

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Marcina Pawnuka pt.:
„Assessment of different odor monitoring strategies in waste management”
(„Ocena różnych strategii monitorowania zapachów
w gospodarce odpadami”)

1. Podstawa formalna recenzji

Recenzję opracowano w związku z pismem Pana dr. hab. inż. Roberta Króla, prof. PWr – Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej nr RDND08/94/2-23 z dnia 12.07.2023 roku oraz na podstawie zawiadomienia Pana prof. dr. hab. inż. Tomasza Nowakowskiego – Prorektora ds. Nauki Politechniki Wrocławskiej nr 25/07/D08/2023 z dnia 21.07.2023 roku.

2. Charakterystyka rozprawy

Recenzowaną rozprawę poświęcono zagadnieniom pięciu wybranych strategii monitoringu odorów w aspekcie ich kontrolnego zastosowania w gospodarce odpadami.

Badania prowadzono w warunkach rzeczywistych w latach 2021/2022 na terenie trzech wybranych zakładów mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów i dotyczyły one pięciu wybranych metod monitoringu odorów, tj. w szczególności trzech pomiarowych (z wykorzystaniem olfaktometrii terenowej i dynamicznej, parametrycznego z wykorzystaniem oceny intensywności odorów, lotnych związków organicznych) oraz dwóch obliczeniowych (metody interpolacji i aplikacji CALMET/CALPUFF).

Bezpośrednie metody pomiarowe takie jak: olfaktometria terenowa, pomiary intensywności zapachowej oraz lotnych związków organicznych pozwoliły oszacować zmienności emisji odorów w badanych źródłach oraz wskazać najbardziej problematyczne obszary pod względem emisji odorów i substancji odorotwórczych na terenie wybranych obiektów gospodarki odpadami. Z kolei matematyczny sposób polegający na interpolacji danych przestrzennych pozwolił na uzyskanie wyników obarczonych pewnym błędem statystycznym, ale również okazał

się pomocny zarówno w wyznaczaniu obszarów najbardziej odorogennych jak i opisie zmienności przestrzennej odorów. Natomiast wybrana numeryczna metoda przy zastosowaniu programu CALMET/CALPUFF pozwoliła na uzyskanie prawdopodobnego zasięgu oddziaływania badanego obiektu.

Na podstawie przeprowadzonych badań monitoringu odorów wykazano użyteczność w określonym zakresie każdej z przedstawionych metod pomiarowych i obliczeniowych. W szczególności wykonane analizy oraz obliczenia wskazują na istotny wpływ zmienności emisji odorów na określenie zasięgu ich rozprzestrzeniania i uzyskane rezultaty z zastosowaniem modeli dyspersji. Wykorzystane metody badawcze pozwalają wnioskować na temat zmienności emisji odorów dlatego mogą stanowić część planów zarządzania odorami.

Tekst rozprawy w łącznej liczbie 177 stron, zawarty został w 8. głównych rozdziałach. W rozprawie można wyróżnić dwie główne części – teoretyczną i badawczą. W I części teoretycznej znajduje się: wprowadzenie (rozdział 1); gospodarka stałymi odpadami komunalnymi: znaczące źródło nieprzyjemnych zapachów (rozdział 2); strategie monitorowania zapachów (rozdział 3); rozwiązania prawne w zakresie kontroli zapachów na przykładzie Polski (rozdział 4); podsumowanie przeglądu literatury (rozdział 5). Druga zasadnicza część badawcza to rozdziały prezentujące: metodologię (rozdział 6); analizę danych, wyniki i dyskusję (rozdział 7) oraz wnioski (rozdział 8). Oceniana rozprawa doktorska zawiera 178 pozycji cytowanego piśmiennictwa. Doktorant w siedmiu cytowanych publikacjach występuje jako współautor artykułów. Zakończenie rozprawy stanowi: spis tabel wraz z podpisami do 19 tabel oraz spis rysunków zawierający podpisy do 65 rysunków. Rysunki i tabele zostały w tekście prawidłowo rozmieszczone w miejscu ich omawiania.

3. Ocena celowości podjęcia tematu

Podjęcie przez Doktoranta tematu rozprawy wydaje się uzasadnione i wynika głównie ze względów użytecznych, odnoszących się do niezwykle istotnych problemów gospodarki odpadami w aspekcie emisji odorów, które nie są żadnym stopniu uregulowane prawnie. W szczególności problem dotyczy obiektywnych strategii monitoringu odorów w skali krótko i długo terminowej; określenia zmienności emisji z wybranych procesów i instalacji zlokalizowanych na terenie obiektów gospodarki odpadami; analizy wpływu podstawowych parametrów odpadów i warunków meteorologicznych na wybrane źródła emisji odorów; określenia wpływu zmienności emisji z wybranych procesów na zasięg oddziaływania zapachowego obiektów gospodarki komunalnej.

Przedstawiona w dysertacji ocena różnych strategii monitorowania zapachów w gospodarce odpadami nie była realizowana w sposób kompleksowy w warunkach w szczególności rzeczywistych-technicznych w takim zakresie pomiarowym, matematycznym oraz numerycznym. Dzięki przedstawionym metodom badawczym można wnioskować na temat zmienności emisji odorów i metody te mogą być integralną częścią planów zarządzania odorami.

4. Merytoryczna ocena rozprawy

Uwzględniając tezę i sformułowane cele, w pracy omówiono w poszczególnych rozdziałach następujące zagadnienia.

Rozdział 1 rozpoczyna wprowadzenie przedstawiające tło problemu badawczego (1.1), zawierające uzasadnienie podjęcia tematu, z którego jasno wynika, że rozwój miast i społeczeństw skutkuje również wzrostem liczby obiektów gospodarki odpadami niestety w sąsiedztwie skupisk mieszkalnych. Ogólnie pojęte obiekty gospodarki odpadami mają zarówno pozytywny jak i negatywny wpływ na środowisko. W ujęciu negatywnym wiąże się to z uwalnianiem różnych substancji między innymi do atmosfery. W efekcie wzrasta liczba skarg na ich działalność, zwłaszcza w odniesieniu do emisji odorów. Jest to problem niezwykle aktualny ale również zarządzanie i kontrolowanie wytwarzanych odpadów komunalnych jest złożonym wyzwaniem. Doktorant już na tym etapie dysertacji słusznie wskazuje rozkład biologiczny frakcji organicznej jako główną przyczynę emisji odorów oraz wymienia miejsca jej obecności w cyklu gospodarki odpadami. Nawiązując do meritum pracy wskazuje konieczność opracowania rzetelnej metody oceny emisji odorów opartej na różnych narzędziach pomiarowych i obliczeniowych. Dlatego w dalszej części ogólnie odnosi się do analizy odorów poprzez zastosowanie technik analitycznych (chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrią mas, pojedyncze czujniki gazu, matryce czujników w postaci elektronicznych nosów) i sensorycznych (olfaktometria polową i dynamiczna) ale również metod obliczeniowych (interpolacja) i modelowania numerycznego. Na tej podstawie słusznie zwraca uwagę, na problem wyboru odpowiedniej metody pomiarowej do oceny emisji odorów i substancji odorogennych z obiektów gospodarki odpadami komunalnymi. Następnie odnosi się do kwestii związanej z problemem odorów w gospodarce odpadami w aspekcie regulacji prawnych na poziomie europejskim i polskim.

W podrozdziale 1.2 Doktorant przedstawił cele badawcze, które wiązały się z udowodnieniem głównych tez pracy, tj.: (1) możliwa jest ocena wpływu obiektów gospodarki odpadami charakteryzujących się obecnością źródeł o zmiennej emisji zapachów w czasie i prze-

strzeni jednocześnie wykorzystując metody pomiarowe i obliczeniowe; (2) jedną z metod pozwalających na scharakteryzowanie źródeł emisji odorów jest olfaktometria terenowa, której zastosowanie umożliwia określenie czasowej i przestrzennej zmienności odorów na terenie obiektów gospodarki odpadami; (3) analizy zależności między stężeniem zapachów uzyskanych za pomocą olfaktometrii terenowej i pomiarów parametrycznych (intensywność zapachu), a stężeniami lotnych związków organicznych mogą odgrywać znaczącą rolę w skutecznym zarządzaniu jakością zapachową powietrza w obiektach gospodarki odpadami; (4) pomiary emisji w połączeniu z narzędziami modelowania pozwalają oszacować zakres oddziaływania zapachowego obiektów gospodarki odpadami. Aby zapewnić odpowiednią jakość wyników modelowania, konieczna jest wysoce znormalizowana parametryzacja zmienności emisji odorów; (5) stopień zmienności emisji zapachów ma znaczący wpływ na potencjalne oddziaływanie zapachowe obiektów gospodarki odpadami.

Weryfikacja przyjętych tez oraz realizacja celów wymagała podzielenia badań na etapy, co zostało szczegółowo przedstawione w podrozdziale 1.3 (Koncepcja pracy i jej struktura). Poszczególne etapy odnoszą się do oceny przydatności pięciu wybranych strategii monitorowania odorów w wybranych obiektach gospodarki odpadami.

Rozdział 2 rozpoczyna właściwy przegląd literatury, w którym Doktorant wyczerpująco charakteryzuje gospodarkę stałymi odpadami komunalnymi jako istotne źródło nieprzyjemnych zapachów.

W szczególności w podrozdziale 2.1 (Zarządzanie odpadami jako proces wieloetapowy) prezentuje złożoność gospodarki odpadami, co skutkuje wieloma źródłami odorów. Dlatego słusznie Jego zdaniem, jednym z głównych zadań w zarządzaniu odorami jest gromadzenie informacji o konkretnych systemach gospodarki odpadami i emisjach substancji zapachowych.

Logiczną konsekwencją jest podrozdział 2.2 (Przegląd gospodarki stałymi odpadami komunalnymi w Polsce) w którym na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego, szczególnie w sposób graficzny prezentuje strumień odpadów w Polsce w ostatniej dekadzie (2.2.1), w odniesieniu do masy odpadów komunalnych zebranych w Polsce oraz w poszczególnych województwach w latach 2010÷2021, jak również masę wytworzonych odpadów na mieszkańca w poszczególnych województwach w 2021 r. Doktorant potwierdził rosnącą tendencję wytwarzania odpadów komunalnych oraz istnienie korelacji pomiędzy wielkością wytwarzania odpadów oraz wielkością populacji, co w efekcie skutkowało drugim miejscem Polski w Europie pod względem ilości wytwarzanych odpadów w przeliczeniu na mieszkańca w 2021 r. W dalszej części prezentuje szczególnie graficznie skład frakcyjny odpadów (2.2.2),

zwracając uwagę na zmiany w składzie odpadów komunalnych w ostatnich latach oraz podejmując próbę wyjaśnienia mechanizmu przyczynowo-skutkowego tych zmian. W kolejnym podrozdziale przedstawił gospodarkę odpadami komunalnymi w Polsce według różnych metod przetwarzania (2.2.3), które są powiązane z dyrektywami europejskimi w sprawie odpadów i włączone do polskiego prawa. Metody te dotyczą masy odpadów komunalnych przeznaczonych do: recyklingu, kompostowania lub fermentacji, do spalania z odzyskiem energii, spalania bez odzysku energii oraz składowania. Doktorant na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego przedstawił w sposób graficzny i tabelaryczny tendencję zmian w poszczególnych metodach, słusznie wskazując istniejącą niekorzystną tendencję w gospodarce odpadami w Polsce, zwłaszcza biorąc pod uwagę odpady przetwarzane metodami, takimi jak składowanie. Wiadomo, że właściwe zaplecze techniczne odgrywa strategiczną rolę w skutecznym gospodarowaniu odpadami komunalnymi, dlatego w konsekwencji Doktorant w podrozdziale 2.2.4 odniósł się do infrastruktury zarządzania odpadami, w szczególności obejmującej kompostownie, biogazownie, spalarnie odpadów, składowiska odpadów oraz zakłady mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów. Na podstawie danych statystycznych opisał oraz zaprezentował w sposób graficzny liczby instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów, składowisk odpadów, instalacji do przetwarzania selektywnie zebranych bioodpadów oraz lokalizację spalarni odpadów w poszczególnych województwach.

Doktorant w podrozdziale 2.3 przedstawił emisje zapachów i odorantów z gospodarki odpadami komunalnymi. Na wstępie odniósł się do pierwszego etapu gospodarowania odpadami, tj. do procesów zbierania i transportu odpadów (2.3.1). Na podstawie literatury zauważył, że na tym etapie rozkład materii organicznej zawartej w odpadach komunalnych zależy głównie od składu odpadów, temperatury otoczenia oraz czasu ich przechowywania w pojemnikach. Kolejnymi wskazanymi przez Doktoranta uciążliwymi, w sensie emisji odorów elementami systemu gospodarki odpadami są stacje przeładunkowe odpadów (2.3.2), przetwarzanie odpadów w procesach mechaniczno-biologicznych (2.3.3), składowanie odpadów (2.3.4) oraz obróbka termiczna (2.3.5). W każdym z tych podrozdziałów szczegółowo opisał występujące związki odorogenne oraz wartości stężenia wybranych związków chemicznych występujących w różnej lokalizacji oraz warunkach technologicznych.

W kolejnym rozdziale 3 Doktorant opisał strategie monitorowania zapachów. Rozróżnił metody pomiarowe (3.1) oraz obliczeniowe (3.2).

W podrozdziale 3.1.1 dotyczącym klasyfikacji metod stosowanych w badaniach zapachów dostępne metody pomiarowe trafnie podzielił na dwie grupy: techniki analityczne (analiza chemiczna, chromatografia gazowa i czujniki gazu) i metody sensoryczne (olfaktometry

dynamiczne i polowe). Przedstawił ogólne definicje zapachu, odorantów oraz wskazał wady i zalety wybranych metod pomiarowych. W dalszej części w podrozdziale 3.1.2 opisał podstawowe właściwości zapachowe (charakter zapachu, intensywność i jakość hedoniczną zapachu). Na podstawie normy europejskiej zdefiniował stężenie zapachu oraz prawo Webera-Fechnera. W logicznej konsekwencji w kolejnych podrozdziałach szczegółowo opisał metody pomiarowe sensoryczne przy zastosowaniu: olfaktometrii dynamicznej (3.1.3) i terenowej (3.1.4) oraz metody pomiarowe analityczne: chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrią masową (3.1.5) i czujniki gazu (3.1.6).

W podrozdziale 3.2 odniósł się do metod monitorowania rozprzestrzeniania odorów przy zastosowaniu numerycznego modelowania dyspersji zapachów (3.2.1) oraz interpolacji przestrzennej (3.2.2). Numeryczne modelowanie dyspersji zapachów (3.2.1) jest szeroko używane do oceny wpływu obiektów emitujących zapachy. Doktorant ogólnie opisał wskazując wady i zalety popularnych modeli (gaussowskiego, lagranżowskiego i eulerowskiego). Przedstawił również interesującą metodę interpolacji przestrzennej (3.2.2) zwracając szczególnie uwagę na odwrotną metodę ważonej odległości. Słusznie wskazał, iż metody te różnią się stopniem zaawansowania w parametryzacji poszczególnych danych wejściowych, między innymi parametrów meteorologicznych, topograficznych i emisyjnych. Aplikacje komputerowe wykorzystujące te metody, funkcjonują w większości w oparciu o sposób tzw. „czarnej skrzynki”. Użytkownik wprowadza do aplikacji szereg danych wejściowych, następnie program (skompiłowany do postaci wykonywalnej) wg określonego algorytmu (w większym lub mniejszym stopniu jawnego publicznie) wyprowadza wyniki obliczeń. Dlatego bez znajomości algorytmu działania aplikacji, należy z ograniczonym zaufaniem podchodzić do wyników obliczeń generowanych przez takie programy.

Z kolei w rozdziale 4 Doktorant odniósł się do rozwiązań prawnych w zakresie kontroli zapachów na przykładzie Polski. Już na wstępie podkreślił, że w polskim prawodawstwie brak jest wyraźnych przepisów prawnych dotyczących emisji odorów z obiektów gospodarki odpadami. Słusznie zwrócił uwagę, że istnieje jedynie kilka dostępnych przepisów związanych z emisją odorów. Ze względu na członkostwo Polski w Unii Europejskiej odniósł się również do obowiązujących norm europejskich.

Rozdział 5 stanowi interesujące podsumowanie przeglądu literatury, zaprezentowane w postaci czterech punktów i wynikające bezpośrednio z wcześniej przedstawionego materiału. Przegląd literaturowy jest przejrzysty i logicznie skonstruowany. Doktorant w sposób wyczerpujący odniósł się w realizowanej tematyce do aktualnej literatury zarówno zagranicznej jak i polskiej.

Rozdział 6 (Metodologia) stanowi wstęp do właściwej części badawczej. W podrozdziale 6.1 Doktorant czytelnie przedstawił przyjęte cele badawcze oraz ogólnie pięć głównych strategii monitoringu odorów, które wykonano w trzech różnych zakładach zagospodarowania odpadów komunalnych. W kolejnych podrozdziałach Doktorant szczegółowo przedstawił zakres prac związanych z realizacją badań w ramach poszczególnych strategii. Podrozdział 6.1.1 dotyczy strategii nr 1 i obejmuje serię pomiarów stężenia zapachowego z wykorzystaniem techniki olfaktometrii terenowej na terenie obiektu nr 1, gdzie wybrano 35 punktów pomiarowych zlokalizowanych w części na otwartej przestrzeni (22 punkty) oraz w części wewnątrz budynków technologicznych (13 punktów). Dlaczego zostały one uznane za reprezentatywne dla całego obiektu? Z uwagi na zastosowane metody numeryczne czy nie lepiej stworzyć powierzchnię składającą się z siatki równych odległości pomiędzy punktami pomiarowymi? Kolejna druga strategia oparta o metodę odwrotnej interpolacji ważonej odległością została przedstawiona w podrozdziale 6.1.2. Tym razem wybrano 22 punkty pomiarowe zlokalizowane na otwartej przestrzeni na terenie również obiektu nr 1. W kolejnym podrozdziale 6.1.3. Doktorant przedstawił strategię w celu określenia korelacji pomiędzy intensywnością zapachu, a jego stężeniem. Tym razem prawo Webera-Fechnera zostało wykorzystane do oceny jego przydatności do obliczania stężeń zapachów na podstawie wartości intensywności. Również i w tym przypadku punkty pomiarowe zlokalizowane są na terenie obiektu nr 1. Odmienna sytuacja ma miejsce w ramach kolejnej strategii przedstawionej w podrozdziale 6.1.4, w której Doktorant wziął pod uwagę wszystkie trzy rozpatrywane obiekty gospodarki odpadami. Tym razem badania dotyczyły oceny korelacji pomiędzy stężeniem lotnych związków organicznych, a stężeniem odorów mierzonych metodą olfaktometrii polowej oraz oceny przydatności tego typu pomiarów w monitoringu odorów. Na terenie obiektu nr 1 badania realizował dwukrotnie w okresie jesienno-zimowym w 35 punktach pomiarowych. Natomiast w obiekcie nr 2 badania wykonał jesienią tylko raz w 21 punktach pomiarowych, a w przypadku obiektu nr 3 pomiary zostały przeprowadzone jesienią w dwóch różnych dniach w 26 punktach pomiarowych. Ostatnia piąta strategia przedstawiona w podrozdziale 6.1.5 została opracowana do scharakteryzowania zasięgu możliwego oddziaływania zapachowego obiektu nr 1, przy założeniu stałych i zmiennych emisji ze źródeł. Modelowanie wykonał w aplikacji CALMET/CALPUFF.

Doktorant w kolejnym podrozdziale 6.2 opisał szczegółowo wybrane trzy zakłady mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów. Dołączył czytelne grafiki przedstawiające mapy: obiektów z zaznaczonymi głównymi instalacjami i obszarami zainteresowania Doktoranta, lokalizacji punktów pomiarowych oraz w przypadku obiektu nr 1 wybranych źródeł odorów wykorzystanych w modelowaniu dyspersji odorów w programie CALMET/CALPUFF

wraz z lokalizacją punktów poboru próbek do dynamicznych pomiarów olfaktometrycznych.

Konsekwencją logiczną prezentacji metody badań, jak również szczególnym rozwinięciem rozdziału 3 (strategie monitorowania zapachów) jest kolejny podrozdział 6.3 dotyczący opisu stosowanych metod pomiarowych i ich zastosowania w badaniach. Doktorant w podrozdziale 6.3.1 zaprezentował szczegóły określania stężenia zapachowego za pomocą olfaktometrii polowej, w podrozdziale 6.3.2 opisał intensywność zapachu jako przykład pomiarów parametrycznych, w podrozdziale 6.3.3 sposób pomiarów lotnych związków organicznych, a w podrozdziale 6.3.4 metodę poboru próbek i określania stężenia zapachu na potrzeby olfaktometrii dynamicznej.

Doktorant monitorował również w trakcie pomiarów warunki pogodowe. Badanymi parametrami były: temperatura i wilgotność względna powietrza oraz prędkość i kierunek wiatru. Szczegóły zakresów pomiarowych prezentuje podrozdział 6.4.

Podrozdział 6.5 dotyczy szczegółowego opisu wybranych metod modelowania danych, w szczególności w odniesieniu do odwrotnej metody interpolacji ważonej odległością (podrozdział 6.5.1) gdzie Doktorant wykorzystał program ArcGIS Pro oraz do modelowania dyspersji zapachów (podrozdział 6.5.2) w aplikacji CALMET/CALPUFF. W tym przypadku słusznie zwrócił uwagę na dużą liczbę wymaganych wejściowych parametrów zmiennych niezależnych, koniecznych do wykonania obliczeń w trakcie modelowania.

Doktorant w rozdziale 7 zaprezentował wyniki i analizę danych. W odniesieniu do strategii nr 1 dotyczącej pomiarów olfaktometrycznych w terenie (7.1) opisał otrzymane wyniki na zewnątrz (7.1.1) oraz wewnątrz budynków technologicznych (7.1.2). Następnie odniósł się do zmienności stężeń zapachów w obiekcie nr 1 (7.1.3) korzystając z podstawowych statystyk w postaci: średnich wartości stężenia zapachu, odchylenia standardowego, mediany oraz maksymalnej i minimalnej wartości stwierdzonych stężeń zapachu. Stwierdził, co oczywiste, że wartości stężeń odorów są skorelowane z lokalizacją punktów pomiarowych oraz bliskością potencjalnych źródeł odorów. W kolejnym podrozdziale 7.1.4 przedstawił badania korelacji pomiędzy stężeniem zapachu, a warunkami meteorologicznymi. Co interesujące stwierdził, że nie ma wyraźnej sezonowości w średnich wartościach dla obiektu nr 1 w poszczególnych miesiącach. Na podstawie wykonanych badań oraz obliczeń statystycznych, również stwierdził, że pomiędzy wartościami temperatury czy też wilgotności względnej, a średnimi stężeniami zapachów nie występuje wyraźna korelacja. Być może należało uwzględnić kierunek i siłę wiatru? Doktorant podsumowanie strategii nr 1 przedstawił w podrozdziale 7.1.5, celnie zwracając uwagę na ubogą literaturę dotyczącą pomiarów stężenia zapachowego w zakładach mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów przy użyciu olfaktometrii terenowej i szeroki

zakres zmienności badanych parametrów zmiennych wynikowych. Doktorant zadał sobie pytanie: „czy możliwe jest uzyskanie bardzo podobnych wyników w różnych zakładach mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów?”, na które prawidłowo odpowiedział, że na podstawie wykonanych badań oraz dostępnej literatury nie możliwe jest uzyskanie takich wyników. Również i w tym miejscu podjął udaną próbę przedstawienia mechanizmu przyczynowo-skutkowego stwierdzonych zmian wartości badanych parametrów zmiennych niezależnych i wynikowych. Doktorant podsumowując słusznie stwierdził, że olfaktometria terenowa może być jednym z narzędzi wykorzystywanych przy rozwiązywaniu problemów związanych z odorami w tego typu obiektach.

W odniesieniu do strategii nr 2 polegającej na interpolacji danych (7.2) Doktorant opisał rozkład przestrzenny danych dotyczących zapachów (7.2.1) w podziale na sześć zakresów. Wyniki obliczeń przedstawił w czytelnej postaci graficznej rozkładu stężeń odorów w poszczególnych dniach pomiarowych w granicach obiektu nr 1 uzyskanych metodą interpolacji odwrotnej ważonej odległością oraz w postaci róży wiatrów opracowaną na podstawie pomiarów własnych przeprowadzonych w dniach badań. W dalszej części w podrozdziale 7.2.2 przedstawił wyniki wykonanej walidacji krzyżowej, w wyniku której stwierdził, że we wszystkich przypadkach formuła interpolacji powoduje zwiększenie stwierdzonych wartości. Również i w przypadku tej strategii nie udało się Doktorantowi stwierdzić związku między rozkładem zapachu, a wzorcami wiatru. Również i w tym miejscu podjął próbę przedstawienia mechanizmu przyczynowo-skutkowego stwierdzonych zmian wartości wynikowych przy zastosowaniu metody odwrotnej interpolacji ważonej odległością (podrozdział 7.2.3). Być może proste metody aproksymacji np. wielomianowej umożliwiłyby uzyskanie dokładniejszego dopasowania? Finalnie stwierdził, że w rozpatrywanym aspekcie interpolacja metodą odwrotnej ważonej odległości jest dyskusyjna. Jednak zdaniem Doktoranta można ją stosować do identyfikacji obszarów dotkniętych zapachami.

Strategia nr 3 przedstawiona w podrozdziale 7.3 polegała na znalezieniu zależności pomiędzy stężeniem i intensywnością zapachu. Dlatego na wstępie Doktorant w podrozdziale 7.3.1 opisał i przedstawił graficznie rozkład intensywności zapachu na terenie obiektu nr 1 na podstawie 11-miesięcznego okresu pomiarowego. Podstawowe analizy statystyczne danych dotyczących wartości stężenia i intensywności zapachu zaprezentował w podrozdziale 7.3.2. Odniósł się do rozrzutu danych zmierzonych podczas okresu badań, a w szczególności różnych wartości intensywności dla danego stężenia zapachu. Aby ocenić statystyczną zależność między rozpatrywanymi parametrami przeprowadził testy statystyczne (Sha-

piro-Wilka, współczynnik korelacji Spearmana), na podstawie których stwierdził istnienie korelacji monotonicznej. Na tej podstawie w podrozdziale 7.3.3 przedstawił obliczenia wartości współczynników równania Webera-Fechnera w postaci liniowej oraz klasycznej dla różnych zakresów danych wejściowych. Podsumowanie tej strategii Doktorant przedstawił w podrozdziale 7.3.4. Słusznie zwrócił uwagę na duże wartości wykorzystanych współczynników statystycznych, będące potwierdzeniem istotnej korelacji pomiędzy stężeniem i intensywnością zapachu, a w szczególności wykonanych pomiarów wielopunktowych i badań długoterminowych. Doktorant również i w przypadku tej strategii odniósł się zarówno do jej zalet i wad. Słusznie wskazał, że określanie stężeń zapachów na podstawie zmierzonych wartości intensywności może być użytecznym narzędziem, gdy dostępne są jedynie ograniczone pomiary olfaktometryczne w terenie. Jak również stwierdził, że pomimo niedokładnego obliczenia stężeń na obu końcach zakresu pomiarowego, metoda ta może być wykorzystywana jako narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji.

Strategia nr 4 przedstawiona w podrozdziale 7.4 dotyczyła w szczególności stwierdzenia korelacji pomiędzy stężeniem lotnych związków organicznych i stężeniem zapachu (7.4.1). Doktorant w czytelny graficzny sposób przedstawił rozkład stężeń odorów i lotnych związków organicznych oraz wykres zmiany wartości stężenia lotnych związków organicznych w zależności od wartości logarytmu stężenia zapachu w danych dniach pomiarowych w obiekcie nr 1, 2 i 3. W celu oceny stopnia korelacji między wartościami stężenia zapachów i lotnych związków organicznych wykorzystał współczynnik Spearmana, uzyskując wartości świadczące o istotnej korelacji. W podsumowaniu tej strategii Doktorant (podrozdziale 7.3.4) prawidłowo wnioskował, iż terenowe pomiary olfaktometryczne w połączeniu z sensorowymi pomiarami np. stężeń lotnych związków organicznych, pozwalają uzyskać informację o źródłach odorów.

W odniesieniu do przedstawionej w podrozdziale 7.5 strategii nr 5 dotyczącej zastosowania modelowania dyspersji zapachów w oparciu o aplikację CALMET/CALPUFF, Doktorant na wstępie opisał schemat obliczeń (7.5.1) w oparciu o: dwa wspomniane wcześniej scenariusze i przyjęte założenia upraszczające. W dalszej części (7.5.2) zaprezentował w postaci tabelarycznej wyniki badań przy zastosowaniu olfaktometrii dynamicznej wybranych obszarowych źródeł odorów w obiekcie nr 1. Dodatkowo dokonał analizy stwierdzonych wartości ekstremalnych oraz sezonowej korelacji wartości odorów w wybranych obiektach gospodarki odpadami. Aplikacja CALMET/CALPUFF wymagała wprowadzenia wartości emisji z wybranych źródeł zapachów, dlatego w podrozdziale 7.5.3 Doktorant opisał między innymi sposób obliczeń wskaźników emisji ze źródeł powierzchniowych oraz punkowych. Z uwagi na wspomniane różne scenariusze modelowania w podrozdziale 7.5.4 przedstawił metodę określania

zmienności emisji zapachu. W pierwszym scenariuszu w uproszczeniu przyjął tryb pracy każdego emitora równy 8760 h (1 rok) bez żadnych zmian emisji w tym czasie. W drugim scenariuszu czas pracy oraz wartość współczynnika dyfuzji przyjął na podstawie własnych założeń upraszczających. Wybrana aplikacja wymagała również wprowadzenia informacji o parametrach emitera, dlatego w podrozdziale 7.5.5 przedstawił czytelnie te informacje w postaci tabelarycznej. Aby modelowanie było możliwe należało również określić siatkę obliczeniową (7.5.6), którą Doktorant przygotował w trzech różnych wariantach. W dysertacji w sposób graficzny przedstawił siatki obliczeniowe określone na potrzeby obliczeń aplikacji CALMET oraz siatkę punktów receptorów. Wyniki modelowania dyspersji zapachów dla rozważanych scenariuszy prezentuje podrozdział 7.5.7, w szczególności wykresy maksymalnych wartości stężeń jednogodzinnych w przyjętej siatce obliczeniowej. Doktorant na podstawie analizy modelu stwierdził znacznie niższe maksymalne stężenia jednogodzinne w przypadku drugiego scenariusza na rozpatrywanym obszarze, jak również Jego zdaniem lepszym wskaźnikiem do oceny potencjalnego wpływu zapachowego obiektu na np. obszary mieszkalne jest wykorzystanie liczby godzin w roku podczas których wartość stężenia w danym punkcie siatki obliczeniowej jest powyżej progu detekcji zapachu. Podsumowując w podrozdziale 7.5.8 Doktorant potwierdził, również na podstawie dostępnej literatury, że prawidłowy dobór danych wejściowych jest istotny w celu uzyskania jakościowo poprawnych wyników każdego modelowania numerycznego. Dlatego też obliczone wskaźniki emisji odorów należy traktować jako specyficzne dla konkretnego obiektu. Natomiast jak wynika z badań przyjęcie stałej emisji odorów może skutkować znacznymi błędami.

W ocenie recenzenta Doktorant podjął się wykonania wielu czasochłonnych i trudnych metodycznie badań w szczególności w warunkach rzeczywistych. Przeprowadzone eksperymenty oraz dokonana weryfikacja uzyskanych wyników w oparciu o literaturę, pozwoliły Doktorantowi na wyciągnięcie właściwych dziewięciu precyzyjnych wniosków końcowych, które przedstawił w rozdziale 8. W konsekwencji można stwierdzić, że rezultaty badań i wynikające z nich wnioski w pełni dowodzą słuszności tez przyjętych w niniejszej dysertacji.

Reasumując merytoryczną ocenę rozprawy stwierdzam, że Pan mgr inż. Marcin Pawnuk prawidłowo rozwiązał problem naukowy oceny różnych strategii monitorowania zapachów w zakładach mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów w zakresie sformułowanym w tezie rozprawy.

Zarysowane cele pracy zostały zrealizowane. Podejście do tematyki, znajomość oprogramowania (ArcGIS Pro, CALMET/CALPUFF) oraz metod badawczych świadczą o osiągnięciu przez Doktoranta poziomu dojrzałości naukowej i uzasadniają postawienie wniosku

o opanowaniu umiejętności samodzielnego rozwiązywania problemów naukowych. Ponadto Doktorant wykazał, że korzystając z wiedzy teoretycznej w dyscyplinie badań jest zdolny do samodzielnej pracy naukowej, o czym świadczy rozwiązanie szeregu zagadnień związanych z pomiarem oraz analizą czynników, które warunkują prawidłową ocenę różnych strategii monitorowania zapachów w zakładach mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów.

Podczas czytania i analizowania treści rozprawy nasunęły się również inne uwagi redakcyjne oraz dyskusyjne, które nie wpływają na obniżenie wartości merytorycznej rozprawy.

Wybrane uwagi w odniesieniu do poszczególnych punktów przedstawiam poniżej:

- pkt 6.1 – czy Doktorant rozważał inne strategie? W jaki sposób wybrał (czym się kierował) obiekty do badań?
- pkt 6.1.1 – na jakiej podstawie Doktorant uznał wybrane punkty oraz daty pomiarów za reprezentatywne?
- pkt 6.2.1 (6.3.1, 7.1.3 i inne) – „biofiltr” jest nieprecyzyjnym określeniem urządzenia, ponieważ likwidacja odorów zachodzi w procesie adsorpcji, a nie filtracji. Ogólnie filtrację definiuje się jako proces zatrzymywania fazy stałej w wolnych przestrzeniach warstwy porowatej.
- pkt 6.4 – czy zabudowania wpływały na pomiar prędkości i kierunku wiatru?
- pkt 6.5.1 – czy Doktorant oprócz zastosowanej interpolacji rozważał inne metody matematyczne, np. aproksymację wielomianową, potęgową, itp.?
- pkt 6.5.2 – dlaczego Doktorant wybrał program CALMET/CALPUFF?
- pkt 7.1.1 – czy wystąpiła korelacja pomiędzy kierunkiem wiatru i wartością stężenia zapachu?
- pkt 7.1.4 – błędny odnośnik do rysunku 1 i 2. W tabeli 9 wartości podawane z różną dokładnością (w części do 2. miejsc po przecinku, a raz do 3. miejsc po przecinku). Podobnie w tabeli 13 (pkt 7.3.3) w części do 1. miejsca, a w części do 2. miejsc po przecinku.
- pkt 7.3.2 – w dysertacji separatorem dziesiętnym używanym do oddzielenia części całkowitej od części ułamkowej w zapisie liczby powinna być kropka, a w tabeli 11 wartości zapisane z kropką, a tekście z przecinkiem.
- pkt 7.3.3 – w formułach matematycznych (14, 15 i 16) wartości współczynników zapisane do piątego miejsca po przecinku. Czy była potrzeba takiej dokładności?
- pkt 7.3.4 – czy Doktorant rozważał opracowanie równań np. intensywności zapachu w funkcji stężenia zapachu, temperatury i prędkości wiatru $I=f(c,T,v)$ lub podobnych parametrów?

– pkt 7.5.4 – błędny odnośnik do tabeli – jest 14, a powinno być 17.

5. Wniosek

Przedstawiona przez Pana mgr. inż. Marcina Pawnuka rozprawa doktorska pt.: „Ocena różnych strategii monitorowania zapachów w gospodarce odpadami” – spełnia ustawowe i zwyczajowe kryteria stawiane rozprawom doktorskim.

Doktorant wykonał wielu czasochłonnych i skomplikowanych metodycznie badań w warunkach rzeczywistych, zweryfikował uzyskane wyniki oceny różnych strategii monitorowania zapachów w zakładach mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów.

Wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony oraz wyróżnienie recenzowanej dysertacji.




Koszalin, wrzesień 2023 roku

Uzasadnienie wniosku o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Pawnuka

Recenzowana praca pana mgr. inż. Marcina Pawnuka podejmuje bardzo aktualne problemy w dziedzinie inżynierii środowiska dotyczące strategii monitoringu odorów w aspekcie ich kontrolnego zastosowania w gospodarce odpadami. Na podkreślenie zasługuje szeroki zakres przeprowadzonych badań zarówno laboratoryjnych jak i w skali rzeczywistej. Eksperyment badawczy został bardzo precyzyjnie zaplanowany i wykonany. Uzyskane wyniki zostały poddane numerycznemu modelowaniu i w konsekwencji Doktorant przedstawił szczegółowe wnioski. Moim zdaniem jednym z najistotniejszych osiągnięć Doktoranta była szczegółowa analiza wad i zalet realnych do zastosowania w warunkach rzeczywistych strategii monitoringu odorów z obiektów gospodarki odpadami. Warta podkreślenia w tym zakresie jest przeprowadzona ocena możliwości walidacji wyników rozprzestrzeniania się odorów bazująca na wyznaczonych przez Doktoranta wskaźnikach emisji, za pomocą pomiarów imisyjnych z wykorzystaniem olfaktometrii terenowej. Na uwagę zasługuje również ta część pracy doktorskiej, która została poświęcona analizie zależności między stężeniem zapachowym uzyskanym metodą olfaktometrii terenowej a intensywnością zapachu. W wyniku przeprowadzonych prac mgr inż. Marcin Pawnuk zarekomendował ich zamienne stosowanie jako narzędzia do określania zmienności emisji zapachów i identyfikacji obszarów poddanych oddziaływaniu zapachowemu. Zaproponowanie takiego podejścia pozwala na uproszczenie pomiarów, a uzyskane dane mogą nieść ze sobą pozytywną wartość, szczególnie dla osób zarządzających zakładami zagospodarowania odpadów. Dotyczy to zwłaszcza konieczności podjęcia szybkich działań w celu ograniczenia emisji odorów z konkretnych lokalizacji instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów, szczególnie podczas tzw. epizodów odorowych. Dodatkowo, wyniki badań własnych Doktoranta wskazują na dalsze potencjalne kierunki, które umożliwią poszukiwanie bardziej złożonych algorytmów.

Na podkreślenie zasługuje również dorobek publikacyjny Doktoranta wykraczający znacznie poza temat rozprawy doktorskiej. Publikacje były wynikiem współpracy naukowej, między innymi z pracownikami Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej. Jest współautorem 12. publikacji w wysoko punktowanych czasopismach. O wysokim poziomie pracy naukowej Doktoranta świadczy wartość Indeksu Hirscha wynosząca 5 oraz liczba cytowań publikacji która wynosi 51 (według danych z września 2023 roku).

W związku z powyższym wnioskuję o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Marcina Pawnuka.



12.09.2023