Autorka nie wskazuje jednoznacznie, że analizowanym wskaźnikiem jest ta konkretna frakcja pyłu, co prowadzi do błędnej konstrukcji hipotez oraz uniemożliwia ich poprawną weryfikację. Błąd ten ma charakter fundamentalny, gdyż podważa logikę całego procesu badawczego – od sformułowania celu, przez dobór metod, po interpretację wyników.

Dodatkowo hipoteza dotycząca „niskiej świadomości społecznej” nie została zdefiniowana ani metodologicznie powiązana z pozostałymi, inżynierskimi elementami pracy, co wprowadza niespójność tematyczną. Również hipotezy odnoszące się do wpływu pokrycia koronami drzew (TCC) na usuwanie

zanieczyszczeń oraz do różnic w stężeniach zanieczyszczeń między lokalizacjami zostały sformułowane w sposób nieprecyzyjny, m.in. poprzez brak określenia czasu uśredniania stężeń.

Hipotezy dotyczące modelu i-Tree Eco w istocie opisują jego potencjalne ograniczenia, a nie testowane zależności badawcze, co osłabia spójność metodologiczną pracy. Przedstawione zadania badawcze nie zostały jednoznacznie powiązane z poszczególnymi hipotezami, przez co struktura celu badań, hipotez i zadań badawczych pozostaje niespójna i nieczytelna.

W obecnym kształcie cel badań oraz hipotezy nie spełniają podstawowych standardów metodologicznych rozprawy doktorskiej i wymagają zasadniczego przeformułowania.

Przedstawiony zarys koncepcji rozprawy sprawia wrażenie kompilacji kilku odrębnych wątków badawczych, połączonych deklaratywnie, lecz niewystarczająco spójnie pod względem logicznym i metodologicznym. Zastosowane „skonsolidowane podejście" nie zostało jasno uzasadnione ani osadzone w jednej, konsekwentnej ramie badawczej, a poszczególne etapy badań różnią się charakterem (społecznym, środowiskowym i modelowym) bez wykazania ich wzajemnej zależności.

Analiza świadomości społecznej została potraktowana jako punkt wyjścia do dalszych badań, jednak brak jest przekonującego uzasadnienia, czy i w jaki sposób wyniki ankiety determinują wybór metod empirycznych i modelowych w kolejnych etapach pracy.

Niespójność koncepcyjna widoczna jest również w przejściu od ogólnej kategorii „zanieczyszczeń powietrza" do badań skoncentrowanych faktycznie na pyle zawieszonym, bez jednoznacznego doprecyzowania tego zakresu. Powtarza się tym samym wcześniej wskazywany problem nieprecyzyjnego operowania kluczowymi pojęciami, co rzutuje na interpretację wyników na każdym etapie pracy.

Ostatni etap, polegający na porównaniu wyników badań laboratoryjnych z rezultatami modelu i-Tree Eco, ma charakter opisowy i nie został jednoznacznie osadzony w logice weryfikacji hipotez. Brakuje jasnego określenia czy porównanie to służy walidacji modelu, ocenie jego ograniczeń, czy jedynie zestawieniu dwóch nieporównywalnych metod badawczych.

W efekcie zarys rozprawy nie tworzy jasnej i uporządkowanej struktury badań, a zaproponowana kolejność działań sprawia wrażenie dopasowanej do wcześniej wybranych metod, zamiast wynikać wprost z jasno określonego celu pracy i sformułowanych hipotez badawczych.

Metodyka

Opis obszarów badawczych ma charakter deklaratywny i nie zapewnia wystarczającej precyzji metodologicznej. Autorka wskazuje, że lokalizacje spełniały „założenia badań w różnych skalach czasowych", jednak nie precyzuje, na czym owe skale polegały ani w jaki sposób zostały uwzględnione w projekcie badawczym. Wybór ulic Marszałkowskiej, Żwirki i Wigury oraz Puławskiej uzasadniono ogólnymi kryteriami (TCC, geometria ulicy, natężenie ruchu), lecz brak jest jednoznacznych, ilościowych parametrów tych kryteriów, co uniemożliwia ocenę porównywalności badanych odcinków.

Szczególnie problematyczne jest operowanie pojęciem pokrycia koronami drzew w kategoriach „niskie, średnie i optymalne" bez podania progów liczbowych ani metody ich wyznaczenia. W konsekwencji klasyfikacja ta ma charakter arbitralny i nie spełnia standardów badań ilościowych. Równie niejednoznaczne jest kryterium natężenia ruchu ulicznego, które nie zostało poparte danymi pomiarowymi ani wskazaniem źródeł.

Dodatkowe wątpliwości budzi niespójność definicyjna dotycząca pojęcia „alei". Autorka odwołuje się do definicji słownikowej, zamiast do precyzyjnych definicji stosowanych w literaturze urbanistycznej lub środowiskowej, a jednocześnie kwalifikuje ulice Puławską i Marszałkowską jako aleje mimo częściowego braku drzewostanu. Podważa to spójność kryteriów doboru obszarów badawczych i rodzi pytanie, czy badane lokalizacje rzeczywiście odpowiadają założeniom pracy. W efekcie opis obszarów badawczych nie daje solidnych podstaw do dalszych analiz porównawczych, a niedookreślenie kluczowych kryteriów wyboru lokalizacji osłabia wiarygodność całej metodyki badań.

W części poświęconej ocenie świadomości społecznej Autorka deklaruje zastosowanie metody ankietowej jako podstawowego narzędzia badawczego, jednak opis metodyki jest niepełny i nie spełnia podstawowych standardów badań społecznych. Kluczowym brakiem jest niezamieszczenie treści pytań ankietowych ani w tekście rozprawy, ani w artykule[3], ani w formie załącznika. Uniemożliwia to ocenę poprawności konstrukcji narzędzia badawczego, zakresu poruszanych zagadnień, jednoznaczności pytań oraz potencjalnego wpływu ich sformułowania na uzyskiwane odpowiedzi.

W badaniach ankietowych sposób zadawania pytań, ich kolejność, skala odpowiedzi oraz stopień sugestywności mają bezpośredni wpływ na wyniki. Brak dostępu do kwestionariusza uniemożliwia zatem weryfikację, czy deklarowana „niska" lub „wysoka" świadomość respondentów wynika rzeczywiście z ich wiedzy, czy jest artefaktem przyjętej konstrukcji ankiety. W konsekwencji uzyskane wyniki nie są w pełni weryfikowalne ani powtarzalne, co znacząco obniża ich wartość metodologiczną.

Dodatkowo Autorka zestawia subiektywne opinie respondentów z „obiektywną oceną potencjalnej zdolności drzew do pochłaniania zanieczyszczeń", jednak nie wykazuje w sposób metodycznie uzasadniony, w jaki sposób oba typy danych zostały ze sobą powiązane. Brakuje informacji o zastosowanych metodach analizy statystycznej, testach istotności oraz kryteriach porównawczych, co sugeruje raczej opisowe niż analityczne podejście do integracji danych społecznych i środowiskowych.

W efekcie część dotycząca świadomości społecznej, mimo deklarowanego znaczenia dla dalszej koncepcji badań, nie posiada wystarczająco solidnych podstaw metodologicznych, aby mogła stanowić wiarygodny punkt wyjścia do kolejnych etapów analiz. Braki te mają charakter systemowy i podważają rzetelność wniosków wyprowadzanych z tego etapu badań.

Opis metodyki pomiaru stężeń $PM_{2,5}$ budzi istotne zastrzeżenia natury metodycznej, zarówno w zakresie doboru aparatury, jak i organizacji oraz interpretacji kampanii pomiarowej. Autorka określa przeprowadzone badania jako „terenową walidację poziomów narażenia", jednak zastosowane urządzenie – przenośny miernik laserowy Temtop M2000 – nie stanowi metody referencyjnej ani równoważnej w rozumieniu obowiązujących standardów oceny jakości powietrza. Brakuje procedury porównawczej z metodą referencyjną (metoda grawimetryczna) lub danymi z certyfikowanych stacji monitoringu, co uniemożliwia ocenę wiarygodności i dokładności uzyskanych wyników. W tym kontekście użycie terminu „walidacja" należy uznać za nieuprawnione.

Szczególnie niejasna pozostaje kwestia kalibracji czujnika. Autorka wskazuje na wykorzystanie „pyłu drogowego z Arizony" jako materiału odniesienia, nie precyzując, czy była to kalibracja fabryczna, laboratoryjna czy wykonana samodzielnie na potrzeby badań. Nie podano również informacji

[3] Kais, K., Gołaś, M., Suchocka, M. *Awareness of Air Pollution and Ecosystem Services Provided by Trees: The Case Study of Warsaw City*. Sustainability, 2021, 13(19), 10611. https://doi.org/10.3390/su131910611

o częstotliwości weryfikacji kalibracji w trakcie kampanii pomiarowej ani o sposobie uwzględnienia wpływu wilgotności i temperatury na wskazania czujnika optycznego. Brak tych informacji uniemożliwia ocenę jakości danych pomiarowych.

Zastrzeżenia budzi także przyjęta wysokość pomiaru równa 1 m nad poziomem gruntu, określona przez Autorkę jako „*przybliżona strefa oddychania*". Jest to założenie niezgodne z powszechnie przyjętą praktyką, zgodnie z którą strefę oddychania dorosłych lokalizuje się na wysokości ok. 1,5–1,7 m. Pomiary na wysokości 1 m mogą odzwierciedlać raczej warunki przygruntowe lub ekspozycję dzieci, charakteryzujące się odmienną dynamiką dyspersji pyłu i nadreprezentacją stężeń pyłów pochodzących z unosu wtórnego, co dodatkowo utrudnia interpretację wyników w kontekście narażenia populacyjnego.

Istotne wątpliwości budzi również organizacja kampanii pomiarowej w czasie. Monitoring prowadzono przez okres około dwóch tygodni roboczych, z pominięciem dni weekendowych, bez jakiegokolwiek uzasadnienia metodycznego takiego wyboru. Tymczasem dni wolne od pracy charakteryzują się odmienną strukturą emisji, zwłaszcza w zakresie ruchu komunikacyjnego, co oznacza, że uzyskane dane nie obejmują pełnego spektrum warunków typowych dla środowiska miejskiego. Deklaracja, że przyjęty harmonogram „uwzględnia warunki najbardziej istotne dla użytkowników", ma charakter arbitralny i nie została poparta analizą porównawczą ani odniesieniem do literatury.

Nieuzasadnione jest również przypisywanie tak krótkiej kampanii pomiarowej zdolności do oceny *„wpływu ekologicznego i zdrowotnego*" zieleni miejskiej. Minutowe odczyty realizowane w krótkich przedziałach czasowych, ograniczone do maksymalnie dwóch godzin w danej lokalizacji, nie mogą być traktowane jako reprezentatywne dla standardowych wskaźników jakości powietrza ani jako podstawa do wnioskowania o oddziaływaniach zdrowotnych, które wymagają analiz długoterminowych.

Szczególnie krytycznie należy ocenić interpretacje odnoszące się do kondycji fizjologicznej drzew. Autorka sugeruje, że pomiary przeprowadzone we wrześniu i październiku umożliwiły wykrycie różnic w *„żywotności"* drzew oraz objawów stresu w strefach o niskim pokryciu koronami. Wnioskowanie takie nie znajduje żadnego uzasadnienia w zastosowanej metodyce. W tak krótkim przedziale czasowym, bez bezpośrednich pomiarów parametrów fizjologicznych (np. przewodnictwa szparkowego, fotosyntezy, potencjału wodnego liści), nie jest możliwa rzetelna ocena stanu fizjologicznego drzew ani jego wpływu na skuteczność usuwania pyłu zawieszonego. Przypisywanie obserwowanych różnic „*wczesnym objawom stresu*" ma charakter spekulatywny i wykracza poza zakres zgromadzonych danych empirycznych.

W konsekwencji przedstawiona metodyka nie zapewnia ani wiarygodnej oceny poziomów stężeń $PM_{2,5}$, ani rzetelnej analizy narażenia mieszkańców, ani podstaw do formułowania wniosków dotyczących fizjologicznej reakcji drzew. Zastosowanie niereferencyjnego czujnika bez procedury walidacyjnej, nieprecyzyjnie opisanej kalibracji, niestandardowej wysokości pomiaru, krótkiego i selektywnego okresu monitoringu oraz daleko idących nadinterpretacji znacząco obniża wartość naukową i aplikacyjną uzyskanych wyników.

Opis inwentaryzacji dendrologicznej pozostaje niepełny z punktu widzenia wymogów metodycznych i transparentności obliczeń. Autorka wymienia zakres wykonanych pomiarów dendrometrycznych oraz użyty sprzęt (przymiar liniowy, dalmierz laserowy Bosch GLM120), jednak nigdzie nie podaje dokładności ani niepewności pomiarowej poszczególnych parametrów (średnicy pnia, wysokości drzewa, szerokości korony). Brak tej informacji uniemożliwia ocenę jakości danych wejściowych, tym bardziej że parametry te

mają bezpośredni wpływ na wyniki generowane przez model i-Tree Eco (m.in. estymację powierzchni liści, biomasy i tempa usuwania zanieczyszczeń).

W rozprawie, zarówno w części teoretycznej, jak i w metodyce oraz w artykułach wchodzących w jej skład, brak jest rzetelnego opisu modelu i-Tree Eco, jego założeń, ograniczeń oraz struktury danych wejściowych. Autorka ogranicza się do odwołania do instrukcji użytkownika, nie przedstawiając czytelnikowi, czym w istocie jest i-Tree Eco, jakie procesy modeluje oraz od jakich zmiennych zależą generowane wyniki.

Tymczasem i-Tree Eco jest złożonym, opartym na modelowaniu empiryczno-statystycznym narzędziem, które integruje dane terenowe (inwentaryzacja drzew, parametry dendrometryczne, stan zdrowotny), dane środowiskowe (meteorologia, stężenia zanieczyszczeń) oraz zestaw współczynników domyślnych, opracowanych głównie na podstawie warunków północnoamerykańskich. Wyniki modelu – w tym szacunki usuwania $PM_{2,5}$ – są silnie zależne od jakości i kompletności danych wejściowych, przyjętego schematu inwentaryzacji, a także od źródła i rozdzielczości danych o jakości powietrza.

W analizowanym przypadku Autorka deklaruje wykorzystanie danych o stężeniach $PM_{2,5}$ pochodzących z bazy i-Tree, bez krytycznej refleksji nad ich reprezentatywnością przestrzenną i czasową względem badanych odcinków ulic. Nie wyjaśniono, z jakich konkretnie stacji pochodziły te dane (czy stacja miała charakter komunikacyjny, tła miejskiego itp.), jaka była ich rozdzielczość czasowa ani w jaki sposób zostały przypisane do analizowanych lokalizacji. W kontekście wcześniejszych pomiarów terenowych wykonywanych niereferencyjnym czujnikiem laserowym brak jest również jednoznacznego wyjaśnienia, jak oba źródła danych zostały ze sobą powiązane lub porównane.

Dodatkowo Autorka nie omawia kluczowych założeń modelu dotyczących sposobu estymacji usuwania zanieczyszczeń (np. roli powierzchni liści, współczynników depozycji, wpływu warunków meteorologicznych), ani nie odnosi się do znanych w literaturze ograniczeń i-Tree Eco, w tym do jego wrażliwości na dane wejściowe i uproszczonego traktowania lokalnych warunków siedliskowych. Brak odniesienia do założeń i ograniczeń zastosowanej metodyki sprawia, że uzyskane wyniki mają charakter „czarnej skrzynki", co uniemożliwia ocenę ich wiarygodności, powtarzalności oraz poprawności interpretacyjnej.

Przedstawione w rozprawie i publikacji[1] metodologiczne podejście do oceny fitofiltracji cząstek stałych ujawnia poważne braki warsztatowe i koncepcyjne, które podważają wiarygodność uzyskanych wyników. Już na etapie doboru materiału badawczego pojawiają się istotne wątpliwości. Autorka nie uzasadnia, dlaczego dla każdego gatunku i lokalizacji pobrano próbki akurat z czterech drzew. Nie wskazano, czy był to dobór losowy, celowy czy podyktowany jakimikolwiek przesłankami statystycznymi lub normatywnymi. Brakuje odniesienia do obowiązujących wytycznych, norm lub literatury, które uzasadniałyby taką liczebność prób. W konsekwencji nie wiadomo, czy przyjęta liczba replik biologicznych zapewnia reprezentatywność i wystarczającą moc statystyczną analiz.

Poważne zastrzeżenia budzi również opis procedur laboratoryjnych. Autorka posługuje się pojęciem „*nierozpuszczalnych w wodzie pyłów zawieszonych*", które nie funkcjonuje w terminologii naukowej dotyczącej aerozoli atmosferycznych. Pył zawieszony definiowany jest na podstawie średnicy aerodynamicznej cząstek (np. PM_{10}, $PM_{2,5}$), a nie ich rozpuszczalności. Dodatkowo pył zawieszony, w zależności od pochodzenia, charakteryzuje się złożonym i zmiennym składem chemicznym, obejmującym m.in. węgiel organiczny i elementarny, jony rozpuszczalne w wodzie, potencjalnie toksyczne

pierwiastki oraz trwałe zanieczyszczenia organiczne. Wiedza ta jest powszechnie ugruntowana w literaturze, a tego typu badania były wielokrotnie prowadzone również w Polsce, w tym w Warszawie[4,5,6] czego Autorka w ogóle nie uwzględnia.

Zastosowana procedura płukania liści wodą destylowaną, a następnie chloroformem, nie została właściwie uzasadniona ani metodologicznie domknięta. O ile można przyjąć, że woda destylowana usuwa frakcję łatwo zmywalną, to użycie chloroformu – rozpuszczalnika ekstrahującego związki hydrofobowe – rodzi zasadnicze pytanie o dalszy los tej frakcji. Autorka nie wyjaśnia, czy i w jaki sposób ekstrakty chloroformowe były dalej analizowane, ani jak ich wyniki zostały uwzględnione w bilansie pyłu. W obecnej postaci procedura ta jest niespójna i analitycznie niekompletna.

Najpoważniejsze zastrzeżenia dotyczą jednak rozdziału pyłu zawieszonego na frakcje, na filtrach papierowych, po wcześniejszym „płukaniu" wodą destylowaną. Takie podejście jest sprzeczne z podstawowymi zasadami analizy aerozoli atmosferycznych. Rozdział frakcyjny pyłu zawieszonego nie może być prowadzony po poborze materiału poprzez filtrację ekstraktu wodnego (pył zawieszony zawiera około 30% jonów rozpuszczalnych w wodzie), ponieważ frakcje PM definiowane są na etapie poboru, a nie obróbki laboratoryjnej. W praktyce analitycznej rozdział frakcyjny pyłu realizuje się za pomocą impaktorów kaskadowych lub selektywnych głowic poborowych – nigdy poprzez filtrowanie już zdeponowanego materiału. Skład granulometryczny może być oznaczany metodą dyfrakcji laserowej lub przy użyciu analizatora cząstek w podczerwieni (*Infrared Particle Sizer*); metody te dotyczą jednak wyłącznie pyłów pochodzących z urządzeń odpylających i nie mają zastosowania w przypadku zdeponowanego pyłu zawieszonego.

W publikacji dodatkowo dochodzi do błędnego i wewnętrznie sprzecznego nazewnictwa frakcji, m.in. poprzez wydzielanie zakresów $PM_{2,5–10}$ oraz $PM_{0,2–2,5}$ µm i jednoczesne nazywanie tej drugiej frakcji „$PM_{2,5}$". Jest to błąd fundamentalny, świadczący o niezrozumieniu definicji frakcji pyłu zawieszonego. Co więcej, Autorka/Autorzy publikacji całkowicie pomijają fakt, że na powierzchni liści zatrzymywany jest pył całkowity, w tym również cząstki o średnicy aerodynamicznej większej niż 10 µm, które nie mieszczą się w klasyfikacji PM_{10}, a mimo to mają istotne znaczenie depozycyjne.

W rezultacie przedstawiona metoda rozdzielania pyłu zawieszonego na frakcje jest metodologicznie nieuprawniona, niezgodna z obowiązującą wiedzą analityczną i nie pozwala na uzyskanie wiarygodnych informacji o składzie frakcyjnym zdeponowanego aerozolu. Uzyskane w ten sposób wyniki wagowe nie mają jednoznacznej interpretacji fizycznej ani chemicznej.

Opisane uchybienia nie mają charakteru jednostkowego, lecz wpisują się w szerszy problem całej metodyki rozprawy. Zarówno pomiary terenowe, modelowanie i-Tree Eco, jak i badania laboratoryjne cechują się brakiem reprezentatywności, niezgodnością z obowiązującymi standardami oraz nadinterpretacją wyników. W tym kontekście zasadnym staje się pytanie o **jakość procesu recenzyjnego**

[4] Rogula-Kozłowska, W. *Size-segregated urban particulate matter: mass closure, chemical composition, and primary and secondary matter content*. Air Quality, Atmosphere and Health, 2016, 9(5), 533-550

[5] Rogula-Kozłowska, W. *Traffic-generated changes in the chemical characteristics of size-segregated urban aerosols*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2014, 93, 493-502

[6] Majewski, G., Rogula-Kozłowska, W., Rozbicka, K., Rogula-Kopiec, P., Mathews, B., Brandyk, A. *Concentration, Chemical Composition and Origin of PM1: Results from the First Long-term Measurement Campaign in Warsaw (Poland)*. Aerosol and Air Quality Research, 2018, 18, 636-654 https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.06.0221

publikacji wchodzących w skład rozprawy, skoro zawierają one błędy o charakterze fundamentalnym, możliwe do wychwycenia na etapie podstawowej oceny metodologicznej.

Wyniki i dyskusja

Przedstawiony opis wyników badań ankietowych ma charakter wyłącznie deklaratywny. Autorka nie podaje treści pytań ankietowych, co uniemożliwia ocenę, co faktycznie było przedmiotem pomiaru oraz czy zastosowane narzędzie badawcze mierzyło zakładane zmienne badawcze. Próba badawcza obejmująca 271 respondentów z 18 dzielnic Warszawy stanowi niewielki odsetek populacji miasta liczącej ok. 1,8 mln mieszkańców, co w sposób istotny ogranicza możliwość uogólniania uzyskanych wyników. W konsekwencji formułowane wnioski dotyczące poziomu „zaniepokojenia", „postrzegania jakości powietrza" czy rzekomego braku związku między zanieczyszczeniem powietrza a zdrowiem nie posiadają wartości poznawczej i mogą wynikać z wadliwej konstrukcji kwestionariusza. Szczególnie nieuprawnione jest wyciąganie wniosków o niskiej świadomości zdrowotnej respondentów, gdyż pozostaje to w sprzeczności z ugruntowaną wiedzą naukową i wskazuje raczej na błędy metodologiczne niż na rzeczywisty stan wiedzy badanych. Mimo to deklaracje ankietowanych zostały następnie wykorzystane jako uzasadnienie wyboru dalszego kierunku badań, mimo że sam pomiar świadomości społecznej nie został ani zwalidowany, ani metodologicznie obroniony.

W podrozdziale 5.2 utrzymuje się istotna niespójność terminologiczna. Autorka używa zamiennie określeń „zanieczyszczenia powietrza" oraz „pył $PM_{2,5}$", mimo że są to pojęcia o zupełnie różnym zakresie znaczeniowym. $PM_{2,5}$ stanowi jedną, ściśle zdefiniowaną frakcję pyłu zawieszonego, a nie synonim ogólnych zanieczyszczeń powietrza. Brak konsekwencji w nazewnictwie prowadzi do niejasności interpretacyjnych i dodatkowo osłabia precyzję wniosków, szczególnie w kontekście analiz ilościowych i porównań między lokalizacjami.

Przedstawiona analiza wyników stężeń $PM_{2,5}$ sprawia wrażenie nadinterpretowanej i nie znajduje wystarczającego uzasadnienia metodologicznego. Autorka operuje pojęciem „przekroczeń" poziomu 15 µg/m³, nie precyzując czasu uśredniania stężeń ani podstawy normatywnej tego progu, który odnosi się wyłącznie do wytycznych WHO dla średniodobowych stężeń $PM_{2,5}$, a nie do krótkookresowych pomiarów minutowych. Tym samym zestawienia czasów trwania stężeń „powyżej" i „poniżej" 15 µg/m³ (a co ze stężeniami równymi 15 µg/m³) nie mają jednoznacznej interpretacji środowiskowej ani zdrowotnej.

Dodatkowe wątpliwości budzi sposób zestawienia danych w Tabelach 1 i 2. Dla poszczególnych dni pomiarowych zastosowano różne całkowite czasy monitorowania (np. 108, 117, 119, 137 minut – Tabela 1), bez jakiegokolwiek uzasadnienia metodologicznego ani normalizacji wyników do porównywalnej jednostki czasu. W konsekwencji porównywanie „czasów trwania" stężeń powyżej i poniżej określonego progu między dniami oraz lokalizacjami jest metodologicznie nieuprawnione, ponieważ różnice te mogą wynikać wyłącznie z odmiennej długości sesji pomiarowych, a nie z rzeczywistych różnic środowiskowych.

Wnioski o istotnie częstszych przekroczeniach na ulicy o niskim pokryciu koronami drzew oparto na bardzo krótkim i niereprezentatywnym okresie pomiarowym, obejmującym wyłącznie wybrane dni robocze wczesnej jesieni, bez odniesienia do zmienności sezonowej, warunków meteorologicznych (prędkość

i kierunek wiatru, stabilność atmosfery) ani rzeczywistej struktury emisji. W tej sytuacji przypisanie obserwowanych różnic wyłącznie stanowi drzew i pokryciu koronami drzew ma charakter spekulatywny i nie wynika bezpośrednio z danych.

Szczególnie problematyczne jest przejście od porównań empirycznych stężeń $PM_{2,5}$ do wniosków opartych na analizach statystycznych i modelowych (ANOVA, regresja), bez jasnego rozróżnienia, które dane pochodzą z pomiarów terenowych, a które są wynikami estymacji modelu i-Tree Eco. Autorka miesza wyniki obserwacyjne z wynikami modelowymi, traktując je równorzędnie, co prowadzi do nieuprawnionego wrażenia przyczynowości. W konsekwencji stwierdzenia o „silnym wpływie" parametrów drzew (wysokości, średnicy, ubytków korony) na poziomy usuwania $PM_{2,5}$ nie mogą być odnoszone do rzeczywistych pomiarów jakości powietrza, lecz wyłącznie do założeń i struktury modelu.

Całość tej części ma więc charakter bardziej ilustracyjny niż dowodowy: prezentuje liczby i istotności statystyczne, ale nie dostarcza przekonujących podstaw do wnioskowania o realnym wpływie drzew na poziomy stężeń $PM_{2,5}$ w warunkach ulicznych. Brak spójności między skalą pomiarów, przyjętymi progami odniesienia i logiką interpretacji podważa wiarygodność przedstawionych wniosków.

Równie problematyczne jest kategoryczne stwierdzenie, że gorszy stan drzew przy ulicy Marszałkowskiej jest skutkiem trudnych warunków siedliskowych. W pracy nie przedstawiono żadnych niezależnych danych potwierdzających taki związek przyczynowo-skutkowy, takich jak analizy glebowe, dane o dostępności wody, zasoleniu, stopniu zagęszczenia gleby czy historii zabiegów pielęgnacyjnych. W obecnej formie jest to jedynie hipoteza interpretacyjna, przedstawiona jako fakt, bez odpowiedniego zaplecza empirycznego.

W efekcie cała narracja tej części opiera się na łańcuchu założeń: od krótkookresowych, niereprezentatywnych pomiarów $PM_{2,5}$, przez niespójnie zestawione dane czasowe, po nieudokumentowane wnioski o stanie drzew i jego przyczynach. Taki sposób prowadzenia analizy nie spełnia standardów rzetelnej interpretacji wyników badań środowiskowych.

Przedstawione wyniki w podrozdziale 5.3 dotyczące fitofiltracji cząstek stałych budzą zasadnicze wątpliwości metodologiczne i interpretacyjne. Przede wszystkim Autorka ponownie posługuje się niespójną terminologią, przechodząc swobodnie między pojęciami „zanieczyszczenia", „PM_{10}" i „$PM_{2,5}$", mimo że są to kategorie o odmiennym znaczeniu i zakresie. Taka niekonsekwencja utrudnia jednoznaczną interpretację wyników i podważa precyzję całego wywodu.

Kluczowym problemem jest jednak bezpośrednie porównywanie wartości uzyskanych metodą laboratoryjną z wynikami modelu i-Tree Eco, bez uwzględnienia fundamentalnie odmiennego charakteru obu podejść. Metoda laboratoryjna opiera się na krótkookresowym, punktowym pomiarze zdeponowanego pyłu na liściach, natomiast i-Tree Eco generuje długookresowe szacowanie oparte na modelowaniu, wykorzystujące dane meteorologiczne i uśrednione stężenia zanieczyszczeń. Zestawianie tych wyników wprost jako równoważnych miar „średniej rocznej akumulacji", nie ma uzasadnienia metodologicznego i prowadzi do pozornych rozbieżności lub zgodności, które w rzeczywistości są artefaktem przyjętej metody.

Szczególnie problematyczne są bardzo duże różnice pomiędzy wynikami PM_{10} uzyskanymi obiema metodami (np. kilkukrotne przeszacowanie wartości przez i-Tree Eco w przypadku *Tilia cordata* czy *Quercus robur*), które Autorka jedynie referuje, nie podejmując próby ich krytycznej interpretacji. Brakuje dyskusji, czy rozbieżności te wynikają z ograniczeń procedury laboratoryjnej, założeń modelu, czy też

z błędów w doborze danych wejściowych. Tymczasem różnice te mają charakter systematyczny, co sugeruje problem strukturalny, a nie losową zmienność.

Dodatkowo należy podkreślić fundamentalny błąd związany z zastosowaniem modelu i-Tree Eco w odniesieniu do frakcji pyłu PM_{10}. Model ten nie szacuje usuwania PM_{10} w sposób bezpośredni, lecz dostarcza wiarygodnych oszacowań wyłącznie dla frakcji $PM_{2,5}$, która w literaturze przedmiotu oraz w praktyce planistycznej może być traktowana jedynie jako pośredni wskaźnik redukcji zanieczyszczeń pyłowych ogółem.

Odnoszenie wyników $PM_{2,5}$ do frakcji PM_{10} wymaga każdorazowo przyjęcia dodatkowych założeń analitycznych, w szczególności określenia lokalnego udziału frakcji drobnej w pyle całkowitym ($PM_{2,5}/PM_{10}$), który w warunkach Polski przyjmuje się orientacyjnie na poziomie około 50–70%, w zależności od struktury źródeł emisji. W analizowanej rozprawie nie przedstawiono jednak żadnej procedury przeliczeniowej, nie określono przyjętego udziału frakcji $PM_{2,5}$ ani nie uzasadniono przyjętych założeń.

Co istotne, w pracach naukowych oraz raportach eksperckich wyniki uzyskiwane przy użyciu modelu i-Tree Eco prezentowane są standardowo dla frakcji $PM_{2,5}$, natomiast odniesienia do PM_{10} mają charakter wtórny, opisowy lub pomocniczy i są jednoznacznie wskazywane jako pochodne przyjętych założeń, a nie jako bezpośrednie wyniki modelu. W analizowanej rozprawie rozróżnienie to zostało całkowicie pominięte, co prowadzi do błędnej interpretacji możliwości modelu oraz do nadinterpretacji uzyskanych rezultatów. W efekcie przedstawione porównania pochłaniania PM_{10} pomiędzy metodą laboratoryjną a modelem i-Tree Eco są metodologicznie nieuprawnione, a wnioski formułowane na ich podstawie nie mogą być uznane za wiarygodne.

Dodatkowo niejasne pozostaje, w jaki sposób obliczono „*średnią roczną akumulację*” na podstawie badań laboratoryjnych prowadzonych w jednym, krótkim okresie wegetacyjnym. Brak informacji o zastosowanych współczynnikach ekstrapolacji, sezonowości depozycji pyłów oraz dynamice zmywania zanieczyszczeń z powierzchni liści powoduje, że wartości te nie mogą być traktowane jako reprezentatywne dla skali rocznej. W konsekwencji przedstawione porównanie metod nie prowadzi do rzeczywistej walidacji modelu i-Tree Eco, lecz jedynie do zestawienia nieporównywalnych wielkości liczbowych. W obecnej formie fragment ten nie dostarcza wiarygodnych wniosków na temat rzeczywistej skuteczności fitofiltracji ani przydatności poszczególnych metod badawczych.

Wnioski

Wnioski końcowe rozprawy zostały sformułowane w sposób nieadekwatny do jakości, zakresu i wiarygodności przeprowadzonych badań. Autorka deklaruje „*pozytywną weryfikację hipotezy badawczej*”, mimo że zasadnicze elementy pracy – część ankietowa, pomiary terenowe oraz analizy modelowe i laboratoryjne – obarczone są poważnymi ograniczeniami metodologicznymi, co starałam się wykazać, i które uniemożliwiają jednoznaczne potwierdzenie postawionych założeń.

Wnioski dotyczące świadomości społecznej oparto na ankiecie, której konstrukcja nie została ujawniona, co wyklucza ocenę rzetelności uzyskanych wyników oraz podważa tezę o zależności świadomości mieszkańców od stopnia zadrzewienia. Część empiryczna opiera się na krótkookresowych, niereprezentatywnych pomiarach $PM_{2,5}$, wykonanych metodą niereferencyjną, bez pełnej walidacji

czujnika, przy niejednolitych czasach poboru danych i bez uwzględnienia kluczowych czynników emisyjnych, takich jak prędkość ruchu pojazdów czy jego płynność. Przypisywanie obserwowanych różnic w stężeniach wyłącznie stanowi drzew i warunkom siedliskowym ma charakter uproszczony i nie zostało poparte analizą alternatywnych wyjaśnień.

Szczególnie problematyczne są wnioski dotyczące fitofiltracji. Autorka wyciąga daleko idące konkluzje dotyczące PM_{10}, mimo że model i-Tree Eco nie modeluje tej frakcji wprost, a zastosowana metoda laboratoryjna nie spełnia podstawowych standardów analizy pyłu zawieszonego i jego rozdziału frakcyjnego. W rezultacie porównanie obu metod jest metodologicznie nieuprawnione, a stwierdzenia o ich wzajemnej „kalibracji" nie znajdują uzasadnienia.

W konsekwencji przedstawione wnioski mają charakter deklaratywny i nie wynikają wprost z rzetelnie zweryfikowanych danych. Skala uproszczeń, błędów koncepcyjnych i niespójności metodologicznych sprawia, że rozprawa nie dostarcza wiarygodnych podstaw do potwierdzenia postawionych hipotez ani do formułowania uogólnionych rekomendacji naukowych czy aplikacyjnych.

Ocena wpływu rozprawy na rozwój dyscypliny

Ten rozdział pracy (pkt. 7) ma charakter w dużej mierze deklaratywny i nie jest adekwatnie uzasadniony wynikami zaprezentowanymi w rozprawie. Autorka przypisuje pracy istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, nie precyzując jednoznacznie, na czym ten wkład miałby polegać w sensie poznawczym lub metodycznym.

Szczególne zastrzeżenia budzi sformułowanie dotyczące „*dokumentowania pochłaniania PM2,5 z uwzględnieniem PM10*". Jest ono merytorycznie nieprecyzyjne, gdyż frakcja $PM_{2,5}$ stanowi część PM_{10}, a zastosowane narzędzie i-Tree Eco nie modeluje bezpośrednio usuwania PM_{10}. W konsekwencji deklarowany zakres analiz nie odpowiada rzeczywistym możliwościom metody i prowadzi do nadinterpretacji uzyskanych wyników.

Deklarowana wysoka wartość aplikacyjna oraz rzekomy postęp metodyczny polegający na łączeniu podejść laboratoryjnych i modelowych nie zostały w pracy przekonująco wykazane. Wobec istotnych ograniczeń metodycznych badań i niepełnej charakterystyki drzewostanu, formułowane wnioski należy uznać za przeszacowane i mające raczej charakter postulatywny niż dowodowy.

Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Str. 6 cyt.: *„Po przeprowadzonym monitoringu wykazano, że przekroczenia normy jakości powietrza WHO $PM_{2,5}$ (15 µg/m³)."*

Autorka nie precyzuje okresu uśredniania stężenia $PM_{2,5}$, tj. czy odnosi się ono do wartości średniodobowej, średniorocznej czy innego wskaźnika. Brak tej informacji uniemożliwia jednoznaczną interpretację wyników oraz ich poprawne odniesienie do obowiązujących wytycznych jakości powietrza.

Dodatkowo w całej rozprawie Autorka konsekwentnie odwołuje się do rekomendacji Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), pomijając fakt, że mają one charakter niewiążących wytycznych

zdrowotnych, a nie norm prawnych. Nie dokonano przy tym żadnego rozróżnienia pomiędzy zaleceniami WHO[7], a obowiązującymi w Polsce[8] i Unii Europejskiej[9] regulacjami prawnymi.

W szczególności zabrakło odniesienia do aktualnie obowiązujących w Polsce dopuszczalnych poziomów $PM_{2,5}$ (średnioroczne stężenie 20 µg/m³), jak również do wymogów nowej dyrektywy UE, przewidującej od 2030 r. poziom średnioroczny 10 µg/m³ oraz poziom 24-godzinny 25 µg/m³ z dopuszczalną liczbą 18 przekroczeń w roku. Powyższe braki wskazują na nieprawidłowe osadzenie wyników badań w kontekście obowiązujących standardów prawnych i znacząco ograniczają ich wartość interpretacyjną.

Str. 7 cyt.: „*Ponadto drzewa rosnące w trudniejszych warunkach środowiskowych wykazywały mniejszą średnicę na wysokości pierśnicy (DBH) i niższą wydajność usuwania PM10 i PM2,5 zgodnie z obiema metodami."*

Co Autorka rozumie pod pojęciem wydajność usuwania PM? Pojęcie to nie zostało w pracy jednoznacznie zdefiniowane.

Str. 9 cyt.: „Drzewa *na poboczach dróg, w parkach, ogrodach, pozostałych lasach i na budynkach tworzą największy segment miejskich terenów zielonych*".

Proszę o doprecyzowanie, co Autorka rozumie pod pojęciem „pozostałe lasy". Termin ten nie jest zdefiniowany ani jednoznaczny w kontekście struktury miejskich terenów zielonych.

Str. 11-12 cyt.: „*Powszechne przekształcanie terenów zielonych w betonowe place, osiedla mieszkaniowe czy centra handlowe przekłada się na coraz mniejszą ilość terenów zielonych w miastach, a w konsekwencji potęguje zjawisko smogu i wzrost zanieczyszczenia powietrza w miastach*".

Przytoczone stwierdzenie jest merytorycznie niepoprawne i stanowi nieuprawnione uproszczenie złożonych procesów kształtujących jakość powietrza w miastach. Redukcja terenów zielonych nie jest bezpośrednią przyczyną powstawania smogu ani wzrostu stężeń zanieczyszczeń powietrza. Smog jest zjawiskiem wynikającym przede wszystkim z wielkości emisji zanieczyszczeń (zwłaszcza ze źródeł komunikacyjnych i bytowo-komunalnych) oraz z warunków meteorologicznych i dyspersyjnych. Łączenie intensywnej urbanizacji terenów zielonych z nasileniem smogu bez uwzględnienia złożonych mechanizmów jego kształtowania w atmosferze lub przytoczenia dowodów empirycznych świadczy o braku zrozumienia podstawowych zależności obowiązujących w ochronie powietrza i znacząco obniża wiarygodność naukową tego fragmentu pracy.

Str. 12 cyt.: „*Według badań ekspertów zanieczyszczenie powietrza stanowi istotny problem, a wiele substancji wymienionych w dyrektywach Rady Europejskiej: 96/62/WE i 1999/30/WE, 2002/3/WE, 2008/50/WE (Rada Unii Europejskiej, 1996, 1999, 2002, 2008), które znajdują się w powietrzu, osiąga stężenia niebezpieczne dla życia i zdrowia ludzi...".*

Proszę o doprecyzowanie, jakie „wiele substancji" Autorka ma na myśli, odnosząc się do przywołanych dyrektyw UE oraz czy chodzi o wszystkie substancje regulowane tymi aktami prawnymi, czy jedynie o wybrane. Wskazane byłoby również uzupełnienie zapisu o konkretne źródła

[7] World Health Organization 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228

[8] Obwieszczenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 6 maja 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. 2024 poz. 870)

[9] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/2881 z dnia 23 października 2024 r. w sprawie jakości powietrza i czystszego powietrza dla Europy (Dz.U.UE.L.2024.2881)

naukowe lub raporty potwierdzające, że dane substancje osiągają stężenia niebezpieczne dla życia i zdrowia ludzi, ponieważ same dyrektywy określają ramy prawne, a nie wyniki badań.

Str. 12 cyt.: *„Jak wskazują badania, pył zawieszony (PM) ma najbardziej szkodliwy wpływ na zdrowie publiczne i środowisko (Russell & Brunekreef, 2009). Wynika to z wielkości cząstek - dlatego pył antropogeniczny jest uważany za największe zagrożenie dla zdrowia ludzkiego (CAFE, 2004). Wdychanie PM powoduje, że cząsteczki gromadzą się w tkance płucnej i dostają się do krwiobiegu, co z kolei prowadzi do wyższego ryzyka chorób układu krążenia i płuc (Cen, 2015), przewlekłej obturacyjnej choroby płuc i raka płuc (Jeong, 2013). Badania pokazują, że zachorowalność na raka płuc w Pekinie wynosiła 1,055 dla mężczyzn i 1,149 dla kobiet, a wzrost zachorowalności był spowodowany wzrostem poziomu PM2,5 o 10 mg -3 (Guo i in., 2014). Wdychanie pyłu powoduje również pogorszenie stanu zdrowia w chorobach układu oddechowego, takich jak astma (Bond i in., 2013; Brauer i in., 2007) i prowadzi do infekcji dróg oddechowych u dzieci (Bond i in., 2013). Badania epidemiologiczne wykazały również, że pył zawieszony, zwłaszcza PM2.5, może nawet prowadzić do przedwczesnej śmierci (Heal et al., 2012). Należy podkreślić, że zanieczyszczenie powietrza negatywnie wpływa na zdrowie ludzi nie tylko poprzez jego wdychanie, ale także poprzez wchłanianie przez skórę w wyniku kontaktu z zanieczyszczoną wodą lub żywnością (Cunningham i in., 2005)".*

Omawiany fragment zawiera liczne uproszczenia, nieścisłości oraz błędy merytoryczne, które świadczą o niewystarczającym zrozumieniu podstawowych mechanizmów oddziaływania pyłu zawieszonego, i to zarówno o pochodzeniu antropogenicznym jak i naturalnym na organizm człowieka. Przede wszystkim stwierdzenie, że „*najbardziej szkodliwy wpływ wynika z wielkości cząstek"* zostało sformułowane w sposób nadmiernie uproszczony i nieprecyzyjny. Toksyczność pyłu zawieszonego zależy nie tylko od rozmiaru cząstek, lecz również od ich składu chemicznego, pochodzenia, właściwości powierzchniowych. W tekście pominięto kluczowy fakt, że cząstki pyłu zawieszonego, w zależności od wielkości frakcji, osadzają się w różnych częściach układu oddechowego: frakcja PM_{10} głównie w górnych drogach oddechowych, $PM_{2,5}$ w oskrzelach i pęcherzykach płucnych, natomiast cząstki ultradrobne ($PM_{0,1}$) mogą przenikać przez barierę pęcherzykowo-włośniczkową do krwiobiegu. Brak tego rozróżnienia prowadzi do niepełnego i wprowadzającego w błąd opisu mechanizmów oddziaływania zdrowotnego.

Szczególnie problematyczne jest przytoczenie wyników badań Guo i in. (2014), gdzie podano wartości „*1,055*" i „*1,149*" bez wyjaśnienia, że są to współczynniki ryzyka względnego, ani bez prawidłowego odniesienia do jednostki zmiany stężenia. Co więcej, w tekście błędnie wskazano wzrost stężenia $PM_{2,5}$ o „10 $mg \cdot m^{-3}$", podczas gdy odnosi się on do wzrostu o 10 $\mu g/m^3$. Jest to błąd o trzy rzędy wielkości, który dyskwalifikuje poprawność merytoryczną tego fragmentu. Autorka nie uwzględnia powszechnie akceptowanego w literaturze faktu, że wzrost średniorocznego stężenia $PM_{2,5}$ o 10 $\mu g/m^3$ wiąże się ze wzrostem śmiertelności z powodu raka płuca rzędu 6–8%, co stanowi jedno z kluczowych ustaleń badań kohortowych[10,11].

[10] Yoo, J.; Lee, Y.; Park, Y.; Lee, J.; Choi, J.Y.; Lee, H.; Lim, J.U. *Update in Association between Lung Cancer and Air Pollution*. Tuberculosis and Respiratory Diseases, 2025, 88, 228-236.

[11] U.S. EPA. Integrated Science Assessment (ISA) for Particulate Matter (Final Report, Dec 2019). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-19/188, 2019

Wątpliwości budzi również fragment dotyczący dróg narażenia na zanieczyszczenia powietrza odnoszący się do zagadnienia istotnego z punktu widzenia zdrowia publicznego, jednak został sformułowany w sposób nieprecyzyjny i mylący. Pył zawieszony może przedostawać się do organizmu człowieka trzema głównymi drogami: inhalacyjną, pokarmową oraz dermalną[12]. W tekście nie dokonano jednak rozróżnienia pomiędzy bezpośrednią ekspozycją na pył zawieszony a wtórnym narażeniem poprzez depozycję cząstek na żywności, w wodzie lub na powierzchni skóry. Sformułowanie sugerujące „*wchłanianie przez skórę w wyniku kontaktu z zanieczyszczoną wodą lub żywnością*" jest nieadekwatne w kontekście pyłu zawieszonego i prowadzi do pomieszania mechanizmów ekspozycji charakterystycznych dla różnych klas zanieczyszczeń.

W konsekwencji fragment ten cechuje się chaotyczną strukturą, licznymi uproszczeniami oraz błędami jednostek i interpretacji wyników badań epidemiologicznych. W obecnym kształcie nie spełnia on standardów rzetelnego opracowania naukowego z zakresu ochrony powietrza.

Str. 13 cyt.: „*Szacuje się, że postępująca migracja z obszarów wiejskich do miejskich przyczyni się do wzrostu liczby ludności miejskiej i osiągnie 60% w 2030 r. (Bureau, 2007), 70% w 2050 r. w skali światowej (FAO, 2009) i 82% w UE (WUP, 2018). Jak powszechnie wiadomo, urbanizacja zapewnia wiele korzyści społecznych; można ją jednak uznać za istotny czynnik odpowiedzialny za problemy środowiskowe, takie jak Miejska Wyspa Ciepła (UHI) (…), spowodowane głównie zmianami w użytkowaniu gruntów i ekspansją budownictwa mieszkaniowego (…). Zostało to również potwierdzone przez badania przeprowadzone przez WHO, które wykazały, że w ponad 3000 miast zanieczyszczenie powietrza na zewnątrz wzrosło o 8% na całym świecie w ciągu ostatnich pięciu lat (WHO, 2022).*"

Przytoczony fragment sprawia wrażenie poprawnego pod względem formalnym, jednak zawiera istotne nieścisłości merytoryczne oraz uproszczenia interpretacyjne. Dane dotyczące prognoz urbanizacji zostały zestawione w sposób niejednorodny czasowo i instytucjonalnie (Bureau, 2007; FAO, 2009; WUP, 2018), bez krytycznego odniesienia do ich aktualności, zakresu geograficznego ani metodologii prognoz. W szczególności wykorzystanie bardzo starych źródeł prognostycznych (2007, 2009) bez odniesienia do nowszych opracowań (np. ONZ, Eurostat) budzi wątpliwości co do aktualności przedstawionych danych.

Ponadto w tekście w sposób nieuprawniony łączy się proces urbanizacji z występowaniem problemów środowiskowych, takich jak Miejska Wyspa Ciepła (UHI), bez wyraźnego rozróżnienia pomiędzy samym wzrostem liczby ludności miejskiej a zmianami w strukturze użytkowania terenu, intensywnością zabudowy czy bilansem energetycznym miast. Miejska Wyspa Ciepła nie jest bezpośrednią konsekwencją urbanizacji *sensu stricto*, lecz wynika z konkretnych założeń urbanistycznych i standardów budowlanych co przejawia się w stopniu pokrycia zielenią powierzchni miasta, uszczelnieniem jego powierzchni, refleksyjnością zastosowanych materiałów budowlanych (albedo) czy też zdolnością do usuwania zanieczyszczeń powietrza z obszaru miejskiego przez dominujące przepływy mas powietrza (wentylacja miejska).

Szczególnie problematyczne jest przywołanie wyników badań WHO, według których „*zanieczyszczenie powietrza wzrosło o 8% w ponad 3000 miast w ciągu ostatnich pięciu lat*", bez

[12] Fadel, M., Courcot, D., Afif, C. Ledoux, F. *Methods for the assessment of health risk induced by contaminants in atmospheric particulate matter: a review*. Environmental Chemistry Letters, 2022, 20, 32893311

wskazania, jakiego wskaźnika dotyczy ten wzrost (stężenia średnioroczne, liczba miast przekraczających normy, ekspozycja populacji) oraz bez powiązania go z mechanizmami emisyjnymi. Tego rodzaju uogólnienie może wprowadzać w błąd i sugerować związek przyczynowo-skutkowy między urbanizacją a wzrostem zanieczyszczenia powietrza, który nie został w tekście ani wykazany, ani nawet poprawnie zarysowany.

W efekcie fragment ten charakteryzuje się brakiem spójności logicznej, mieszaniem pojęć (urbanizacja, zmiany użytkowania terenu, emisje, zanieczyszczenie powietrza, UHI) oraz nieprecyzyjną interpretacją źródeł. W obecnym kształcie nie spełnia on standardów rzetelnego wprowadzenia teoretycznego do zagadnień z zakresu ochrony powietrza.

Str. 13-15 podrozdział „*1.4 Rośliny a zanieczyszczenie powietrza*”

Rozdział sprawia wrażenie obszernego przeglądu literatury dotyczącej roli drzew miejskich w ograniczaniu zanieczyszczenia powietrza, jednak jego wartość merytoryczna jest istotnie obniżona przez brak krytycznej selekcji treści, liczne powtórzenia oraz nieprecyzyjne i momentami błędne ujęcie procesów fizycznych i biologicznych.

W wielu miejscach Autorka formułuje tezy o wysokiej skuteczności drzew jako narzędzia „*eliminacji*” lub „*usuwania*” pyłu zawieszonego, nie zaznaczając jednocześnie, że efekt ten ma zazwyczaj charakter lokalny, krótkotrwały i silnie zależny od warunków meteorologicznych, struktury zabudowy oraz geometrii zieleni. Brakuje odniesienia do prac wskazujących, że niewłaściwie zaprojektowana zieleń (np. zwarte szpalery drzew w wąskich kanionach ulicznych) może prowadzić do pogorszenia warunków dyspersji i lokalnego wzrostu stężeń zanieczyszczeń.

Poważnym mankamentem jest również niejednoznaczne posługiwanie się pojęciami (dotyczy to całej pracy) „absorpcji”, „adsorpcji”, „depozycji” i „filtracji”, które w literaturze przedmiotu mają ściśle określone znaczenie fizyczne i biologiczne. W tekście pojęcia te są stosowane zamiennie, co świadczy o braku precyzji terminologicznej i utrudnia prawidłową interpretację opisywanych mechanizmów. Dotyczy to w szczególności fragmentów odnoszących się do roli aparatów szparkowych w usuwaniu pyłu zawieszonego, gdzie nie zaznaczono, że mechanizm ten dotyczy głównie gazów, a w przypadku cząstek stałych ma ograniczone znaczenie i dotyczy jedynie frakcji ultradrobnej.

Fragment dotyczący prędkości sedymentacji (*Vd*) zawiera nagromadzenie parametrów, jednostek i wyników badań bez ich krytycznego omówienia, co pozwoliłoby na głębsze zrozumienie przez czytelnika mechanizmów pochłaniania pyłu przez zieleń miejską. Autorka przytacza przykładowe szerokie zakresy wartości *Vd* (od 0,01 do 10 cm/s), nie wyjaśniając, z czego wynikają tak duże rozbieżności ani jakie są konsekwencje niskiej dokładności modeli, o której sama wspomina.

Dodatkowo tekst cechuje się licznymi powtórzeniami tych samych informacji (np. trzykrotne omawianie czynników wpływających na *Vd* według Wesely’ego i Hicksa), błędami redakcyjnymi oraz niespójnościami stylistycznymi, co sugeruje brak starannej redakcji i kontroli struktury wywodu.

Wątpliwości budzi również końcowa część rozdziału, w której Autorka przechodzi od przeglądu literatury naukowej do publicystycznej tezy o „braku świadomości” i „betonozie” w Polsce, bez przedstawienia danych empirycznych ani powiązania tych obserwacji z analizami prowadzonymi w pracy. Tego rodzaju uogólnienia nie mają charakteru naukowego i nie powinny pojawiać się w części teoretycznej rozprawy doktorskiej.

Str. 14 cyt.: „*Prędkość sedymentacji PM10 na roślinach wahała się od 0,01 do ok. 10 cm s-1…”*

Proszę o doprecyzowanie, co Autorka rozumie pod pojęciem „*prędkość sedymentacji PM_{10} na roślinach*”? Podany zakres wartości (0,01–10 cm/s) wymaga również uzasadnienia źródłowego oraz wyjaśnienia, do jakiego mechanizmu fizycznego się odnosi.

Str. 14 cyt.: „*Zmienne, które wpływają na wartość Vd to, oprócz tych wymienionych wcześniej, rozmiar i gęstość cząstek zanieczyszczeń…”.*

Proszę o doprecyzowanie, co Autorka rozumie pod pojęciem „*gęstość cząstek zanieczyszczeń”?*

Str. 15 cyt.: „*Badania pokazują, że drzewa iglaste są bardziej skuteczne w absorpcji PM10 niż drzewa liściaste”*.

Proszę o wyjaśnienie użycia pojęcia „absorpcja PM_{10}”, które w odniesieniu do pyłu zawieszonego jest nieprecyzyjne; właściwszym terminem wydaje się adsorpcja lub depozycja cząstek na powierzchni roślin. Proszę również uzasadnić, dlaczego – zdaniem Autorki – drzewa iglaste wykazują większą skuteczność wychwytywania PM_{10} niż drzewa liściaste.

Str. 17 cyt.: „*Metody te są stosowane do oceny adsorpcji zanieczyszczeń w mniejszej skali czasowej i przestrzennej; analizy grawimetryczne i chemiczne pozwalają określić masę i zawartość pierwiastków w osadzanych materiałach, podczas gdy techniki mikroskopowe i spektroskopowe (np. spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera za pomocą mikroskopu skaningowego elektronowego i spektroskopia rentgenowska z dyspersją energii) umożliwiają szczegółową wizualizację i identyfikację cząstek powierzchniowych oraz rozkładu zanieczyszczeń. Wymienione metody są skomplikowane i wymagają wysokich umiejętności analitycznych, dlatego nie są wystarczająco często wykorzystywane do zarządzania drzewami miejskimi. Brakuje analiz ułatwiających ich wdrożenie w realizacji procesu decyzyjnego włodarzy.”*

W tekście brakuje rozróżnienia między pojęciami adsorpcji i depozycji zanieczyszczeń, a zastosowane skróty myślowe mogą prowadzić do niejednoznacznej interpretacji mechanizmów akumulacji pyłu na powierzchni liści. Omawiany fragment zawiera istotne błędy merytoryczne i terminologiczne w opisie laboratoryjnych metod oceny akumulacji zanieczyszczeń na powierzchni liści. W tekście nieprecyzyjnie użyto określenia „analizy grawimetryczne”, podczas gdy w praktyce stosuje się analizę grawimetryczną (metodą referencyjna do wyznaczanie stężenia PM), o ściśle określonej procedurze i zakresie zastosowania. Ponadto techniki analityczne zostały opisane w sposób niepoprawny i mylący. Spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR), mikroskopia skaningowa elektronowa (SEM) oraz spektroskopia rentgenowska z dyspersją energii (EDS/EDX) stanowią odrębne, komplementarne metody, które w literaturze są jasno rozróżniane pod względem funkcji i zakresu informacji. Często stosuje się techniki łączone FTIR z SEM oraz EDS zintegrowane z SEM. Tego rozróżnienia w tekście zabrakło, co prowadzi do błędnego obrazu stosowanych metod. W konsekwencji opis metod analitycznych jest nieprecyzyjny i wskazuje na brak zrozumienia ich rzeczywistego zastosowania oraz możliwości interpretacyjnych. Fragment ten wymaga zasadniczej korekty terminologicznej i metodologicznej, aby spełniał podstawowe standardy rzetelnego opisu badań laboratoryjnych.

Zastrzeżenia budzi również pojawiające się w tekście uzasadnianie ograniczonego wykorzystania metod laboratoryjnych ich „skomplikowaniem” oraz koniecznością posiadania wysokich umiejętności analitycznych. Tego rodzaju argumentacja jest nieadekwatna w kontekście pracy doktorskiej, której

istotą jest właśnie stosowanie specjalistycznych metod badawczych oraz zaawansowanej aparatury. Trudność metodologiczna i wymagania sprzętowe nie stanowią w tym przypadku wady, lecz standard naukowy.

Ponadto odwoływanie się do „*procesu decyzyjnego włodarzy*" ma charakter publicystyczny i nie zostało osadzone w żadnym modelu decyzyjnym ani analizie aplikacyjnej, co obniża wartość naukową tego fragmentu i wykracza poza ramy rzetelnego opisu metod badawczych.

Str. 21, 22, 24 cyt.: *„Badania przeprowadzone w ramach artykułów …"; „Badania przeprowadzone w ramach publikacji nr 1 …"; „Badania przeprowadzone w ramach publikacji nr 2 …"; „Badanie przeprowadzone w ramach publikacji nr 3 …"*

Tego typu sformułowania odwracają właściwą logikę procesu badawczego. To badania stanowią podstawę publikacji, a nie publikacja ramy dla badań. Taki sposób narracji sugeruje podporządkowanie metodyki formie wydawniczej, a nie jasno zaprojektowanemu problemowi naukowemu, co dodatkowo osłabia wrażenie samodzielnej i spójnej koncepcji rozprawy doktorskiej.

Str. 22 cyt.: *„4.2. Świadomość zanieczyszczenia powietrza i usług ekosystemowych świadczonych przez drzewa"*

Czy świadomość społeczna zależy od stopnia zadrzewienia jak sugeruje Autorka? Proszę o komentarz.

Str. 22 cyt.: *„4.3. Ocena jakości powietrza i porównanie zdolności absorpcyjnych w warszawskich alejach"*

Tytuł podrozdziału jest nieprecyzyjny i nie odpowiada zakresowi przeprowadzonych badań. Autorka nie przeprowadza oceny jakości powietrza w rozumieniu obowiązujących przepisów i metodyk, lecz porównuje krótkookresowe poziomy stężeń $PM_{2,5}$ w wybranych lokalizacjach. Ponadto użycie pojęcia „zdolności absorpcyjnych" jest nieuprawnione, gdyż w odniesieniu do pyłu zawieszonego właściwym mechanizmem jest jego depozycja i adsorpcja powierzchniowa na liściach, a nie absorpcja.

Str. 23 cyt.: „*Miernik wyposażony jest w czujniki laserowe, co zapewnia pomiary z dokładnością 0,1 µg/m3 dla pyłu PM2,5, w zakresie pomiarowym 0-999 µg/m3 z zakresem pomiarowym 0,1–10 000 µg/m3, rozdzielczością i czułością 1 µg/m3, przepływem powietrza 1 l/min…*"

Proszę o doprecyzowanie parametrów technicznych zastosowanego miernika, gdyż przedstawiony opis jest niejednoznaczny i wewnętrznie niespójny. Autorka jednocześnie podaje dokładność 0,1 µg/m³, rozdzielczość i czułość 1 µg/m³ oraz dwa różne zakresy pomiarowe (0–999 µg/m³ oraz 0,1–10 000 µg/m³). Proszę jednoznacznie wskazać:

- zakres roboczy urządzenia,
- rozdzielczość i czułość pomiaru,
- deklarowaną przez producenta niepewność/dokładność pomiaru.

Str. 34 cyt.: *„Praca ta dokumentuje wartości pochłanianych zanieczyszczeń powietrza PM2,5 z uwzględnieniem PM10 wraz z analizą istniejącego drzewostanu."*

Sformułowanie to jest nieprecyzyjne i sugeruje traktowanie $PM_{2,5}$ oraz PM_{10} jako niezależnych frakcji, podczas, gdy $PM_{2,5}$ stanowi podzbiór PM_{10}. Taki sposób zapisu świadczy o braku konsekwencji terminologicznej.

Ocena strony redakcyjnej i językowej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska została przygotowana w sposób wyraźnie niestaranny, co w istotnym stopniu utrudniało jej lekturę i ocenę merytoryczną. W pracy występują liczne fragmenty zawierające bardzo długie, wielokrotnie złożone zdania, które obciążają tekst stylistycznie i utrudniają jego zrozumienie. W wielu miejscach konieczna jest korekta interpunkcji, aby tekst był czytelny i zgodny z zasadami języka naukowego.

Zwraca uwagę brak spójności w zakresie zapisu cytowań i odwołań do literatury (np. równoległe stosowanie form „Matus et al., 2012" oraz „Dominick i in., 2012"). Sposób cytowania źródeł powinien zostać ujednolicony w całej pracy, zgodnie z przyjętym standardem redakcyjnym.

Istotne uchybienia dotyczą również struktury rozprawy. W spisie treści brakuje punktu 1. „Wstęp", mimo że taki rozdział został formalnie wydzielony w tekście. Co więcej, rozdział „Wstęp" nie zawiera żadnej treści merytorycznej – właściwe wprowadzenie do problematyki rozpoczyna się dopiero w podrozdziale 1.1. Taki układ jest niezgodny z zasadami redakcji prac naukowych i zaburza logiczną kompozycję rozprawy. Dodatkowo podpunkty 4.2 oraz 5.1 zostały opatrzone identycznym tytułem, co świadczy o braku konsekwencji w konstrukcji pracy.

W tekście występują także liczne błędy edycyjne. Przykładowo, na stronie 26 numeracja rysunków przywoływanych w tekście jest niezgodna z ich rzeczywistą numeracją (odwołania do „Rysunków X i Y"). Podpisy pod rysunkami i tabelami oraz opisy tabel są nieprecyzyjne, niejednoznaczne lub niezrozumiałe, m.in.:

„Rysunek 2. Aleje badane w ramach rozprawy doktorskiej",

„Rysunek 3. Przegląd stężeń zanieczyszczeń odnotowanych przy ul. Żwirki i Wigury",

„Rysunek 4. Przegląd zanieczyszczeń odnotowanych przy ul. Marszałkowskiej",

„Tabela 1. Przegląd zarejestrowanych zanieczyszczeń przy ul. Marszałkowskiej",

„Tabela 2. Przegląd zarejestrowanych zanieczyszczeń przy ul. Żwirki i Wigury",

a także opisy kolumn tabel, takie jak:

„Czas trwania zarejestrowanych poziomów zanieczyszczenia poniżej 15 µg/m³ [w minutach]" oraz

„Czas trwania zarejestrowanych poziomów zanieczyszczenia powyżej 15 µg/m³ [w minutach]",

które nie precyzują jednoznacznie, do jakich danych i warunków pomiarowych się odnoszą.

Jak sygnalizowano wcześniej, praca zawiera liczne uchybienia o charakterze edycyjnym i stylistycznym, których pełne wyliczenie nie jest w tym miejscu konieczne. W obecnym kształcie rozprawa wymaga gruntownej redakcji językowej oraz korekty edytorskiej, przeprowadzonej zgodnie z zasadami poprawnej polszczyzny i standardami obowiązującymi w pracach naukowych.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedłożona rozprawa doktorska podejmuje zagadnienie istotne poznawczo i społecznie, jednak sposób jego realizacji budzi zasadnicze i wielokrotnie powtarzające się zastrzeżenia natury metodologicznej, teoretycznej oraz analitycznej. Stwierdzone uchybienia nie mają charakteru incydentalnego, lecz systemowy i obejmują wszystkie kluczowe etapy pracy: od sformułowania celów i hipotez badawczych, poprzez dobór i opis metod, aż po interpretację uzyskanych wyników.

Cele i hipotezy pracy są sformułowane w sposób nieprecyzyjny i wewnętrznie niespójny, w szczególności poprzez nieuprawnione uogólnianie pojęcia „zanieczyszczeń powietrza" przy jednoczesnym odnoszeniu się do wartości granicznych właściwych wyłącznie dla frakcji $PM_{2,5}$. Błąd ten ma charakter fundamentalny, gdyż podważa logiczną spójność całej koncepcji badawczej.

Zastosowana metodyka pomiarów terenowych stężenia pyłu $P_{2,5}$, krótki, selektywny okres monitoringu (9 dni pomiarowych) ogranicza reprezentatywność uzyskanych danych. W rezultacie nie jest możliwe wiarygodne wnioskowanie ani o poziomach narażenia mieszkańców, ani o skuteczności drzew w usuwaniu pyłu zawieszonego.

Poważne zastrzeżenia budzi również sposób wykorzystania modelu i-Tree Eco. Narzędzie to zostało potraktowane jako „czarna skrzynka", bez przedstawienia jego założeń, ograniczeń oraz wrażliwości na dane wejściowe. Brak informacji o dokładności pomiarów dendrometrycznych, źródłach danych środowiskowych oraz analizie niepewności powoduje, że generowane wyniki mają ograniczoną wartość naukową i nie mogą być poddane rzetelnej weryfikacji.

Najpoważniejsze uchybienia dotyczą jednak badań laboratoryjnych przedstawionych w publikacji: „*Drzewa przyuliczne jako zrównoważone oczyszczacze powietrza w miastach: metodologiczne podejście do oceny fitofiltracji cząstek stałych"* („*Street trees as sustainable urban air purifiers: a methodological approach to assessing particulate matter phytofiltration")*[1]. Niereprezentatywna ilość próbek, zastosowane procedury analityczne, w tym błędne pojęciowo i metodycznie „frakcjonowanie" pyłu zawieszonego po poborze próbek, są niezgodne z podstawowymi zasadami analizy aerozoli atmosferycznych. Liczne błędy terminologiczne, brak odniesienia do obowiązujących norm oraz procedur walidacyjnych, a także nieuprawnione wnioskowanie na podstawie uzyskanych wyników świadczą o poważnych brakach warsztatowych Doktorantki w zakresie ochrony powietrza oraz analiz środowiskowych.

W konsekwencji rozprawa nie spełnia kluczowych kryteriów stawianych pracom doktorskim, takich jak rzetelność metodologiczna, spójność koncepcyjna oraz poprawność interpretacji wyników. Pomimo aktualności podjętej tematyki, skala i charakter stwierdzonych uchybień nie pozwalają uznać pracy za samodzielne i dojrzałe osiągnięcie naukowe.

Podsumowując, z przykrością przyznaję, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Karoliny Kais pt.: „*Usługi ekosystemowe alei Warszawy"* wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. arch. kraj. Marzeny Suchockiej, prof. SGGW nie spełnia kryteriów formalnych określonych w art. 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dn. 20 lipca 2018 r. (Dz. U. 2018, poz. 1668) z późniejszymi zmianami w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

PODPIS ZAUFANY
BARBARA
KOZIELSKA
11.02.2026 10:32:09 GMT+1
Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym