

Prof. dr hab. Piotr A. Werner
Uniwersytet Warszawski
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
peter@uw.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Damiana Mazurka
Metodyczne ujęcie modelowania przepływu zasobów w kontekście ich regionalizacji na przykładzie
wybranych strumieni odpadów komunalnych

Formalną podstawą recenzji jest uchwała nr 24/2025 z dn. 10 grudnia 2025 Rady Naukowej Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. S. Leszczyckiego PAN w sprawie powołania recenzentów w postępowaniu o nadanie stopnia doktora. Recenzję napisano na podstawie wydrukowanego maszynopisu oraz udostępnionego tekstu w postaci pliku w formacie PDF.

Sformułowany tytuł rozprawy doktorskiej autorstwa mgr Damiana Mazurka, przygotowanej pod kierunkiem dr hab. Wojciecha Pionka, prof. AGH w Krakowie oraz (jako promotora pomocniczego) dr Marcina Mazurka, dotyczy problemu systematycznych aspektów metod modelowania interakcji przestrzennych, wiążąc je z konkretnym przykładem problemu zagospodarowania (wybranych) strumieni odpadów komunalnych i sytuując w kontekście organizacji przestrzennej (regionalnej). Zasięg przestrzenny pracy dotyczy całej Polski, a studium przypadku dotyczy ekonomii i organizacji, oraz modelowania zasięgów, wolumenu i kierunków przepływów strumieni odpadów komunalnych zmieszanych, ukierunkowanych od obszarów zabudowanych do obiektów – instalacji przetwarzania odpadów komunalnych zmieszanych. W tym kontekście recenzowana rozprawa jest transdyscyplinarna. Podejście badawcze integruje, (co najmniej) trzy naukowe dyscypliny z dziedziny nauk społecznych: geografii społeczno-ekonomiczną i gospodarkę przestrzenną, ekonomię (ekonometrię) i zarządzanie, ale zagadnienia związane z gospodarowaniem odpadami komunalnymi obejmują szeroki zakres interdyscyplinarnej problematyki badawczej, która została wyczerpująco omówiona w rozprawie (w rozdz. 2). Istotne znaczenie jednak przypisano szczególnie znaczeniu i roli regionów w gospodarowaniu odpadami, o czym świadczy dyskursywny, kompleksowy i gruntowny przegląd literatury geograficznej przedmiotu (umieszczony na początku rozprawy w rozdz. 1).

Właściwy tekst rozprawy obejmuje 233 strony i podzielony jest na sześć części. Oprócz wstępu i wspomnianych wyżej rozdziałów ($\frac{1}{3}$ tekstu), zawiera opis metodyki badań empirycznych (w rozdz. 3, $\frac{1}{3}$ tekstu) oraz przedstawienie wyników modelowania i ich syntezę (rozdz. 4). Rozprawę kończy część nazwana *Podsumowania i rekomendacje*. W tekście pracy zawarto 112 rycin, 8 tabel oraz dwa aneksy. Aneks A zawiera dodatkowo 134 mapy, opracowania własne kartograficznych zobrazowań wyników modelowania. Aneks B – zestawienie tabelaryczne statystyk opisowych 58 wygenerowanych modeli. Bibliografia liczy ogółem ok. 250 pozycji (oraz 30 aktów prawnych i 6 witryn internetowych), w tym ok 70% publikacji w języku angielskim, a pozostałe w języku polskim i pojedyncze w języku francuskim i niemieckim.

Za ogólny cel badawczy Doktorant przyjął problem optymalizacji kosztów przepływu odpadów w skali krajowej oraz hierarchizacji wybranych, zidentyfikowanych czynników wpływających na gospodarkę odpadami. Uszczegółowienie celu polegało na sformułowaniu pięciu szczegółowych pytań badawczych dotyczących wpływu różnych czynników na zastany i prognozowany rozkład i zróżnicowanie przestrzennego gospodarowania odpadami zmieszanyymi w Polsce oraz na *sumaryczny koszt transportu odpadów* (str. 10). Szczegółowe pytania badawcze dotyczyły:

- i. *wplywu sieci transportowej (faktycznie w rozprawie – sieci drogowej);*
- ii. *wplywu prognozowanych przekształceń społeczno-demograficznych w poszczególnych gminach (w perspektywie roku 2030);*
- iii. *wplywu „perspektywy optymalizacji”, który można rozumieć jako stopień centralizacji zarządzania organizacją gospodarowania odpadami;*
- iv. *wplywu (zamodelowanych) parametrów funkcji oporu przestrzeni (uwzględniających akceptację dłuższych tras przewozu odpadów zmieszanych i jakość sieci drogowej);*
- v. *porównania i oceny wygenerowanych modeli optymalizacyjnych pod względem sumarycznych kosztów systemu (DC, Distribution Cost) oraz w kategorii sprawiedliwości przestrzennej;*

zróźnicowania jednostkowych kosztów transportu, *CV* – *Coefficient of Variation*); w oryginale: „relacji między porównywanymi modelami optymalizacyjnymi...”.

Kluczowa dla całej rozprawy jest narracja uzasadniająca konstrukcję modeli i interpretację ich zamodelowanych (oszacowanych) poszczególnych parametrów. W swoim opisie Doktorant nawiązuje do kanonicznych modeli (Webera, Christallera, Isarda i Löscha) wykorzystywanych w geografii i ekonomii, uznając za kluczową zoptymalizowaną „organizację czasu i przestrzeni” i przypisując jako główne atrybuty jej optymalizacji efektywność i sprawiedliwość przestrzenną (traktując je jako zmienne zależne: DC i CV). Kreuje do tego celu różne warianty modeli, wykorzystując metody matematyczne (simpleks, deterministyczne) i statystyczne (interakcji przestrzennych, probabilistyczne), wiążąc je także w dyskursie z ideą gospodarki cyrkularnej (zamkniętego obiegu), uwzględniając aspekty ekologiczne oraz (rozszerzonej) społecznej odpowiedzialności producenta (w tym przypadku firm przetwarzania odpadów zmieszanych). W celu systematycznego uporządkowania zmiennych niezależnych w modelowaniu Doktorant pogrupował je w kategorie nazwane *komponentami modeli optymalizacyjnych* (formalny, oporu przestrzeni, społeczno-demograficzny, infrastrukturalny). Meta-informacyjna klasyfikacja czynników realizowała cel usystematyzowania dalszych analiz oprócz osobno zdefiniowanego *komponentu dostępnościowego* (str.103-104).

Podstawą teoretyczną rozprawy jest powiązanie koncepcji przestrzeni przepływów i regionów węzłowych. To wymagało systematycznego i dogłębnego przeglądu literatury geograficznej i ekonomicznej (w rozdz. 1, z wykorzystaniem metodyki PRISMA; str.21 w rozprawie). Niewątpliwie znaczącym osiągnięciem teoretycznym jest (zdaniem recenzenta) opracowanie własne: opis, przedstawienie i schemat (Ryc. 1) porządkujący podział podejść i koncepcji pojmowania pojęcia region oraz (w podrozdziale 1.2) ulokowanie w jednym spójnym kontekście teorii regionów węzłowych, przestrzeni przepływów (M. Castellsa), teorii ośrodków centralnych (Christallera) i wiążąc je z teoretycznym uzasadnieniem celu badań geograficznych człowiek-środowisko oraz triadyczną genezę (E.L. Ullmana w geografii transportu) kreowania interakcji przestrzennych jako pochodnych: *komplementarności, przenośności i sposobności (szans) pośrednich (complementarity, transferability, intervening opportunities)*. Te rozważania przeniosły dyskurs Doktoranta (na str. 34-35) na poziom refleksji filozoficzno-epistemologicznej dotyczącej przestrzeni absolutnej, relatywnej i relacyjnej.

Metodologia badań polegała na wykreowaniu różnych wariantów modeli, *simpleks i grawitacyjnych* (wg terminologii Doktoranta), na podstawie dyskretnego modelu przestrzeni gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce. Przedstawienie tych bazowych modeli (w podrozdziale 1.3) jest wyczerpujące z punktu widzenia przeglądu literatury przedmiotu ekonomii i geografii transportu. Wprawdzie Doktorant nie podkreślił różnicy dotyczącej ich operacjonalizacji, może dlatego, że modele interakcji przestrzennych rozwijały się początkowo w oparciu o badania empiryczne rozwoju miast i dojazdów do pracy (do których w tekście rozprawy nawiązuje wykorzystanie analogii terminu zlewni migracyjnej). Twórca metody, A.G. Wilson, rozwijał stosowane przez geografów uproszczone modele grawitacyjne, tworząc całą rodzinę modeli interakcji przestrzennych, bazując na koncepcji *intervening opportunities (szans pośrednich)*, stosując (probabilistyczną) zasadę maksymalizacji entropii – w celu uzyskania najbardziej prawdopodobnego stanu przy określonych warunkach brzegowych (w przeciwieństwie do modeli grawitacyjnych analogicznych do fizyki mas Newtona). Ale sama operacjonalizacja obu modeli w rozprawie jest zgodna z paradygmatem stosowania tych modeli w badaniach geograficznych.

Dane źródłowe wykorzystane w rozprawie (zebrane przez GUS) o rzeczywistej emisji strumieni odpadów zmieszanych i segregowanych w gminach obejmują 2021 rok, a dane o lokalizacji i mocy przerobowej instalacji (GUS i na podstawie planów gospodarki odpadami województw) – 2020. Wykorzystywane uzupełniające dane – czynników warunkujących masę generowanych odpadów zmieszanych: demograficzne (GUS, wg gmin i w siatce kilometrowej), zabudowy (GUGiK), sieci drogowej (GUGiK), granic administracyjnych i rejonów gospodarki odpadami komunalnymi (GUGiK i plany gospodarkami odpadami województw) – dotyczą 2021 roku. W rozprawie zastosowano także prognostyczne dane demograficzne GUS dla 2030 roku. Dodatkowo w rozprawie wykorzystano wcześniej zamodelowane dane transportowe (w modelach opracowanych przez IGiPZ PAN dla 2021 roku) dotyczące czasu przejazdów między- i wewnątrzgminnych. Ponadto w trakcie badań analitycznych Doktorant wytworzył i zamodelował zbiory danych przestrzennych (bazując na danych źródłowych) w pośrednim celu uzyskania dyskretnego modelu obszaru badań przestrzeni gospodarowania odpadami w Polsce, a w ostatecznym celu – oszacowania wolumenów strumieni

przepływów zmieszanych odpadów komunalnych pomiędzy gminami i instalacjami oraz oceny ich wolumenów, sumarycznych kosztów dystrybucji (DC) i ich zróżnicowania (CV).

Dane źródłowe dotyczące ilości odpadów wg gmin zostały skorygowane przy wykorzystaniu wielozmiennej analizy regresji wielokrotnej dla zmiennych niezależnych: liczby mieszkańców gmin, struktury wiekowej, liczby turystów oraz rodzaju zabudowy mieszkaniowej: „celem (...) otrzymania danych teoretycznych o ilości odpadów dla roku 2021 oraz 2030” (str. 135). Uzasadnieniem tej procedury w badaniach jest poddanie w wątpliwość „wiarygodności dostępnej publicznie informacji w zakresie ilości wytwarzanych odpadów” (str. 20). To oznacza, że zbiór danych referencyjnych wolumenu i strumieni odpadów zmieszanych jest także traktowany jako jeden z wariantów teoretycznych modelowania – bazowy model operacyjny. Taki zabieg, polegający na zastosowaniu w badaniu pewnego sztucznie skonstruowanego obiektu, konstruktu statystyczno-matematycznego, modelu operacyjnego, który jest wyposażony we własności upodabniające go po pewnymi względami do rzeczywistego przedmiotu badań jest często stosowany.

Fundament modelu operacyjnego, **dyskretny model przestrzeni gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce** to zbiór klastrów zgeneralizowanych lokalizacji punktów emitentów odpadów zmieszanych¹. Tym punktom możliwe było przypisanie zagregowanych jednoznacznych atrybutów: mas emitowanych odpadów zmieszanych (z uwzględnieniem struktury wiekowej ludności i rodzaju zabudowy) w granicach gmin. Drugim elementem modelu są zgeneralizowane lokalizacje punktów instalacji przetwarzania odpadów zmieszanych – w środku ciężkości zabudowy gmin, w którym funkcjonują i są zlokalizowane (jeden w gminie). Tym punktom przypisano z kolei atrybut sumarycznej wielkości mocy przerobowych. Dzięki takiej procedurze powstał zbiór grafów skierowanych, których krawędzie łączą klastry punktów emitentów z adekwatnymi punktami lokalizacji instalacji. Poszczególnym krawędziom także przypisano atrybuty: kierunek przepływu i ilość przetransportowanych odpadów zmieszanych. Dodatkowo każdej krawędzi przypisano zamodelowane dodatkowe atrybuty „uogólnionego kosztu podróży” mierzone: odległością geodezyjną w km⁽ⁱⁱ⁾, zmierzoną najkrótszą odległością w rzeczywistej sieci drogowej w km, czasem przejazdu (oraz oszacowanej dodatkowo średniej prędkości przejazdu).

Model uzupełniają granice administracyjne województw i gmin oraz granice regionów gospodarki odpadami komunalnymi (RGOK), które stanowią nieprzekraczalne bariery dla rzeczywistych kierunków i ciężenia strumieni odpadów między punktami emitentów i przypisanych im punktów instalacji przetwarzania. Ten statyczny, statystyczny model stanu zastanego gospodarowania odpadami zmieszany w Polsce stanowi punkt wyjścia operacjonalizacji – generowania różnych dalszych wariantów modeli teoretycznych, uwzględniających różne parametry interpretowane jako czynniki i równocześnie zmienne niezależne (w oryginale nazywane *czynnikami-zmiennymi*), wpływające na zmienne zależne: oszacowanie sumarycznych kosztów systemu (DC, *Distribution Cost*) i ich zróżnicowanie (CV, *Coefficient of Variation*, interpretowane jako średnie roczne jednostkowe koszty transportu strumieni odpadów zmieszanych w kategoriach sprawiedliwości społecznej w odniesieniu do różnych gmin). Wykreowane warianty modeli teoretycznych może cechować odmienny przebieg krawędzi grafu pomiędzy poszczególnymi punktami emisji i instalacjami przetwarzania odpadów zmieszanych, także przekraczając ustalone granice – barier odbijających. Elementem stałym pozostają natomiast zgeneralizowane lokalizacje tych punktów.

Dwie bazowe metody operacjonalizacji modelowania oparto na podejściach wykorzystujących metodę simpleks (ekonometryczną, programowania liniowego) i metodach modelowania interakcji przestrzennych (w wariantach grawitacyjnym i dostępności potencjałowej, stosowane w geografii społeczno-ekonomicznej; wg terminologii Doktoranta: grawitacyjne). Kolejne warianty zamodelowano dodając do modeli bazowych warunek (aspekt) poziomu i zasięgu optymalizacji: regionalny i krajowy oraz różnicując warianty krajowe modelowania interakcji przestrzennych dodatkowo na podtypy emitenta i odbiorcy, w których decyzje o odpadach podejmują albo samorządy gminne (emitenci odpadów, rynek klienta) albo odbiorcy (firmy obsługujące gminy, rynek usługodawcy). Dodatkowe

¹ (metaforycznie, w opinii recenzenta): to zbiór wykreowanych „wirtualnych budynków”, do których „przesiedlono” wszystkich mieszkańców, a które są zlokalizowane w środku ciężkości zasięgu zabudowy ważonej przez oszacowaną liczbę mieszkańców tej jednostki przestrzennej (wykorzystując centroidy budynków, dane o ich rodzaju, powierzchni i liczbie kondygnacji oraz dane o populacji w siatce kilometrowej).

ⁱⁱ W linii prostej w odwzorowaniu równoodległościowym; Doktorant używa terminu: odległość ortodromiczna.

parametry różnicowania kolejnych wariantów dla modeli interakcji przestrzennych to (w skali krajowej) forma funkcji oporu odległości (potęgowa albo eksponentalna), rozróżnienie kategorii długich i krótkich podróży (w zależności od wykładnika funkcji potęgowej oporu odległości) oraz atrakcyjność usługodawcy (rozumiana jako moc przerobowa odbiorcy odpadów). Obydwie bazowe metody dodatkowo różnicuje wybrana miara odległości (geodezyjna lub drogowa w km oraz czasu podróży). W ten sposób sformułowano szereg zamodelowanych wariantów „scenariuszy podaźowych” strumieni odpadów zmieszanych, osobno dla każdej kategorii zamodelowanych wariantów – bazowych (A: dla roku 2021) oraz trzech prognostycznych (na rok 2030): uwzględniających depopulację i wzrost segregacji odpadów (B), stabilnych (przy stałej emisji odpadów per capita, scenariusz C), pesymistycznych, zakładających brak wzrostu ilości segregowanych odpadów (D). Jest to jasno omówione i przedstawione w zestawieniu tabelarycznym (Tab. 4) i w postaci infografiki (Ryc. 18) w rozprawie. Ogółem zamodelowano 58 wariantów (których parametry zestawiono tabelarycznie w Aneksie B), ale tylko jeden wariant zamodelowany *explicite* w skali regionalnej metodą simpleks.

Główną część analityczno-empiryczną rozprawy uzupełniły dodatkowe analizy pomocnicze: (wspomniana wyżej analiza regresji wielokrotnej – wielorakiej – celem korekty danych o rzeczywistej ilości odpadów zmieszanych w gminach), pomiary i oszacowanie prędkości ruchu wewnątrzgminnego z wykorzystaniem aplikacji map Google na podstawie próbki losowej 27 gmin (losowanie warstwowe oraz dwie gminy o wartościach ekstremalnych) z wykorzystaniem regresji nieliniowej dla czasu przejazdów (zmienna zależna) względem liczby ludności i gęstości zaludnienia. Trzecia analiza pomocnicza dotyczyła diagnozy i prognozy sytuacji demograficznej (w kontekście zagospodarowania odpadów), z uwzględnieniem rozwoju suburbanizacji i struktury wiekowej. Każdy z tych wątków mógłby stanowić problematykę odrębnej rozprawy.

W celu odpowiedzi na szczegółowe pytania badawcze sformułowano szereg hipotez. Należy jednak pamiętać, że zgodnie z problemem zawartym w tytule rozprawy, wszystkie hipotezy odnoszą się do różnych podzbiorów różnych wariantów zamodelowanych na bazie statycznego dyskretnego modelu grafowego przestrzeni gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce w roku 2021, z niejawnym założeniem, że jeden lub więcej z nich to właśnie wariant modelu najbardziej zbliżony do opisywanej rzeczywistości. Tu pojawia się pytanie, który z zamodelowanych wariantów najlepiej opisuje aktualnie rzeczywistość? Ten wątek dyskusji jest (zdaniem recenzenta) istotny w dalszych rozważaniach. Z jednej strony Doktorant wskazuje, że są to warianty modeli bazowych interakcji przestrzennych uwzględniające rynek emitenta (sygnatura $GI_Iss_xxx_In_oA$). Z kolei w innym akapicie wskazuje, że jako punkt odniesienia (*teoretyczne optimum*) służy model bazowy oszacowany metodą simpleks (SK_oA , na str. 195). Dowody przedstawione w rozprawie, kolejne mapy i wykresy (w rozdz.3.4, str. 150-156, Ryc. 35-40) przekonują aby dać wiarę celowości i argumentacji takiego podejścia.

W odniesieniu do sieci transportowej Doktorant założył (w sformułowanej hipotezie H1), że bardziej szczegółowa reprezentacja sieci drogowej, uwzględniająca parametry jakościowe w zoperacjonalizowanym modelu, umożliwiająca dokładniejsze oszacowanie parametru funkcji oporu odległości („tarcia przestrzeni”), powoduje większe przestrzenne zróżnicowanie kosztów jednostkowych transportu odpadów. Na pierwszy rzut oka, sformułowanie wydaje się oczywiste, wzrost kosztów z odległością, ale uwzględnienie różnych kategorii i klas dróg oraz różnych parametrów miar odległości (w km, czasu podróży) w różnych wariantach modelowania pozwala na dokładniejsze oszacowanie całkowitych i średnich kosztów jednostkowych. Hipoteza została potwierdzona w skali krajowej przez porównanie wariantów bazowych modeli opartych na metodzie simpleks ($SK_forvtJA$) oraz interakcji przestrzennych ($GK_Pow_In_forvtJA$), wykorzystując różne metryki odległości. Abstrahowano od czynnika dotyczącego lokalizacji i mocy przerobowych usługodawców – odbiorców zmieszanych odpadów komunalnych. Aktualne pozostaje jednak pytanie zadane w poprzednim akapicie.

Druga hipoteza, dotycząca zmian społeczno-demograficznych (H2) zakładała wzrost całkowitego kosztu systemu gospodarowania odpadami komunalnymi na obszarach koncentracji ludności oraz pogłębienia dysproporcji kosztów jednostkowych w skali kraju w kontekście prognoz demograficznych na rok 2030. Porównując zmienne zależne modeli bazowych ($SK_forvtJA$, $GK_Pow_In_forvtJA$) z prognostycznymi (oznaczonych literami B,C,D) hipotezę sfalsyfikowano, gdyż tylko scenariusze *pesymistyczne* (D), dwóch z sześciu analizowanych modeli prognostycznych były zgodne z hipotezą. W tym kontekście może pojawić się pytanie dotyczące metodologii ogólnej nauki, jeżeli formułuje się

hipotezę opartą na weryfikacji kolejnych modeli i wyniki są różne (uogólniając je do odpowiedzi zero-jedynkowych), to czy o weryfikacji lub falsyfikacji hipotezy decyduje „demokracja” wyników? Doktorant postąpił zgodnie z przyjętą w nauce zasadą falsyfikacji, musiał ją odrzucić (nawet gdyby tylko jeden wynik scenariusz byłby niezgodny z hipotezą).

Problematyki optymalizacji dotyczyły dwie następne hipotezy. Hipoteza centralizacji (nazwa nadana przez recenzenta, w tekście: przestrzenna integracja systemu – H3.1) zakładała lepszą efektywność oraz redukcję i zrównoważenie kosztów (potencjalnego) jednego systemu krajowego. Hipoteza została pozytywnie zweryfikowana, jako sprzyjająca optymalizacji na bazie dwóch wariantów krajowego i regionalnego dla modelu simpleks ($S/[K,R]_{oA}$) i dwóch modeli interakcji przestrzennych: bazowego ($GK_{Pow}_{1n_{oA}}$) i uwzględniającego rynek klienta – emitentów ($GI_{Iss}_{Pow}_{1n_{oA}}$). Można się zastanawiać, czy adekwatny był wybór modeli do porównania. Przecież integracja przestrzenna (centralizacja) to nie tylko urzędowa likwidacja odbijającej bariery przestrzennej dla gmin, jaką stanowi nieprzekraczalność granicy wojewódzkiej (wspomniana także przez Doktoranta w uzasadnieniu hipotezy). W opracowanych modelach nie uwzględniono parametrów pojawienia się (kosztownej) biurokratycznej nadbudowy (choć Doktorant wspomina o nich na str. 13), np. zdublowania liczby pracowników adekwatnych departamentów aktualnego Ministerstwa Klimatu i Środowiska lub nawet osobnego urzędu centralnego dedykowanego sterowaniu strumieniami odpadów (w porozumieniu z MSWiA) i dbającego w rozporządzeniach o optymalizację tej części gospodarki przestrzennej. Może to przypominać sytuację w „czasach słusznie minionych” (PRL), a znając doświadczenia i dyskusje z przeszłości, dotyczące projektów reformy podziału administracyjnego kraju i liczby województw, raczej tutaj spodziewałbym się korekt, pomimo tak znaczących wyników modelowania. Czym bowiem różni się urzędowa delimitacja nowych granic RGOK od zmian granic podziału administracyjnego?

Hipoteza rynku odbiorcy (w oryginale: przyjęcia perspektywy odbiorcy – H3.2) zakładała spadek sumarycznego i jednostkowych kosztów systemu, poprzez stworzenie warunków korzystnych dla rynku usługodawców, odbiorców odpadów zmieszanych, poprzez ich działania prorynkowe (konkurencji i maksymalizacji zysku) przyczyniające się zmniejszenia ogólnych kosztów systemu. W tym celu porównano trzy modele interakcji przestrzennych (grawitacyjne) uwzględniające perspektywę odbiorcy (firm), emitentów (gmin) oraz model bazowy ($GI_{Iss}_{Pow}_{1n_{oA}}$, $GI_{Rec}_{Pow}_{1n_{oA}}$, $GK_{Pow}_{1n_{oA}}$). Porównanie przestrzenne przyniosło na tyle zróżnicowane wyniki w postaci ujawnionych klastrów gmin (Ryc. 85) i ogólny wzrost globalnych kosztów systemu gospodarowania odpadami (na rynku odbiorcy), że powyższa hipoteza została sfalsyfikowana. W tym badaniu najbardziej poszkodowane były gminy peryferyjne, oddalone od lokalizacji instalacji przetwarzania odpadów zmieszanych, co podnosiło ich koszty jednostkowe i całego systemu.

Kolejne hipotezy dotyczyły wpływu logistyki i lokalizacji emitentów (gmin) względem lokalizacji instalacji (firm odbiorców) w kontekście zmian funkcji oporu odległości na sumaryczne i jednostkowe koszty transportu odpadów zmieszanych.

Hipoteza H4.1.1 zakładała usprawnienie logistyki przewozów (w oryginale: *oszczędności wynikające z [uzyskanych] niższych kosztów transportu, w tym akceptacji dłuższych tras oraz ich optymalizacji względem rozmieszczenia punktów emisji i odbioru spowodują efekt synergii dodatniej*, a sumaryczne i jednostkowe koszty będą niższe). Hipoteza została sfalsyfikowana w wyniku porównania czterech wariantów bazowych modeli grawitacyjnych różniących się formułami wyrażającymi opór odległości (potęgowa i wykładnicza) dla warunków: podróży krótkich oraz dodatkowo długich (modele: $GK_{Pow}_{1n_{oA}}$, $GK_{Pow}_{2n_{oA}}$, $GK_{Exp}_{1n_{oA}}$, $GK_{Exp}_{2n_{oA}}$). Synteza przedstawiona na ryc. 107 oraz dodatkowe porównanie tych wyników z modelem bazowym oszacowanym metodą simpleks (SK_{oA}), zdaniem Doktoranta wypada na korzyść tego ostatniego wariantu modelu, ze względu algorytmiczną przewagę jednoczesnej optymalizacji strumieni odpadów z akceptacją istniejących destynacji.

Hipoteza H4.1.2 zakładała możliwość uzyskania oszczędności kosztów globalnych całego systemu krajowego odpadów zmieszanych poprzez zróżnicowanie opłat ponoszonych przez emitentów (gminy), co powoduje nierówności (niesprawiedliwości) przestrzenne. Jej sfalsyfikowanie jest reinterpretacją, innym spojrzeniem na identyczną metodę analizy wyników jak w poprzedniej hipotezie. System stawał się droższy i mniej sprawiedliwy przestrzennie dla różnych wariantów modeli. Trzeba jednak zauważyć, że w rzeczywistości (ustawowo) gminy są zobligowane do stosowania przepisów o zamówieniach publicznych w gospodarowaniu odpadami, więc wg stanu faktycznego te opłaty są rynkowe i zróżnicowane przestrzennie.

Kolejna hipoteza H4.1.3 miała charakter metodologiczny. Została sfalsyfikowana w wyniku identycznej analizy jak w dwóch powyższych. Chodziło o sprawdzenie odmiennych wyrażen i istotność formy funkcji oporu w badanych modelach; sparafrazowane brzmienie hipotezy (wg recenzenta) to: wybór formy funkcji (tj. sposobu liczenia) odległości, potęgowej lub wykładniczej w różnych wariantach modelu grawitacji, ma mniejsze znaczenie niż oszacowane wielkości (liczbowe) parametrów odległości lub czasu (dominacja tras krótszych). Falsyfikacji dokonano metodą zero-jedynkową (rozdzielając liczby 1 i 2 w sygnaturach wariantów modeli, dzieląc zbiór krawędzi grafu na dwa podzbiory, podróże krótkie i długie).

Dwie ostatnie hipotezy są kluczowe dla całej rozprawy. Pierwsza (H5.1) miała charakter eksploracyjny (zdaniem Doktoranta syntetyzujący) i porządkowała znaczenie (wagę) poszczególnych czynników (zmiennych niezależnych wymienionych wyżej) dla zmiennych zależnych. Czynniki uszeregowano na podstawie syntetycznego zestawienia wyników wszystkich 58 wariantów modeli (w Tab. 8, na str. 226 oraz na kolejnych wykresach, Ryc. 104, 105) wg siły oddziaływania porównując ich średnie różnice wartości kosztów sumarycznych (DC) oraz średnie wartości kosztów jednostkowych (interpretowane jako sprawiedliwość przestrzenna, CV). Doktorant skategoryzował poszczególne modele na kategorie ze względu na oszacowane wartości obydwu średnich zmiennych zależnych wyodrębniając scenariusze: *nieoptymalne (niepożądane)*, *optimum niezrównoważonego*, *optymalnego zrównoważenia i zrównoważone*. Hipoteza została zweryfikowana.

Hipoteza H5.2 dotyczyła zależności między oceną efektywności (DC) a oceną sprawiedliwości przestrzennej (CV), relacji między zmiennymi zależnymi we wszystkich zamodelowanych wariantach. Zakładała, że spadkowi sumarycznych kosztów transportu w systemie strumieni odpadów zmieszanych (DC, czyli wzrostowi efektywności całego systemu gospodarowania odpadami zmieszany) towarzyszy wzrost dysproporcji kosztów jednostkowych między gminami (pogorszenie, spadek sprawiedliwości przestrzennej CV). Hipoteza została sfalsyfikowana i odrzucona, gdyż wskaźnik korelacji wyników DC i CV wszystkich zamodelowanych wariantów pokazuje ich wysoką zależność dodatnią (str. 229). Można się zastanawiać, czy adekwatne byłoby także sformułowanie hipotezy alternatywnej, którą w tej sytuacji można poddać weryfikacji, biorąc pod uwagę, że stałymi elementami wszystkich modeli były: liczba i lokalizacja emitentów i odbiorców. Sformułowanie (alternatywnego) założenia o istnieniu synergii między efektywnością ekonomiczną a sprawiedliwością społeczną oznaczałoby równoczesną redukcję sumarycznych kosztów (DC) i wyrównanie kosztów jednostkowych w gminach. Formalnie jednak taka hipoteza alternatywna nie została sformułowana i zweryfikowana. Można tylko na podstawie dyskusji wyników w tekście rozprawy i w wydzieleniu kategorii modeli optymalnego zrównoważenia, łączących koszt całkowity z większą sprawiedliwością społeczną, domyślać się akceptacji wyników analizy korelacji i niejawnego sformułowania hipotezy alternatywnej. Falsyfikację (hipotezy H5.2) Doktorant tłumaczy poprzez ograniczenie liczby długich tras w systemie krajowym logistyki strumieni odpadów zmieszanych i efektem kumulacyjnym optymalizacji systemu, w tym regionalizacji (str. 229), a co także (zdaniem recenzenta) wynika z układu ujawniających się sił rynkowych (faktycznie funkcjonujących obligatoryjnych zamówień publicznych).

Na podstawie zweryfikowanych pozytywnie hipotez, wykreowany jako najbardziej korzystny model (optymalnie zrównoważony) gospodarowania odpadami zmieszany jawi się jako zintegrowany przestrzennie w skali krajowej (recenzent użyłby terminu scentralizowany), w którym optymalizowany jest czas transportu, ale decyzje lokalne (co do wyboru usługodawców) pozostają nadal w gestii gmin (emitentów). I takie są też rekomendacje zawarte w rozprawie. Nie ma wątpliwości, co do uzyskanych, zamodelowanych wyników w rozprawie. Znaczenie sfalsyfikowanych hipotez (wg założeń rozprawy, na str. 9) odnosi się do szeregu celowo wybranych wariantów modeli, sytuacji teoretycznych konfiguracji dominacji określonych czynników-zmiennych reprezentujących poszczególne (meta-informacyjne) komponenty.

Swoje wnioski i rekomendacje Doktorant lokuje także w szerszym kontekście teoretycznym, nawiązując do teorii regionów stykowych (Löscha) i formułując koncepcję dyfuzyjnych regionów łańcuchowych (wielowęzłowych, analogicznie do badań w turystyce, str. 249). Regiony węzłowe wykreowane na podstawie przepływów strumieni odpadów zmieszanych tworzą „zlewnie” (analogicznie do zlewni migracyjnych), a granice między nimi stają się strefowe (przenikają się tworząc strefy dyfuzji). W ten sposób Doktorant wypracował koncepcję teoretyczną nowego modelu gospodarowania odpadami komunalnymi, łącząc ją w dyskursie teoretycznym z aspektem

organizacyjnym wdrażania rozszerzonej odpowiedzialności producenta (ROP) i kreowaniu dodatkowych podmiotów w łańcuchu ogniw (interesariuszy) gospodarki odpadami.

Na marginesie opinii o rozprawie, w kontekście powyższych uwag nasuwa się refleksja bardziej ogólna. Zadaniem jest dogłębna analiza badanego zjawiska. Badacz postrzega je w kontekście paradygmatów uprawianych dyscyplin oraz własnego doświadczenia, abstrahując od wybranych faktów i procesów, które uznaje za nieznaczące dla badanego zjawiska. Stąd być może rozbieżność opinii między Doktorantem i recenzentem (problem zamówień publicznych, jurysdykcja administracyjna organów lokalnych w ramach funkcjonującego podziału terytorialnego). Przyjmując zastrzeżenia badawcze (na str. 233) dotyczące uwzględnienia ... *wybranych czynników wpływających na koszty transportu*, zadanie badawcze polegające na analizie *alternatywnych rozwiązań redystrybucji odpadów i ich wad i zalet* w kontekście optymalizacji, można zgodzić się z dezyderatem Doktoranta – *zaprojektowania względnie akceptowalnej regionalizacji gospodarki odpadami* (str. 234). Z jedną uwagą recenzenta: może nie w ramach jednolitego systemu krajowego, ale kilku lub więcej systemów regionalnych, gdyż obserwowane średnie wskaźniki zagregowane w skali krajowej ukrywają wartości odstające (także dla zbioru statystycznych danych źródłowych, dla których na wejściu zastosowano korektę).

Dla oszacowania modelu simpleks wykorzystano program dodatku Solver i OpenSolver w MS Excel, a dla algorytmu modeli interakcji przestrzennych autorski kod źródłowy oprogramowania, w celu uzyskania wyników liczbowych w arkuszu kalkulacyjnym oraz oprogramowanie GIS (QGIS i SAGA), w celu ich wizualizacji (ale kody źródłowe autorskiego oprogramowania nie zostały udostępnione w rozprawie). Uzyskane wyniki, wizualizacje kartograficzne i wnioski są przekonujące. Wprawdzie Doktorant nie ujawnił „czarnej skrzynki” swojego kodu źródłowego, ale we wstępie i podsumowaniu wskazał, że modele bazujące na entropii są bardziej stabilne i lepiej odzwierciedlają funkcję oporu odległości („tarcia przestrzeni”), a w literaturze geograficznej modele interakcji przestrzennej rozwija się właśnie na bazie zasady maksymalizacji entropii.

Te kluczowe w rozprawie analizy uzupełniają dodatkowe, problemowe i metodologiczne wątki dyskusyjne podejmowane w kontekście głównego problemu i celu rozprawy – np. dyskusja nad świadomością ekologiczną różnych grup wiekowych ludności pod względem skłonności do segregacji odpadów. Osobny wątek to dyskusja na temat (uzasadnienia nieuwzględnienia) problemu zmiennych jednostek odniesienia (MAUP). Dla realizacji założonych celów badań w modelowaniu Doktorant abstrahował od różnych czynników *stricto* ekonomicznych, technologicznych i efektów zewnętrznych (ekologicznych), biorąc pod uwagę tylko kategorię odpadów zmieszanych, uzasadniając we wstępie do pracy swoją koncentrację na aspektach sieci transportowej i zróżnicowania przestrzennego strumieni odpadów.

Rozprawa napisana jest trudnym, formalnym językiem naukowym, spełniając jednak kryteria precyzji terminologicznej i wykorzystując bogaty słownik specjalistycznych pojęć. To rzutuje na wielowątkowość i styl tekstu, a akapity często składają się ze zdań wielokrotnie złożonych. Wymaga równoległego śledzenia poszczególnych wątków dyskursu tekstu i zrozumienia detali rozpatrywanych parametrów dużej liczby wygenerowanych wariantów modeli. Mocną stroną rozprawy jest jej czytelna warstwa graficzna i kartograficzna, która jest logicznie zsynchronizowana z tekstem (dotyczy to także map zawartych w aneksie). Pomimo wątków pobocznych (dotyczących celów zadeklarowanych jako poznawcze) rygorystyczna struktura tekstu podporządkowana jest weryfikacji pytań badawczych. Łyzką dziegciu jest niestaranność edytorska (niezliczona liczba literówek w tekście) wymagająca redakcji technicznej i korekty oraz drobne niespójności dotyczące odnośników w tekście do kilku rycin.

Wnioski końcowe

Recenzowana rozprawa dotyczy zarówno problematyki teoretycznej, metodologicznej, jak i praktycznej (empirycznej) poruszając wiele aspektów (wymiarów) gospodarowania odpadami. Tekst rozprawy prezentuje adekwatną, ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta, zarówno w przedmiocie problematyki geografii społeczno-ekonomicznej (szczególnie geografii transportu) jak i modelowania numerycznego, wiążąc ze sobą założenia teoretycznych koncepcji i modeli silnie zakorzenionych w badaniach studiów regionalnych, gospodarki przestrzennej i ekonomii ze współcześnie rozwijanymi konstrukcjami i definicjami wykorzystywanych terminów i modeli sieci przepływów. Przeprowadzony w tekście rozprawy wywód potwierdza, że Doktorant wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Porównywane ze sobą w badaniach empirycznych różne warianty modeli

oraz ich kategoryzacja pozwalają stwierdzić, że rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego identyfikacji uwarunkowań i optymalizacji, zarówno w aspekcie operacjonalizacji (w warstwie metodologicznej), jak i we wnioskach, w warstwie teoretycznej. W warstwie metodologicznej Doktorant operował modelami teoretycznymi, które (jak zakładał) korygują niewiarygodne dane statystyczne, urealnając także parametry czasu podróży jako uogólnionego kosztu (na podstawie prędkości oszacowanych na podstawie losowej próby warstwowej) i proponuje wprowadzenie metody programowania liniowego (simpleks) jako alternatywy dla stosowanych modeli interakcji przestrzennych. W warstwie teoretycznej Doktorant sformułował oryginalną koncepcję teoretyczną dyfuzyjnych łańcuchowych regionów węzłowych, których granice mogą się przenikać lub nakładać tworząc (indyferentne) strefy dyfuzji oraz wprowadzając pojęcie 'chłonności rdzenia' – odpowiadającej mocy przerobowej instalacji przetwarzania odpadów, jako czynnika wpływającego na powstawanie enklaw i eksklaw ulokowanych poza arbitralnie delimitowanymi granicami regionów węzłowych wyznaczanych przez rzeczywiste lokalizacje punktów emisji i recepcji strumieni odpadów. Równocześnie ujawnił preferencję metody simpleks, jako narzędzia wykorzystywanego w planowaniu gospodarki odpadami.

Biorąc pod uwagę zakres ogólnej, interdyscyplinarnej wiedzy teoretycznej Doktoranta zaprezentowany w rozprawie, oceniając bardzo wysoko jego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, w tym szczególnie jego podejście i sprawność posługiwania się metodami numerycznymi oraz doceniając oryginalność proponowanych rozwiązań postawionych problemów w rozprawie, które dodatkowo cechują się walorami praktycznymi w zakresie zastosowania wypracowanych wyników modelowania w gospodarce odpadami, stwierdzam, że spełnione zostały formalne przesłanki pozwalające na pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej mgr Damiana Mazurka. Zgodnie z art. 191 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, wnioskuję do Rady Naukowej Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. S. Leszczyckiego Polskiej Akademii Nauk o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej mgr Damiana Mazurka.

Piotr Werner

Warszawa, 7 marca 2026r.