

Monika Osinska, Przemysław Gruszczyński

Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

Instytut Informatyki i Ekonomii Ilościowej

Katedra Ekonometrii

MO: monika.osinska@ue.poznan.pl,  <https://orcid.org/0000-0002-9722-6940>

PG: przemyslaw.gruszczyński159@gmail.com

Zróźnicowanie i uwarunkowania efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi w polskich gminach

Zarys treści: Celem badania jest ocena efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi w gminach wiejskich, miejsko-wiejskich i miejskich za pomocą metody Data Envelopment Analysis (DEA) oraz identyfikacja determinant tej efektywności przy użyciu modelowania tobitowego. Gminy wiejskie cechowały się największym rozrzutem efektywności gospodarowania odpadami, wskazując na obecność pojedynczych, wysoce nieefektywnych jednostek. Gminy miejskie z kolei wykazywały najbardziej jednorodny rozkład efektywności. Jedynym czynnikiem istotnie wpływającym na efektywność we wszystkich typach gmin było wykształcenie mieszkańców, podczas gdy nieistotnie wpływającym był wskaźnik obciążenia osobami starszymi. W przypadku infrastruktury drogowej oraz ilości wytwarzanych odpadów per capita badanie wskazało na występowanie efektów sprzecznych. Pozostałe czynniki (stopa bezrobocia, dochody własne per capita, gęstość zaludnienia, dostęp kanalizacji, powierzchnia mieszkania per capita) wykazywały zróźnicowany pod względem istotności wpływ w zależności od analizowanej grupy.

Słowa kluczowe: odpady komunalne, gospodarowanie odpadami, efektywność, DEA, modelowanie tobitowe

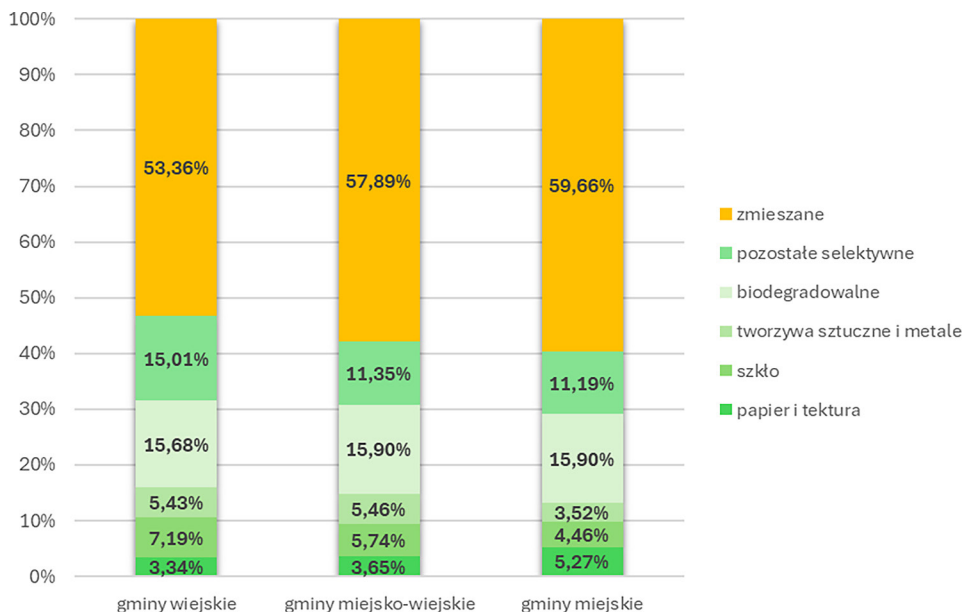
Wprowadzenie

System gospodarowania odpadami komunalnymi w Polsce doświadczył znaczących zmian w ciągu ostatnich kilkunastu lat. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów (Dyrektywa, 2008) oraz zmiany w polskim prawie dotyczącym gospodarowania odpadami podyktowane zaleceniami tej dyrektywy i wprowadzone w 2012 r. zapisały się w historii jako „rewolucja śmieciowa” (Macias, Piniarski 2016). I tak od 1 lipca 2013 r. zadanie gospodarowania odpadami komunalnymi należy do gmin, które

organizują i nadzorują system, zapewniają selektywną zbiórkę (co najmniej papier, metale, tworzywa sztuczne, szkło, odpady opakowaniowe wielomateriałowe oraz bioodpady), prowadzą Punkty Selektywnej Zbiórki Opadów Komunalnych (PSZOK), działania edukacyjne i coroczne analizy gospodarki odpadami (Ustawa 1996, Ustawa 2012). Realizacja tych zadań finansowana jest z opłaty za gospodarowanie odpadami komunalnymi naliczanej samodzielnie przez właściciela nieruchomości na podstawie składanej przez niego deklaracji. Potocznie jest ona określana mianem „opłaty śmieciowej”.

Mimo że „nowy” system selektywnej zbiórki odpadów komunalnych funkcjonuje w Polsce od wielu lat, kraj nadal znajduje się w grupie państw Unii Europejskiej (UE) obarczonych wysokim ryzykiem nieosiągnięcia do 2025 r. unijnego celu przygotowania do ponownego użycia i recyklingu co najmniej 55% odpadów komunalnych (NIK 2024). Już w 2020 r. 831 z 2477 gmin nie osiągnęło wymaganych poziomów recyklingu (Kotlińska, Żukowska 2023b). Ciuła i in. (2023) potwierdzają, że realizacja celów w zakresie recyklingu wciąż stanowi istotne wyzwanie również dla polskiego sektora odzysku odpadów opakowaniowych. Jak zauważają Smol i in. (2019), tylko selektywna zbiórka odpadów umożliwi ich skierowanie do procesu recyklingu. Niestety mimo rosnącej ilości odpadów zbieranych selektywnie segregacja odpadów w Polsce jest wciąż problematyczna (Kotlińska, Żukowska 2023b). Co więcej, brakuje zaawansowanych badań ilościowych ukierunkowanych na identyfikację istotnych determinant efektywności realizacji poszczególnych zadań rozróżnianych w ramach gospodarowania odpadami komunalnymi w polskich gminach, w tym efektywności selektywnej zbiórki tych odpadów. Większość istniejących opracowań ma charakter przede wszystkim teoretyczny (Antczak 2019), chociaż powszechnie wiadomo, że analizy ilościowe umożliwiają głębsze zrozumienie funkcjonowania różnych systemów ekonomicznych, w tym systemów gospodarowania odpadami komunalnymi.

Z uwagi na regionalne zróżnicowanie systemów gospodarowania odpadami komunalnymi, nie istnieje uniwersalny model ich funkcjonowania (Myna, Matczak 2019, Kotlińska, Żukowska 2023a). Co więcej, struktura frakcyjna odpadów komunalnych różni się pomiędzy typami gmin (wiejskie, miejsko-wiejskie, miejskie), co odzwierciedla zróżnicowane uwarunkowania środowiskowe i organizacyjne systemów zbiórki (ryc. 1). Porównanie udziałów poszczególnych frakcji w całkowitej masie odpadów wytworzonych w 2024 r. wskazuje, że gminy miejskie charakteryzują się najwyższym odsetkiem odpadów papierowych i tekturowych (miejskie: 5,27%; miejsko-wiejskie: 3,65%; wiejskie: 3,34%). Z kolei w gminach miejskich odnotowuje się najniższy udział odpadów z tworzyw sztucznych (miejskie: 3,52%; miejsko-wiejskie: 5,46%; wiejskie: 5,43%) oraz szkła (miejskie: 4,46%; miejsko-wiejskie: 5,74%; wiejskie: 7,19%). Zróżnicowanie struktury generowanych odpadów w poszczególnych typach gmin może wynikać zarówno ze specyfiki lokalnych wzorców konsumpcji, jak i z możliwości samodzielnej utylizacji odpadów poza formalnym systemem ich przetwarzania (Macias, Piniarski 2016, Kotlińska, Żukowska 2023b).



Ryc. 1. Udział wagowy wybranych frakcji odpadów komunalnych zebranych selektywnie i zmieszanych w całkowitej masie odpadów komunalnych wytworzonych w 2024 r. w podziale na gminy wiejskie, miejsko-wiejskie i miejskie
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z GUS.

Udział odpadów zmieszanych jest najniższy w gminach wiejskich (wiejskie: 53,36%; miejsko-wiejskie: 57,89%; miejskie: 59,66%), co wskazuje na relatywnie większy udział odpadów zebranych selektywnie w tego typu jednostkach. Obserwacja ta jest zgodna z dotychczasowymi badaniami, które wskazują, że gminy wiejskie osiągają lepsze wyniki w zakresie selektywnej zbiórki odpadów (Głuszyński i in. 2024). Grupa Badawcza DSC Sp. z o.o. (2022) w swoim raporcie wskazuje, że 100% respondentów z terenów wiejskich regularnie segreguje odpady, podczas gdy w środowiskach miejskich regularna segregacja odpadów dotyczy – zgodnie z deklaracjami – od 92% do 98% mieszkańców, przy czym odsetek osób deklarujących systematyczne segregowanie odpadów maleje wraz ze wzrostem wielkości miasta. Jak wynika z analiz, w miastach występują większe trudności organizacyjne związane z segregacją odpadów, wynikające z anonimowości mieszkańców budynków wielorodzinnych oraz ograniczonej przestrzeni do segregacji odpadów (Smol i in. 2019). Literatura podkreśla konieczność formułowania przez władze lokalne strategii gospodarki odpadami komunalnymi, jednak ich kształt nie będzie jednakowy dla każdego regionu, ponieważ zależy od uwarunkowań ekonomicznych, społecznych i środowiskowych (Kotlińska, Żukowska 2023b).

Celem badania jest zatem ocena efektywności selektywnej zbiórki odpadów komunalnych w polskich gminach oraz identyfikacja determinant tej efektywności.

Przegląd literatury

Analizy efektywności systemów gospodarowania odpadami komunalnymi dostępne w literaturze zagranicznej zazwyczaj obejmują dwa etapy: ustalenie poziomu efektywności oraz identyfikację czynników na nią wpływających. W większości dostępnych opracowań wykorzystuje się metodę Data Envelopment Analysis (DEA) do ustalenia efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi i ocenia system z punktu widzenia:

- jego kosztów (Struk 2014, Guerrini i in. 2017, Halkos, Petrou 2018, Yang i in. 2018, Zhu, Zhang 2019, Storto 2021b, Sala-Garrido i in. 2022, Molinos-Senante i in. 2023) i/lub
- selektywnej zbiórki odpadów (Guerrini i in. 2017, Storto 2021a, b, Sala-Garrido i in. 2022, Molinos-Senante i in. 2023).

Nieliczne badania obejmują również analizę efektywności procesów przetwarzania odpadów, takich jak spalanie, składowanie, odzysk czy recykling (Rios, Picazo-Tadeo 2021, Osińska 2024a, b), przy czym są one przeprowadzane głównie na poziomie krajowym, a nie lokalnym.

Brak zgodności co do wyboru wskaźników opisujących nakłady i rezultaty systemu, jak również czynników ekonomicznych i środowiskowych uwzględnianych w analizach utrudnia porównania międzynarodowe. Takie zróżnicowane podejścia do oceny systemów zarządzania odpadami dają bowiem sprzeczne wyniki dotyczące kierunku i istotności wpływu wybranych determinant na efektywność tych systemów. Sala-Garrido i in. (2022), analizując 118 gmin w Chile, pokazali, że ten sam czynnik (natężenie ruchu turystycznego, gęstość zaludnienia czy ilość odpadów wytwarzanych przez mieszkańca) może wpływać z różną siłą w zależności od tego, czy rozważana jest efektywność techniczna, środowiskowa czy ekoefektywność.

Przyczyny zróżnicowanych wyników można też upatrywać w specyfice poszczególnych regionów. Yang i in. (2018) wskazali bowiem, że w chińskich miastach determinanty kosztowej efektywności różnią się w zależności od typu miasta, obejmując liczbę patentów, sprzedaż detaliczną i wskaźnik jakości powietrza. Z kolei Guerrini i in. (2017), analizując 40 gmin włoskich, pokazali, że wybrane determinanty efektywności kosztowej systemu gospodarki odpadami komunalnymi (odsetek osób nierezydujących, liczba ludności, gęstość zaludnienia, ilość odpadów przypadających na jeden załadunek, średnia liczba osób w gospodarstwie domowym) mogą wpływać na tę efektywność w różny sposób w zależności od poziomu tych zmiennych.

Efektywność przetwarzania odpadów na szczeblu krajowym zależy również od czynników ekonomicznych, demograficznych i innowacyjnych (Rios, Picazo-Tadeo 2021, Osińska, 2024a, b). Jak pokazują badania, wpływ PKB per capita na efektywność systemu ma charakter nieliniowy (Rios, Picazo-Tadeo 2021), natomiast wydatki B+R stanowią warunek konieczny, lecz niewystarczający dla zapewnienia wysokiej efektywności systemów przetwarzania odpadów (Osińska 2024b). Dodatkowo wykształcenie wyższe mieszkańców pozytywnie wpływa na efektywność systemów przetwarzania odpadów, jednak efekt ten jest widoczny

dopiero w ostatnich latach (Osińska 2024a), co może wskazywać na zmiany determinant efektywności w czasie.

Brak uniwersalnej ścieżki podnoszenia efektywności podkreśla konieczność uwzględnienia specyfiki lokalnej w projektowaniu polityki gospodarki odpadami. W Polsce Antczak (2019) wykazała, że wpływ ośmiu czynników determinujących ilość wytwarzanych odpadów w powiatach jest zróżnicowany geograficznie. Heterogeniczność polskich regionów na przykładzie gmin wiejskich i miejskich potwierdzają Głuszyński i in. (2024). Jak pokazują badania tych autorów, w 2023 r. gminy wiejskie osiągnęły ponad 70% selektywnej zbiórki, przy średniej krajowej 44%, co odbiega znacząco od danych udostępnianych przez Bank Danych Lokalnych (BDL: 40,7% ogółem, 43,5% w gospodarstwach domowych; gminy wiejskie 43,0% i 45,7%). Skuteczne planowanie gospodarki odpadami zależy od ukształtowania terenu, liczby mieszkańców, infrastruktury drogowej i charakterystyki odpadów (Brzozowska i in. 2024).

Gminy wiejskie różnią się bowiem od zurbanizowanych również pod względem masy i składu odpadów. Obszary miejskie generują większe ilości odpadów zawierających frakcje biodegradowalne, papierowe i szklane, natomiast na terenach wiejskich przeważają frakcje mineralne (Macias, Piniarski 2016, Ciuła i in. 2023).

Etapy i metodyka badania naukowego

Dane statystyczne wykorzystane w badaniu pochodzą z Bazy Danych Lokalnych (BDL) GUS i dotyczą 2023 r. Ze względu na podkreślane w literaturze różnice w zakresie uwarunkowań systemów gospodarowania odpadami na obszarach wiejskich i zurbanizowanych, analizę przeprowadzono osobno dla trzech grup gmin: gmin wiejskich (1488), miejsko-wiejskich (652) oraz miejskich (302).

Badanie naukowe składało się z dwóch etapów: oszacowania efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi metodą BCC-DEA (Banker-Charnes-Cooper Data Envelopment Analysis) oraz identyfikacji determinant tej efektywności za pomocą modelu tobitowego.

Data Envelopment Analysis

Pierwszy etap badania polegał na oszacowaniu efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi za pomocą Data Envelopment Analysis (DEA). DEA to grupa nieparametrycznych metod służących do ustalania efektywności procesu technologicznego przekształcającego wiele nakładów w wiele rezultatów i zarządzanego przez jednostki decyzyjne (obiekty). W niniejszym badaniu do opisu procesu gospodarowania odpadami komunalnymi wykorzystano dwa nakłady:

- N1 – koszty gospodarki odpadami komunalnymi (tys. zł),
- N2 – odpady komunalne wytworzone w ciągu roku (t)

oraz jeden rezultat:

- R1 – odpady zebrane selektywnie w ciągu roku (t).

Do ustalenia efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi wykorzystano model BBC-DEA ukierunkowany na rezultaty.

Model ukierunkowany na rezultaty skupia się na maksymalizacji rezultatów przy poniesionych nakładach (wtedy $\varphi \geq 1$). Współczynnik efektywności ukierunkowany na rezultaty $\varphi = 1$ oznacza, że obiekt (tutaj gmina) jest efektywny. Niemożliwa jest zatem zmiana metody zarządzania procesem, która przy danym ustalonym poziomie nakładów umożliwi obiektowi osiągnięcie większych rezultatów niż te, które w rzeczywistości osiągnął. Współczynnik efektywności ukierunkowany na rezultaty $\varphi > 1$ oznacza, że obiekt nie jest efektywny. Przykładowo $\varphi = 1,2$ oznacza, że istnieje sposób zarządzania procesem, którego zastosowanie pozwala obiektowi przy danym ustalonym poziomie nakładów osiągnąć 120% rezultatu faktycznie osiągniętego. Im wyższy zatem współczynnik efektywności ukierunkowany na rezultaty, tym niższa efektywność zarządzania procesem technologicznym.

Drugim kryterium różnicującym metody DEA – obok ukierunkowania modelu – jest kształt granicy efektywności. Wyróżnia się tutaj model CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) zakładający stałe efekty skali (CRS, constant returns to scale) oraz model BCC (Banker-Charnes-Cooper) zakładający zmienne efekty skali (VRS, variable return to scale). Założenia te skutkują tym, że model CCR ma tendencję do obniżania efektywności tych obiektów, które działają w nieoptymalnym obszarze korzyści skali. Model BCC uchodzi zatem za bardziej odpowiedni w przypadku grupy obiektów charakteryzującej się dużym zróżnicowaniem skali działalności, do jakich niewątpliwie należą polskie gminy. W tabeli 1

Tabela 1. Statystyki opisowe wskaźników oceny procesu gospodarowania odpadami komunalnymi w gminach wiejskich, miejsko-wiejskich i miejskich

Wskaźniki	Średnia			Odchylenie standardowe			Współczynnik zmienności		
	Gminy								
	wiejskie	miejsko-wiejskie	miejskie	wiejskie	miejsko-wiejskie	miejskie	wiejskie	miejsko-wiejskie	miejskie
N1 – koszty gospodarki odpadami komunalnymi (tys. zł)	1994,3	4327,4	21320,0	1801,9	3905,4	63473,7	90,3%	90,2%	297,7%
N2 – odpady komunalne wytworzone w ciągu roku (t)	1994,4	4658,8	24420,6	2052,7	4279,3	62097,3	102,9%	91,9%	254,3%
R1 – odpady zebrane selektywnie w ciągu roku (t)	892,2	1863,8	9592,0	1030,9	1926,0	23185,2	115,5%	103,3%	241,7%

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

zamieszczono podstawowe statystyki opisowe oraz współczynnik zmienności dla uwzględnionych w badaniu nakładów i rezultatu. Jak widać w zestawieniu, każda z analizowanych grup charakteryzuje się wysokim poziomem zmienności (powyżej 90%) poszczególnych miar, co jest argumentem przemawiającym za zastosowaniem modelu.

Więcej informacji na temat rodziny metod DEA można znaleźć m.in. w następujących opracowaniach: Cooper i in. (2006) Zhu, Cook (2007), Guzik (2009), Dellnitz i in. (2018).

Model tobitowy

W drugim etapie badania dokonano identyfikacji istotnych czynników społeczno-środowiskowych determinujących efektywność gospodarowania odpadami komunalnymi w każdej z trzech wymienionych grup gmin. Bazując na literaturze (Tałała 2012, Guerini i in. 2017, Lacko, Hajduova 2018, Rybova 2019, Rios, Picazo-Tadeo 2021, Storto 2021b, Sala-Garrido i in. 2022, Molinos-Senante i in. 2023, Osińska 2024a) oraz uwzględniając zasoby Banku Danych Lokalnych GUS, wzięto pod uwagę dziewięć następujących czynników:

- X_1 – udział bezrobotnych zarejestrowanych w liczbie ludności w wieku produkcyjnym [%],
- X_2 – dochody własne gminy na 1 mieszkańca [zł],
- X_3 – wskaźnik obciążenia demograficznego osobami starszymi [osoba],
- X_4 – gęstość zaludnienia [osoba],
- X_5 – przeciętna powierzchnia użytkowa mieszkania na 1 osobę [m²],
- X_6 – odsetek budynków mieszkalnych podłączonych do kanalizacji [%],
- X_7 – odsetek ludności rezydującej w wieku 13+ posiadającej wykształcenie wyższe [%],
- X_8 – ilość odpadów wytworzonych przez 1 mieszkańca [kg],
- X_9 – długość dróg o nawierzchni twardej przypadającą na 1 km² powierzchni gminy [km].

Model tobitowy (Tobit Regression Modelling, TRM) służy do analizy zmiennych zależnych cenzurowanych, a więc o ograniczonym zakresie wartości. W istocie wskaźnik efektywności DEA jest cenzurowany, ponieważ dla każdego obiektu efektywnego $\theta^{BCC} = 1$. Głównym założeniem modelu tobitowego jest to, że obiekty efektywne różnią się między sobą, a różnice te można zaobserwować chociażby w zmiennych niezależnych. Uważa się, że metoda ta jest bardziej odpowiednia niż klasyczna regresja liniowa, szczególnie w sytuacji kiedy zmienną zależną są współczynniki efektywności oszacowane metodami DEA (Storto, 2021b).

Niech Y będzie liniową kombinacją zmiennych X_1, X_2, \dots, X_9 , które hipotetycznie wpływają na $\theta^{BCC} \geq 1$. Model tobitowy można zapisać następująco:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_9 X_9 + \varepsilon,$$

gdzie $\varepsilon \sim N(0; \delta^2)$.

Współczynniki efektywności $\theta^{BCC} \geq 1$ są wyznaczone według formuły:

$$\theta^{BCC} = \begin{cases} Y, & \text{gdy } Y > 1 \\ 1, & \text{gdy } Y \leq 1 \end{cases}$$

Wektor parametrów $\beta = [\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_9]$ jest szacowany przy użyciu metody największej wiarygodności (Maximum Likelihood Estimation, MLE). Ze względu na to, że rozkład współczynnika efektywności jest różny od rozkładu normalnego, istotność statystyczną parametrów zbadano za pomocą procedury bootstrap (5000 replikacji).

Więcej na temat modeli tobitowych można przeczytać w opracowaniach: Tobin (1958), Kostrzewska (2011), Storto (2021b), Michels i Musschoff (2022).

Wynik badania

Efektywność gospodarowania odpadami komunalnymi w polskich gminach

W tabeli 2 zamieszczono statystyki opisowe współczynników efektywności gospodarowania w każdej z trzech rozpatrywanych grup gmin. Rozkład wartości współczynnika efektywności w grupie gmin wiejskich – pomimo zbliżonych średnich i zmienności – różni się od rozkładu wartości tego wskaźnika w grupach gmin miejsko-wiejskich czy miejskich. W gminach wiejskich obserwuje się większy rozrzut efektywności. Maksymalna wartość współczynnika efektywności w gminach wiejskich wynosi 20,76, podczas gdy w gminach miejsko-wiejskich – 8,87, natomiast w gminach miejskich – jedynie 5,81. Wysoka wartość skośności (5,86) i wyjątkowo duża kurtoza (97,58) świadczą o silnej asymetrii prawostronnej oraz obecności obserwacji odstających. Oznacza to, że większość gmin wiejskich charakteryzuje się relatywnie niskimi wartościami analizowanego miernika (są wysoko efektywne), a pojedyncze gminy osiągają wyniki zdecydowanie powyżej średniej. Z kolei gminy miejskie cechują się rozkładem najbardziej zbliżonym do rozkładu normalnego (skośność: 1,16, kurtoza: 2,88), co wskazuje na bardziej jednorodną strukturę i stabilniejsze warunki gospodarowania odpadami komunalnymi w tej grupie.

Należy zwrócić też uwagę na lokalizację gmin w poszczególnych grupach. Większość gmin efektywnych ($\theta^{BCC} = 1$) w każdej z rozpatrywanych grup zlokalizowana jest w województwach Polski Wschodniej¹. I tak:

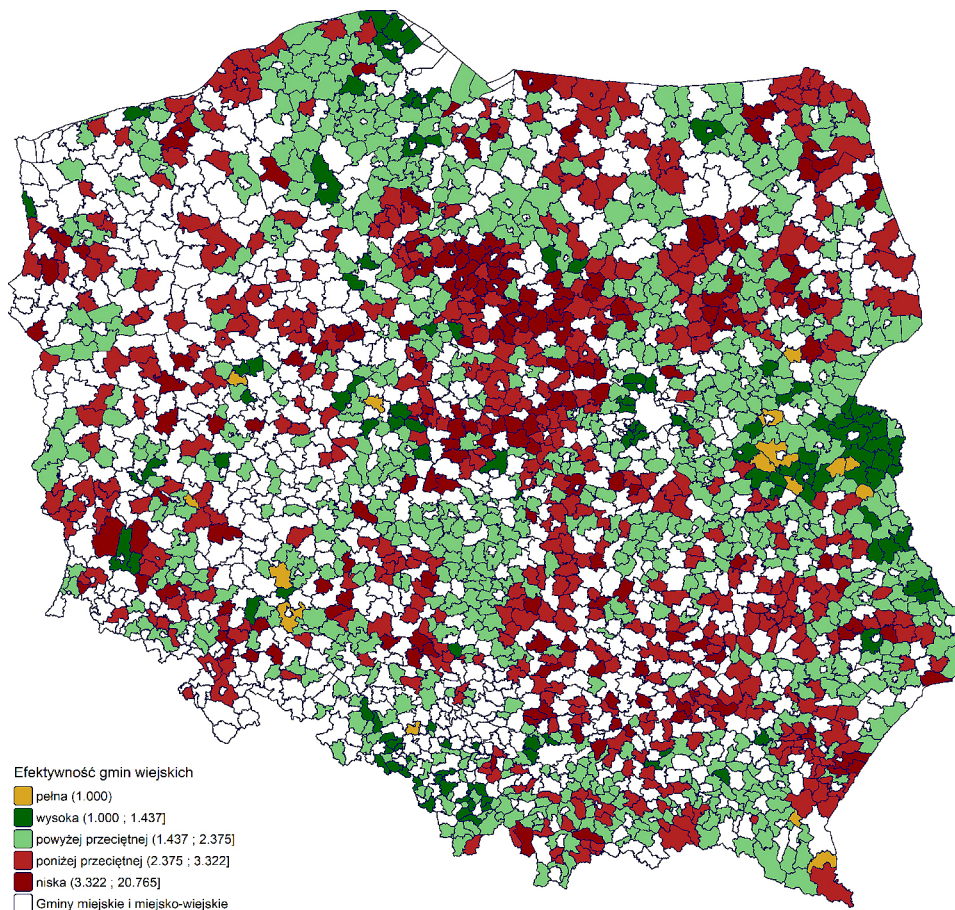
- W gminach wiejskich na 16 efektywnych gmin aż 9 zlokalizowanych jest w Polsce Wschodniej (6 gmin w województwie lubelskim, 2 gminy w województwie podkarpackim i 1 gmina w podlaskim) (ryc. 2). Z drugiej strony,

¹ W niniejszym opracowaniu termin „Polska Wschodnia” odnosi się do województw objętych programami rozwojowymi Unii Europejskiej i polskiej polityki regionalnej, tj. warmińsko-mazurskiego, podlaskiego, lubelskiego, świętokrzyskiego oraz podkarpackiego.

Tabela 2. Statystyki opisowe współczynnika efektywności gospodarowania odpadami w polskich gminach

Gminy	Maksimum	Minimum	Średnia	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności	Skośność	Kurttoza
wiejskie	20,76 Gowarczów (świętokrzyskie)	1 • Pełcław, Oława, Długoleka (dolnośląskie) • Rossosz, Łuków, Stanin, Podedwórze, Borki, Komarówka Podlaska (lubelskie) • Siedlce (mazowieckie) • Czarna, Tyrawa Wołoska (podkarpackie) • Perlejewo (podlaskie) • Pilchowice (śląskie) • Kazimierz Biskupi, Tarnowo Podgórne (wielkopolska)	2,37	0,95	39,90%	5,86	97,58
miejsko-wiejskie	8,87 Grodzisk Wielkopolski (wielkopolskie)	1 • Kock (lubelskie) • Koluszki (łódzkie) • Myślenice (małopolskie) • Piaseczno (mazowieckie) • Kleszczele (podlaskie) • Busko Zdrój, Pacanów, Koprzywnica (świętokrzyskie) • Swarzędz (wielkopolskie)	2,0	0,72	35,92%	2,66	15,77
miejskie	5,81 Radymno (podkarpackie)	1 • Nieszawa, Toruń (kujawsko-pomorskie) • Terespol, Łuków, Stoczek Łukowski, Radzyń Podlaski, Biała Podlaska (lubelskie) • Kraków (małopolskie) • Warszawa (mazowieckie) • Radymno (podkarpackie) • Bielsko-Biała (śląskie) • Poznań (wielkopolskie)	2,12	0,71	33,42%	1,15	2,87

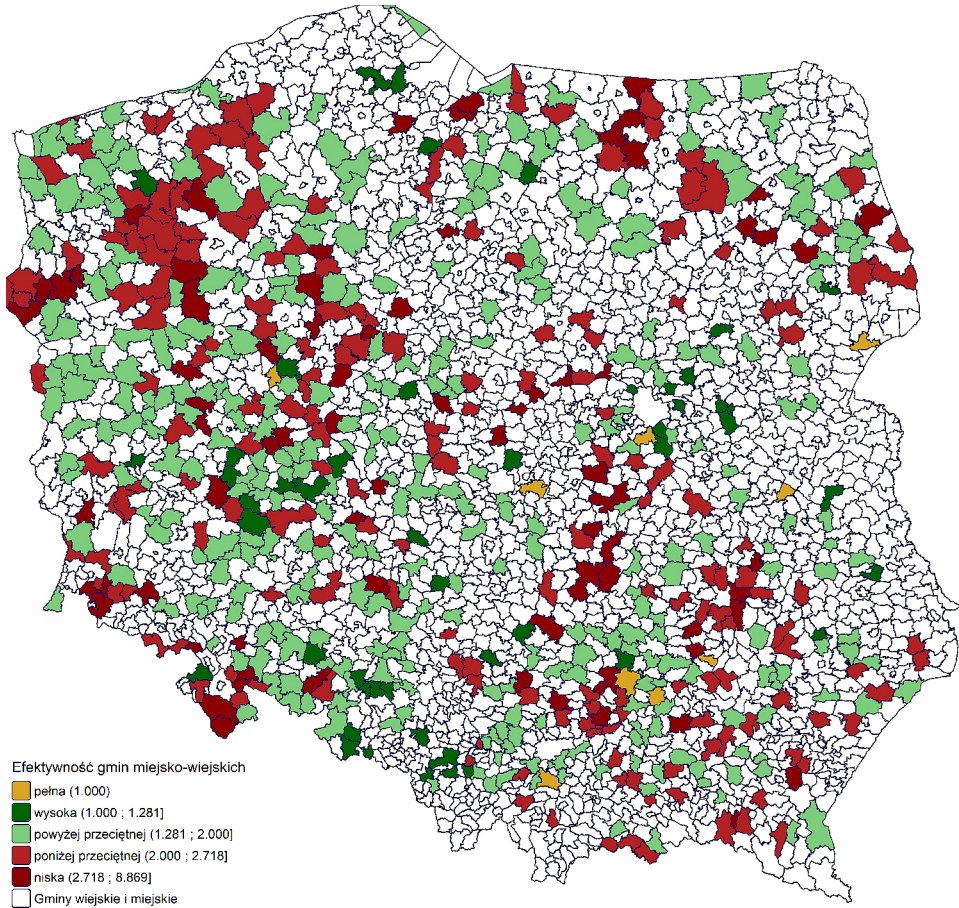
Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.



Ryc. 2. Efektywność gmin wiejskich w ujęciu przestrzennym
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

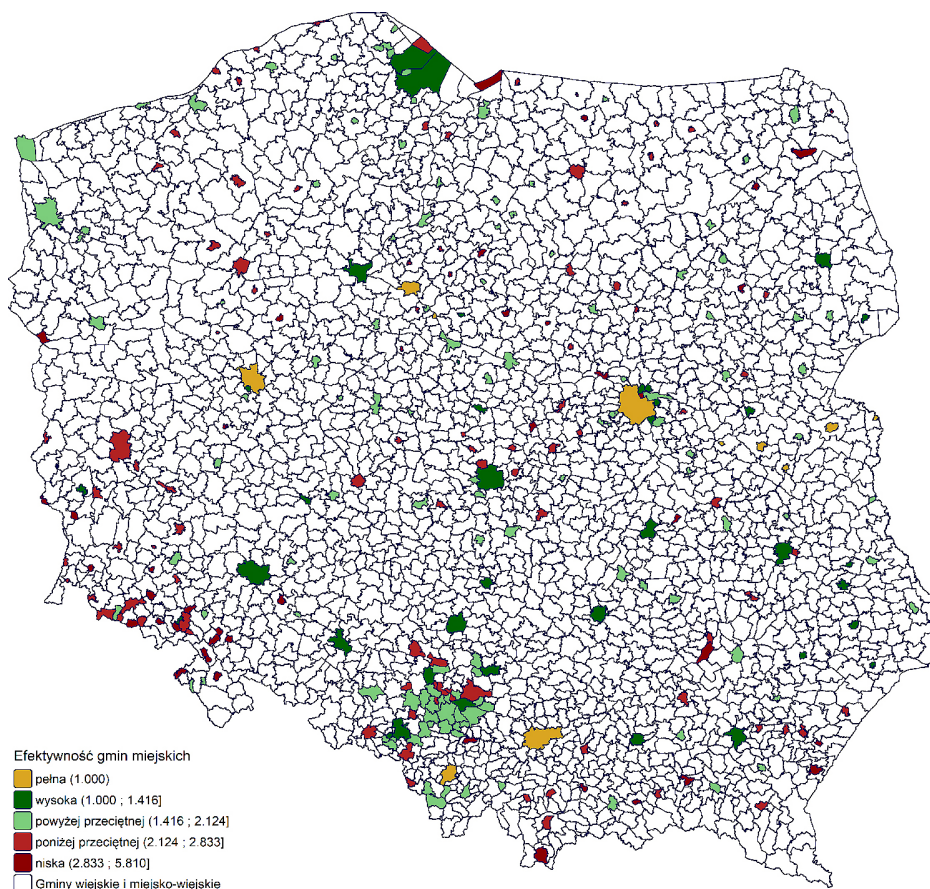
w Polsce Wschodniej można zauważyć duże nagromadzenie gmin wiejskich najsłabiej efektywnych, co pokazuje spore zróżnicowanie tej części Polski, jeśli chodzi o jakość systemów gospodarowania odpadami.

- W gminach miejsko-wiejskich na 9 efektywnych gmin aż 5 zlokalizowanych jest w Polsce Wschodniej (3 gminy w województwie świętokrzyskim, 1 gmina w lubelskim i 1 gmina w podlaskim) (ryc. 3). Duże nagromadzenie gmin miejsko-wiejskich najsłabiej efektywnych można dostrzec z kolei w zachodniej części Polski oraz województwach warmińsko-mazurskim i podlaskim.



Ryc. 3. Efektywność gmin miejsko-wiejskich w ujęciu przestrzennym
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

- W gminach miejskich 5 na 11 gmin efektywnych zlokalizowanych jest w województwach Polski Wschodniej i wszystkie pochodzą z województwa lubelskiego (ryc. 4). Nagromadzenie gmin miejskich najsłabiej efektywnych można dostrzec województwie dolnośląskim przy granicy z Czechami.



Ryc. 4. Efektywność gmin miejskich w ujęciu przestrzennym
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

Determinanty efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi

Wyniki oszacowań modelu tobitowego wraz z oceną istotności metodą bootstrap (5000 replikacji) przedstawiono w tabeli 3.

Stopy bezrobocia (X1) wykazała istotny negatywny wpływ na efektywność gospodarowania odpadami komunalnymi jedynie w gminach miejskich. Wzrost stopy bezrobocia wiąże się więc ze spadkiem efektywności w tych gminach. W literaturze wpływ stopy bezrobocia na efektywność gospodarowania odpadami nie jest również jednoznaczny. Osińska (2024a) wykazała istotnie ujemny wpływ stopy bezrobocia na efektywność przetwarzania odpadów komunalnych w krajach UE, zarówno przed wprowadzeniem dyrektywy (2018), jak i po. Z drugiej strony, Rybova (2019) pokazała, że stopa bezrobocia nie wpływała w sposób istotny statystycznie na odsetek zbieranych selektywnie odpadów komunalnych w regionach czeskich. Osoby bezrobotne wykazują mniejszą skłonność do segregacji

Tabela 3. Wyniki oszacowania modelu dla gmin wiejskich, miejsko-wiejskich i miejskich wraz z błędami standardowymi oszacowanymi przy użyciu metody bootstrap (5000 replikacji)

Nazwa wskaźnika	Symbol	Parametr	Błąd standardowy	Kierunek zależności	VIF
gminy wiejskie					
Przecięcie		3,453	0,186		
Stopa bezrobocia	X1	0,001	0,011		1,267
Dochody własne per capita	X2	0,00001	0,00002		1,541
Obciążenie osobami starszymi	X3	0,007	0,005		1,871
Gęstość zaludnienia	X4	-0,002***	0,0004	pozytywny	3,053
Powierzchnia mieszkania per capita	X5	-0,025***	0,007	pozytywny	2,660
Dostęp do kanalizacji	X6	-0,001*	0,001	pozytywny	1,336
Wykształcenie wyższe	X7	-0,022***	0,006	pozytywny	3,143
Wytworzone odpady per capita	X8	-0,0001	0,0002		1,853
Infrastruktura drogowa	X9	0,146**	0,057	negatywny	1,912
gminy miejsko-wiejskie					
Przecięcie		2,356	0,318		
Stopa bezrobocia	X1	0,014	0,013		1,265
Dochody własne per capita	X2	0,00008***	0,00003	negatywny	2,068
Obciążenie osobami starszymi	X3	0,012	0,008		1,229
Gęstość zaludnienia	X4	-0,0003	0,0004		3,101
Powierzchnia mieszkania per capita	X5	-0,003	0,011		2,577
Dostęp do kanalizacji	X6	-0,002	0,001		1,326
Wykształcenie wyższe	X7	-0,022**	0,009	pozytywny	2,412
Wytworzone odpady per capita	X8	-0,001***	0,0004	pozytywny	2,729
Infrastruktura drogowa	X9	-0,05	0,092		1,996
gminy miejskie					
Przecięcie		2,741	0,415		
Stopa bezrobocia	X1	0,064***	0,023	negatywny	1,238
Dochody własne per capita	X2	0,00005	0,00004		3,192
Obciążenie osobami starszymi	X3	-0,001	0,008		1,146
Gęstość zaludnienia	X4	0,00002	0,00007		1,493
Powierzchnia mieszkania per capita	X5	-0,03**	0,014	pozytywny	2,678
Dostęp do kanalizacji	X6	0,0002	0,002		1,042
Wykształcenie wyższe	X7	-0,02**	0,009	pozytywny	2,073
Wytworzone odpady per capita	X8	0,001*	0,0005	negatywny	3,322
Infrastruktura drogowa	X9	-0,001**	0,0006	pozytywny	1,779

***, **, * – parametr istotny statystycznie na poziomie 0,01, 0,05 i 0,1.

VIF < 5 (brak współliniowości).

Źródło: obliczenia własne na podstawie danych GUS.

odpadów, co wynika z koncentracji na zaspokajaniu podstawowych potrzeb życiowych, kosztem działań związanych z realizacją założeń gospodarki o obiegu zamkniętym. O ile w gminach wiejskich i miejsko-wiejskich, gdzie anonimowość jest mniejsza osoby te segregują odpady, o tyle w miastach o wysokim stopniu anonimowości taka segregacja się nie odbywa.

Okazało się, że dochody własne per capita (X2) istotnie wpływają na efektywność gospodarowania odpadami komunalnymi jedynie w gminach miejsko-wiejskich. Oznacza to, że wzrost dochodów własnych gminy per capita prowadzi do spadku tej efektywności. Jak wskazuje Antczak (2019), w zdecydowanej większości powiatów w Polsce dochody własne gmin nie wpływają istotnie na ilość generowanych odpadów. Wynik ten może więc tłumaczyć brak istotnego wpływu analizowanej zmiennej w gminach wiejskich i miejskich. Z drugiej strony, do 2021 r. koszty gospodarowania odpadami komunalnymi mogły być w całości pokrywane jedynie z opłat śmieciowych pobieranych od mieszkańców. Dopiero od 26 sierpnia 2021 r. ustawowo dopuszczono możliwość finansowania części tych kosztów z innych dochodów własnych gmin (Kotlińska, Żukowska 2023b). W konsekwencji wzrost dochodów własnych, jeśli nie wynika bezpośrednio ze zwiększenia wpływów z tytułu opłat za gospodarowanie odpadami, nie musi przekładać się na poprawę efektywności systemu. W gminach wiejskich i miejskich może być on neutralny, natomiast w gminach miejsko-wiejskich, jak pokazało badanie – wręcz negatywny, ponieważ dodatkowe środki zasilające budżet gminy są często przeznaczane na inne cele niż gospodarka odpadami komunalnymi.

Okazało się, że obciążenie osobami starszymi (X3) nie miało istotnego znaczenia w żadnej z analizowanych grup gmin. Uzyskany wynik jest zgodny z tymi prezentowanymi w literaturze (Rybova 2019, Setiawan 2020, Osińska 2024a).

Gęstość zaludnienia (X4) istotnie pozytywnie wpływa na efektywność gospodarowania odpadami komunalnymi jedynie w gminach wiejskich. Głównym problemem tych gmin jest rozproszenie punktów odbioru odpadów. Wzrost gęstości zaludnienia prowadzi więc do zwiększenia efektywności gospodarowania odpadami poprzez obniżenie kosztów transportu. W gminach miejsko-wiejskich i miejskich zmiany gęstości zaludnienia nie mają natomiast statystycznie istotnego wpływu na efektywność systemu. W literaturze wyniki dotyczące wpływu gęstości zaludnienia są również niejednoznaczne. Niektóre badania wykazują negatywny wpływ (Molinos-Senante i in. 2023, Osińska 2024a), inne wskazują na wpływ pozytywny (Storto 2021b), a jeszcze inne na brak zależności (Rybova 2019). Sala-Garrido i in. (2022) podkreślają, że istotność wpływu zależy od sposobu obliczania efektywności gospodarowania odpadami. Guerrini i in. (2017) wykazali, że ogólnie zależność między gęstością zaludnienia a efektywnością jest negatywna, choć kierunek tej relacji może nieznacznie się zmieniać w zależności od poziomu gęstości zaludnienia.

Powierzchnia mieszkania per capita (X5) oddziałuje pozytywnie na efektywność gospodarowania odpadami komunalnymi w gminach wiejskich i miejskich. Większa powierzchnia użytkowa mieszkania stwarza mieszkańcom lepsze warunki do segregacji odpadów, co przekłada się na wyższą efektywność gospodarowania nimi w gminie. Struk (2014) stwierdził, że udział mieszkańców gminy zamieszkujących budynki wielorodzinne (bloki) wywiera wpływ na efektywność gospodarowania odpadami komunalnymi w sposób istotny i negatywny. Głuszyński i in. (2024) pokazali, że głównym powodem braku zaangażowania Polaków w proces segregacji odpadów jest brak miejsca w mieszkaniach. Problem ten pogłębia dodatkowo poczucie anonimowości w zabudowie wielorodzinnej oraz brak kontroli zewnętrznej. Autorzy podkreślają, że to właśnie liczne osiedla wielorodzinne

stanowią główną przeszkodę w efektywnej segregacji odpadów komunalnych w dużych polskich miastach. Z kolei Guerrini i in. (2017) zwracają uwagę, że większe rodziny są zwykle lepiej zorganizowane w zakresie segregowania odpadów. Ponadto im liczniejsze gospodarstwo domowe, tym niższy koszt transportu odpadów przypadający na jednostkę ładunku. Odmienne wyniki uzyskała Rybova (2019), która wykazała odwrotną zależność między przeciętną liczebnością gospodarstwa domowego a odsetkiem odpadów komunalnych zbieranych selektywnie. Autorka zauważyła, że wzrost wielkości gospodarstw domowych prowadzi do spadku odsetka zbieranych selektywnie odpadów komunalnych.

Dostęp do kanalizacji (X6) wykazuje istotny, pozytywny wpływ na efektywność gospodarowania odpadami komunalnymi jedynie w gminach wiejskich. W 2023 r. dostęp do kanalizacji miało średnio 38,83% budynków mieszkalnych w gminach wiejskich, podczas gdy w gminach miejsko-wiejskich odsetek ten wynosił niemal 50%, a w gminach miejskich – 77,5%. Wzrost poziomu skanalizowania obszarów wiejskich sprzyja zatem poprawie efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi. Stąd można wnioskować, że gminy wiejskie dysponujące słabo rozwiniętą siecią kanalizacyjną częściej wdrażają zintegrowane systemy gospodarki wodno-ściekowej, co przekłada się na wyższy poziom koordynacji, planowania i monitorowania wszystkich usług komunalnych, w tym odbioru i przetwarzania odpadów.

Wykształcenie wyższe mieszkańców (X7) jako jedyna zmienna ma istotny i pozytywny wpływ na efektywność gospodarowania odpadami komunalnymi we wszystkich grupach gmin.

Wcześniejse badania wskazują na pozytywny związek między wyższym wykształceniem a świadomością segregacji odpadów (Macias, Piniarski 2016, Rogowska i in. 2024), podkreślając jego rolę w zwiększaniu efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi (Mwanza, Mbohwa 2017, Rios, Picazo-Tadeo 2021, Storto 2021a). Rogowska i in. (2024) potwierdzili to empirycznie, wykazując, że wyższe wykształcenie koreluje z lepszą wiedzą na temat segregacji odpadów. Smoliński i in. (2024) dodatkowo sugerują, że wykształcenie jest często powiązane z wyższymi dochodami, co może sprzyjać podejmowaniu proekologicznych aktywności.

Wytwarzanie odpadów per capita (X8) okazało się istotnym statystycznie czynnikiem wyjaśniającym zróżnicowanie efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi w gminach miejsko-wiejskich (wpływ pozytywny) oraz w gminach miejskich (wpływ negatywny). W gminach miejsko-wiejskich, w których przeciętna ilość wytwarzanych odpadów komunalnych jest niższa (323 kg/osobę wobec 407 kg/osobę w gminach miejskich), dodatni wpływ może wynikać z korzyści małej skali działalności. W gminach miejskich natomiast obserwowane są niekorzyści wynikające z dużej skali gospodarki odpadami. Uzyskane rezultaty pozostają spójne z wcześniejszymi ustaleniami literatury. Rios i Picazo-Tadeo (2021) wykazali, że zależność między PKB per capita (silnie skorelowanym z ilością wytwarzanych odpadów) a efektywnością selektywnej zbiórki odpadów komunalnych ma charakter pozytywny jedynie do osiągnięcia określonego poziomu PKB per capita, po którego przekroczeniu kierunek relacji ulega odwróceniu. Z kolei Lacko i Hajduova

(2018) stwierdzili, że w mniej rozwiniętych krajach Europy Wschodniej zależność ta jest istotna i pozytywna, natomiast w bardziej rozwiniętych krajach Europy Zachodniej – negatywna. W literaturze przedmiotu występują rozbieżne wyniki. Część badań wskazuje na dodatnią zależność między ilością wytwarzanych odpadów per capita a efektywnością gospodarowania nimi (Storto 2021b, Sala-Garrido i in. 2022), podczas gdy inne identyfikują zależność ujemną (Molinós-Senante i in. 2023). Brak istotnej relacji w grupie gmin wiejskich może wynikać z częstszej utylizacji odpadów we własnym zakresie przez gospodarstwa domowe. Dane BDL-GUS potwierdzają, że gminy wiejskie generują najmniejszą ilość odpadów komunalnych spośród analizowanych typów gmin. Tereny wiejskie stwarzają możliwości stosowania przydomowych kompostowników lub spalania odpadów w piecach domowych. Praktyki te mogą tłumaczyć najniższy obserwowany właśnie w gminach wiejskich poziom wytwarzania odpadów biodegradowalnych oraz papierowych. Uzyskany wynik wymaga jednak potwierdzenia w dalszych badaniach. Zasadne wydaje się również rozważenie włączenia do modelu zależności nieliniowych, które mogłyby lepiej uchwycić złożony charakter analizowanych relacji.

Dostęp do dróg utwardzonych (X9) okazał się istotnym statystycznie czynnikiem wyjaśniającym różnicowanie efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi w gminach wiejskich (wpływ negatywny) oraz w gminach miejskich (wpływ pozytywny). W gminach wiejskich rozbudowa infrastruktury drogowej obejmuje zazwyczaj liczne lokalne odcinki o ograniczonym znaczeniu transportowym, co prowadzi do wzrostu kosztów dojazdu i obsługi systemu gospodarowania odpadami, nie przekładając się jednocześnie na znaczącą poprawę efektywności. W gminach miejskich natomiast dobra dostępność dróg stanowi element szerszego systemu infrastrukturalnego, obejmującego m.in. punkty selektywnej zbiórki odpadów, instalacje komunalne oraz centra logistyczne. Pozwala to na optymalizację tras odbioru odpadów oraz bardziej sprawny i skoordynowany przepływ materiałów w systemie. Infrastruktura drogowa nie należy do czynników najczęściej analizowanych w badaniach nad determinantami efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi. Wyniki Storto (2021b) dotyczące gmin włoskich potwierdzają heterogeniczność gmin w tym zakresie: około 40% przeanalizowanych gmin charakteryzowało się zależnością dodatnią, natomiast 60% – zależnością ujemną. Autor podkreśla potrzebę dalszych badań, w szczególności uwzględniających zależności nieliniowe oraz analizę interakcji infrastruktury drogowej z innymi zmiennymi wpływającymi na efektywność systemu gospodarowania odpadami.

Zakończenie

Badanie dotyczyło efektywności gospodarowania odpadami komunalnymi w trzech typach gmin w Polsce: wiejskich, miejsko-wiejskich i miejskich. Średni poziom efektywności był zbliżony we wszystkich grupach, jednak gminy wiejskie cechowały się największym rozrzutem wyników, wskazując na obecność pojedynczych, wysoce nieefektywnych jednostek. Gminy miejskie wykazywały najbardziej jednorodny rozkład efektywności.

Analiza przestrzenna ujawniła, że większość gmin efektywnych znajduje się w Polsce Wschodniej, podczas gdy koncentracja gmin najmniej efektywnych różni się w zależności od typu gminy.

W modelu istotne okazały się różne czynniki ekonomiczno-społeczne: stopa bezrobocia negatywnie wpływała na efektywność w gminach miejskich, natomiast dochody własne per capita obniżały efektywność w gminach miejsko-wiejskich. Gęstość zaludnienia oraz dostęp do kanalizacji i powierzchnia mieszkania per capita pozytywnie wpływały na efektywność w gminach wiejskich, zaś dostęp do dróg utwardzonych miał odmienny wpływ: negatywny w gminach wiejskich i pozytywny w miejskich. Wytwarzanie odpadów per capita zwiększało efektywność w gminach miejsko-wiejskich, ale obniżało ją w miejskich. Wykształcenie wyższe mieszkańców było jedynym czynnikiem pozytywnie oddziałującym na efektywność we wszystkich grupach gmin.

Wyniki badania wskazują, że efektywność gospodarowania odpadami komunalnymi zależy zarówno od uwarunkowań strukturalnych gmin (urbanizacja, infrastruktura, dostępność usług komunalnych), jak i od świadomości społecznej mieszkańców, podkreślając pośrednio kluczową rolę lokalnych strategii zarządzania w kształtowaniu efektywnego systemu gospodarki odpadami. Uwarunkowania bowiem wpływające na efektywność gospodarowania odpadami różnią się pomiędzy analizowanymi typami gmin, co wskazuje, że również strategie zarządzania powinny być zróżnicowane i dostosowane do ich specyficznych potrzeb oraz lokalnego kontekstu.

Ograniczenia pracy i propozycje dalszych badań

Przeprowadzone badanie wnosi istotny wkład w ocenę efektywności selektywnej zbiórki odpadów komunalnych w polskich gminach, jednak posiada kilka ograniczeń.

Po pierwsze, wskaźnik „odpadów komunalnych wytworzonych w ciągu roku” wykorzystany do oszacowania efektywności w metodologii GUS odpowiada sumie odpadów odebranych w systemie, tj. odpadów zmieszanych oraz selektywnie zebranych, raportowanych przez gminy w BDL. Wskaźnik ten nie obejmuje części odpadów faktycznie wytwarzanych, zagospodarowywanych poza systemem (np. kompostowanie, spalanie). Ze względu jednak na brak możliwości oszacowania rzeczywistej ilości odpadów wytwarzanych na poziomie lokalnym, został on zastosowany jako jedyne dostępne i porównywalne źródło danych.

Po drugie, z uwagi na ograniczoną dostępność danych pominięto zmienne opisujące elementy terytorialne, organizacyjne i technologiczne systemów gospodarki odpadami (np. dostępność PSZOK, tryb zlecania usług, dostępność IPOK), które mogą wpływać na efektywność funkcjonowania systemów gospodarowania odpadami.

Po trzecie, analiza oparta jest na danych przekrojowych z 2023 r. Planowane jest rozszerzenie badań o podejścia umożliwiające porównania dynamiczne, np.

indeks Malmquista, który pozwoli uchwycić zmiany efektywności w czasie dla poszczególnych typów gmin.

W dalszych analizach przewidziane jest także uwzględnienie poziomów przygotowania do ponownego użycia i recyklingu, aby sprawdzić, czy gminy efektywne w selektywnej zbiórce osiągają również wyższe wyniki w realizacji wymogów prawnych.

Istotnym kierunkiem dalszych badań jest wyjaśnienie przyczyn najwyższej efektywności obserwowanej w gminach Polski Wschodniej, m.in. poprzez zastosowanie metody QCA, która umożliwi identyfikację różnych kombinacji czynników prowadzących do wysokiej efektywności oraz wyodrębnienie grup jednostek samorządu terytorialnego o wysokiej efektywności, reprezentujących podobne „ścieżki” zarządzania odpadami komunalnymi.

Konflikt interesów / wkład autorów

Autorzy deklarują brak występowania konfliktu interesów. Oświadczają, że tekst artykułu jest w całości ich dziełem. Podział pracy przy artykule wyglądał następująco:

- konceptualizacja: MO,
- metodologia: MO,
- organizacja badań: MO, PG,
- analiza formalna: MO, PG,
- pisanie: MO, PG.

Literatura / References

- Antczak E. 2019. Municipal waste in Poland: analysis of the spatial dimensions of determinants using geographically weighted regression. *European Spatial Research and Policy*, 26(2): 177–197. <https://dx.doi.org/10.18778/1231-1952.26.2.09>
- Brzozowska A.A., Łukomska-Szarek J., Brzeziński S., Brzeszczak A. 2024. Municipal waste management in the context of economic and organisational conditions at the local level in Poland. *Economics and Environment*, 88(1): 630. <https://doi.org/10.34659/eis.2024.88.1.630>
- Ciuła J., Bajdur W., Gronba-Chyła A., Kwaśnicki P. 2023. Transformation of Municipal Waste Management in Poland Towards a Circular Economy. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 25: 374–382. <https://doi.org/10.54740/ros.2023.038>
- Cooper W. W., Seiford L. M., Tone K. 2006. *Introduction to data envelopment analysis and its uses*. Springer. <https://doi.org/10.1007/0-387-29122-9>
- Dellnitz, A., Kleine, A., Rodder, W. 2018. CCR or BCC: what if we are in the wrong model? *Journal of Business Economics*, 88(3): 831–850. <https://doi.org/10.1007/s11573-018-0906-8>
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy. 22.11.2008.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów. 14.06.2018.
- Głuszyński P., Kobylińska A., Chodkiewicz E. 2024. Wyzwania gospodarki odpadami komunalnymi w gminach. Instytut Spraw Publicznych (<https://www.isp.org.pl/pl/publikacje/wyzwania-gospodarki-odpadami-komunalnymi-w-gminach>).

- Grupa Badawcza DSC Sp. z o.o. 2022. Badanie świadomości i zachowań ekologicznych mieszkańców Polski. Raport z badania trackingowego. Raport przygotowany dla Ministerstwa Klimatu i Środowiska (<https://www.gov.pl/attachment/36a223bd-2607-4545-88a6-edc2b4bb98d8>).
- Guerrini A., Carvalho P., Romano G., Marques R., Leardini C. 2017. Assessing efficiency drivers in municipal solid waste collection services through a non-parametric method. *Journal of Cleaner Production*, 147: 431–441. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.079>
- Guzik B. 2009. Podstawowe modele DEA w badaniu efektywności gospodarczej i społecznej. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań.
- Halkos G., Petrou K.N. 2018. Assessment of national waste generation in EU Member States' efficiency. *Munich Personal RePEc Archive* (https://mpra.ub.uni-muenchen.de/84590/1/MPPA_paper_84590.pdf).
- Kostrzewska J. 2011. Interpretacja w modelach tobitowych. *Przegląd Statystyczny*, 58(3–4): 256–280. <https://doi.org/10.59139/ps.2011.03-04.7>
- Kotlińska J., Żukowska H. 2023a. Municipal waste management in municipalities in Poland – towards a circular economy model. *Economics and Environment*, 85(2): 175–197. <https://doi.org/10.34659/eis.2023.85.2.565>
- Kotlińska J., Żukowska H. 2023b. Zadania gmin z zakresu gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce i źródła ich finansowania. *Przegląd Prawno-Ekonomiczny*, 4: 43–73. <https://doi.org/10.31743/ppe.16562>
- Lacko M., Hajduova Z. 2018. Determinants of Environmental Efficiency of the EU Countries Using Two-Step DEA Approach. *Sustainability*, 10(10): 207–217. <https://doi.org/10.3390/su10103525>
- Macias A., Piniarski W. 2016. Municipal Solid Waste Management Problems on a Local Scale: A Case Study from Rural Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(4): 1623–1632. <https://doi.org/10.15244/pjoes/62111>
- Michels M., Musshoff O. 2022. A tobit regression model for the timing of smartphone adoption in agriculture. *Heliyon*, 8(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11272>
- Molinos-Senante M., Maziotis A., Sala-Garrido R., Mocholi-Arce M. 2023. Factors influencing eco-efficiency of municipal solid waste management in Chile: A double-bootstrap approach. *Waste Management & Research*, 41(2): 457–466. <https://doi.org/10.1177/0734242X221122514>
- Mwanza B.G.M., Mbohwa C. 2017. Drivers to Sustainable Plastic Solid Waste Recycling: A Review. *Procedia Manufacturing*, 8: 649–656. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.083>
- Myna A., Matacz A. 2019. Efektywność kosztowa odbierania i skuteczność recyklingu odpadów komunalnych. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 1(544): 70–78. <https://doi.org/10.15611/pn.2019.544.08>
- NIK. 2023. Prawidłowość naliczania i egzekwowania opłat za gospodarowanie odpadami komunalnymi w wybranych gminach województwa mazowieckiego. LWA.430.005.2022 (nr ewid. 159/2022/P/22/083/LWA) (<https://www.nik.gov.pl/plik/id,27523,vp,30339.pdf>).
- NIK. 2024. Działania organów administracji publicznej na rzecz zapobiegania powstawaniu odpadów i zapewnienia recyklingu. KSI.430.7.2024 (nr ewid. 104/2024/P/23/039/KSI) (<https://www.nik.gov.pl/plik/id,30506,vp,33560.pdf>).
- Osińska M. 2024a. The determinants of municipal solid waste management efficiency in EU countries. *Economics and Environment*, 88(1): 637. <https://doi.org/10.34659/eis.2024.88.1.637>
- Osińska M. 2024b. Fuzzy-set Qualitative Comparative Analysis in the assessment of municipal solid waste treatment efficiency: A case study of EU countries. *International Journal of Management and Economics*, 60(5): 366–378. <https://doi.org/10.2478/ijme-2025-0005>
- Rios A., Picazo-Tadeo A. 2021. Measuring environmental performance in the treatment of municipal solid waste: The case of the European Union-28. *Ecological Indicators*, 123: 107328. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107328>
- Rogowska J., Piątkowska K., Głowacz Z. 2024. Societal Involvement in Household Waste Sorting Behavior in the Context of the Circular Economy: A Case Study of Poland. *Sustainability*, 16: 1841. <https://doi.org/10.3390/su16051841>
- Rybova K. 2019. Do Sociodemographic Characteristics in Waste Management Matter? Case study of recyclable Generation in the Czech Republic. *Sustainability*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/su11072030>

- Sala-Garrido R., Mocholi-Arce M., Molinos-Senante M., Maziotis A. 2022. Measuring technical, environmental and eco-efficiency in municipal solid waste management in Chile. *International Journal of Sustainable Engineering*, 15(1): 71–85. <https://doi.org/10.1080/19397038.2022.2053606>
- Setiawan R.P. 2020. Factors determining the public receptivity regarding waste sorting: a case study in Surabaya city, Indonesia. *Sustainable Environment Research*, 30(1). <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0042-3>
- Smol M., Kulczycka J., Czaplicka-Kotas A., Włóka M. 2019. Zarządzanie i monitorowanie gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce w kontekście gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ). *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią*, 108: 165–184. <https://doi.org/10.24425/znigsm.2019.130174>
- Smoliński P., Biegańska J., Środa-Murawska S. 2024. Differences in the environmental awareness of the Polish population. *Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum*, 23(2): 303–320. <https://doi.org/10.31648/aspal.9542>
- Storto C. 2021a. Productivity Analysis of Municipal Solid Waste Collection in Italy using SBM DEA Malmquist Index. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 837: 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/837/1/012002>
- Storto C. 2021b. Effectiveness-efficiency nexus in municipal solid waste management: A non-parametric evidence-based study. *Ecological Indicators*, 131: 108185. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108185>
- Struk M. 2014. Municipal Solid Waste Management Attributes and its Efficiency. *Proceedings of the 18th International Conference: Current Trends in Public Sector Research*. Brno, s. 336–343. (https://www.researchgate.net/publication/308900363_Municipal_Solid_Waste_Management_and_its_Efficiency).
- Tałałaj I.A. 2012. Standard życia mieszkańców województwa podlaskiego a ilość generowanych przez nich odpadów komunalnych. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 3/1: 201–211.
- Tobin J. 1958. Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables. *Econometrica*, 26(1): 24–36.
- Ustawa z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach (Dz.U. 2023 poz. 1469).
- Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2023 poz. 1587).
- Yang Q., Fu L., Liu X., Cheng M. 2018. Evaluating the Efficiency of Municipal Solid Waste Management in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11): 2448. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112448>
- Zhu J., Cook W. D. 2007. Modeling data Irregularities and Structural Complexities in Data Envelopment Analysis. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-71607-7>
- Zhu J., Zhang R. 2019. Efficiency Evaluation of Industrial Solid Waste Recycling Utilization Based on Improved DEA Model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 295(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/295/3/032024>

Diversity and determinants of municipal solid waste management efficiency in Polish municipalities

Abstract: The aim of the study is to assess the efficiency of municipal waste management in Polish municipalities and to identify the determinants of this efficiency. The analysis was conducted separately for each of the three groups of municipalities: rural, urban-rural, and urban. Municipal waste management efficiency was calculated using methods from the DEA family, while the determinants were identified using a Tobit model. The average efficiency level in 2023 was similar across all groups; however, rural municipalities exhibited the greatest dispersion of results, indicating the presence of individual, highly inefficient units. Urban municipalities showed the most homogeneous distribution of efficiency. Moreover, the spatial analysis revealed that most efficient municipalities are located in Eastern Poland, while the location of the least efficient municipalities varies depending on the municipality type.

The only factor that had a statistically significant impact on efficiency across all types of municipalities was the education level of residents, whereas the old-age dependency ratio was statistically

insignificant. Road infrastructure (a negative relationship in rural municipalities and a positive one in urban municipalities) and the amount of waste generated (a positive relationship in urban-rural municipalities and a negative one in urban municipalities) were significant in two groups but demonstrated opposite directions of influence. The remaining factors (unemployment rate, own revenues per capita, population density, access to sewerage, and dwelling area per capita) showed varying levels of significance depending on the group analyzed. The results highlight the crucial role of education in achieving increasingly efficient municipal waste management and the need to adapt local waste management strategies to environmental conditions.

Keywords: municipal waste, waste management, efficiency, DEA, Tobit regression modelling

Data przekazania tekstu: 23.12.2025; data zaakceptowania tekstu: 12.05.2026.

Article submitted: 23.12.2025; article accepted: 12.05.2026.