

# Efektywność wykorzystania zasobów naturalnych a stopień zapobiegania powstawaniu odpadów komunalnych w krajach Unii Europejskiej

Monika Osińska<sup>a</sup>

**Streszczenie.** Zapobieganie powstawaniu odpadów komunalnych jest nadrzędnym celem polityki gospodarczej i środowiskowej Unii Europejskiej, ponieważ zostało uznane za najsukuczniejszy sposób poprawy efektywności wykorzystania zasobów naturalnych i przerwania dodatniej zależności pomiędzy wzrostem gospodarczym krajów członkowskich a ilością wytwarzanych odpadów. Głównym celem badania omawianego w artykule jest porównanie krajów UE pod względem efektywności wykorzystania zasobów naturalnych oraz ocena siły i kierunku zależności między tą efektywnością a ilością wytwarzanych odpadów komunalnych. Ponadto zbadano siłę zależności pomiędzy ilością wytwarzanych odpadów komunalnych a rozwojem gospodarczym krajów UE, zarówno w ujęciu ogólnym, jak i w skupieniach krajów o różnej efektywności wykorzystania zasobów naturalnych. Wykorzystano dane statystyczne z bazy Eurostatu za lata 2011–2020. Zastosowano analizę skupień i analizę korelacji. Za pomocą metody *k*-średnich wyznaczono pięć skupień krajów ze względu na efektywność wykorzystania zasobów naturalnych. Stwierdzono, że kraje o wysokiej efektywności wykorzystania zasobów produkują więcej odpadów komunalnych per capita, a to stoi w sprzeczności z założeniami polityki UE. Z kolei analiza korelacji uwioczniała, że utrzymuje się zależność między PKB per capita a ilością wytwarzanych odpadów komunalnych per capita (współczynnik korelacji liniowej Pearsona tych dwóch wielkości od 2011 r. jest niezmiennie dodatni i pozostaje na istotnym poziomie). Siła tej relacji nie słabnie wraz ze wzrostem efektywności wykorzystania zasobów. Przeprowadzone badanie dowiodło także, że kraje UE uzależniają skalę recyklingu od ilości wytwarzanych odpadów komunalnych, co może stanowić poważne zagrożenie na drodze do zminimalizowania ilości odpadów i osiągnięcia unijnych celów w tym zakresie.

**Słowa kluczowe:** wzrost gospodarczy, odpady komunalne, zasoby naturalne, efektywność wykorzystania zasobów, zapobieganie powstawaniu odpadów, analiza skupień, analiza korelacji

**JEL:** C10, C12, C20, Q32, Q53

---

<sup>a</sup> Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Instytut Informatyki i Ekonomii Ilościowej, Polska / Poznań University of Economics and Business, Institute of Informatics and Quantitative Economics, Poland.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9722-6940>. E-mail: [monika.osinska@ue.poznan.pl](mailto:monika.osinska@ue.poznan.pl).

# Natural resource efficiency and the extent of municipal waste prevention in European Union countries

**Abstract.** Municipal waste prevention is the key objective of the European Union's environmental policy, as it is believed to be the most effective way to improve the natural resource efficiency and to stop economic growth intensifying the generation municipal waste in member states. The main aim of this paper is to compare the efficiency of the use of natural resources in particular EU states and to investigate the strength and direction of the correlation between the former and the amount of the generated municipal waste. Moreover, the study assesses the strength of the relationship between the amount of the generated municipal waste and the economic growth of member states both at EU level and in groups of countries characterised by similar levels of resource efficiency. The study used statistical data from the Eurostat database for 2011–2020 and performed the cluster and correlation analyses. Five groups of countries, formed on the basis of their natural resources efficiency, were distinguished from the sample using the *k*-means method. The results showed that the higher the resource efficiency, the more municipal waste per capita is generated by a country, which is inconsistent with the assumptions of the EU policy. The correlation analysis found that the relationship between economic growth and the amount of the generated municipal waste exists (Pearson's linear correlation coefficient for these two values has been positive since 2011 and has remained at a relatively high level). The strength of this correlation has not been weakened along the increase in the resource efficiency. The study additionally demonstrates that EU member states link the scale of the recycling activity to the amount of the generated municipal waste, which might pose to a serious threat to the EU target to minimise the amount of the generated municipal waste.

**Keywords:** economic growth, municipal waste, natural resources, resource efficiency, municipal waste prevention, cluster analysis, correlation analysis

## 1. Wprowadzenie

Od wielu lat obserwuje się dodatnią zależność między wzrostem gospodarczym mierzonym za pomocą PKB per capita a ilością wytwarzanych odpadów per capita (European Environment Agency [EEA], 2023). Bank Światowy wylicza, że w 2050 r. mieszkańcy globu będą wytwarzali aż 3,88 mld t stałych odpadów, aż o 73 proc. więcej niż w roku 2020 (The World Bank, 2022). EEA (2022) zwraca uwagę, że co prawda w ostatnich latach pomimo wzrostu gospodarczego nastąpiło nieznaczne spowolnienie wzrostu wytwarzania odpadów w UE, jednak jest ono wciąż zbyt słabe, aby mówić o przerwaniu zależności między tymi wielkościami.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy (dalej: Dyrektywa 2008/98/WE) ustanowiła ramy prawne dotyczące przetwarzania odpadów przez kraje członkowskie. Dokument określa sposoby postępowania z odpadami według następującej hierarchii:

- zapobieganie;
- przygotowanie do ponownego użycia;
- recykling;
- inne metody odzysku, w tym odzysk energii;
- unieszkodliwianie.

Zapobieganie powstawaniu odpadów jest nadrzędnym celem polityki gospodarczej i środowiskowej UE od wielu lat. Dyrektywa 2008/98/WE wprowadziła wymóg opracowywania przez kraje członkowskie programów zapobiegania powstawaniu odpadów. Programy te mają doprowadzić do takiego stanu, że wzrost gospodarczy przestanie być jednoznaczny ze wzrostem ilości odpadów.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów (dalej: Dyrektywa 2018/851/WE) zaostrzyła przepisy dotyczące zapobiegania powstawaniu odpadów. Zgodnie z jej założeniami powinno to zmobilizować kraje europejskie do podjęcia wszelkich środków mających na celu zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów.

Komisja Europejska (b.r.) podkreśla, że przejście z liniowego modelu weź–wyprodukuj–zużyj–wyrzuć na model regeneracyjnego wzrostu (inaczej: gospodarkę o obiegu zamkniętym – GOZ) jest niezbędne do utrzymania konsumpcji zasobów naturalnych w rozsądnych granicach (Smol i in., 2019). Podaje, że jeśli nie zostaną podjęte żadne środki zaradcze, to do 2050 r. będziemy potrzebować zasobów naturalnych z trzech planet Ziemi. W GOZ wartość produktów, materiałów i zasobów jest utrzymywana tak długo, jak to możliwe, a wytwarzanie odpadów ograniczane do minimum, co pozwala poprawić efektywność gospodarki, prowadzi do redukcji kosztów operacyjnych, zwiększa rentowność oraz redukuje negatywny wpływ działalności na środowisko (Gorokhova i in., 2023). Głównym celem jest zatem osiągnięcie samowystarczalności zasobowej przez gospodarki europejskie.

W Dyrektywie 2018/851/WE zwrócono uwagę, że zmniejszenie zależności UE od importu surowców oraz przejście na bardziej zrównoważoną gospodarkę materiałami i model GOZ jest możliwe dzięki poprawie efektywności wykorzystania zasobów naturalnych oraz wykorzystaniu surowców wtórnych pochodzących z recyklingu jako zasobów w procesie produkcji. A najbardziej skutecznym sposobem poprawy efektywności wykorzystania zasobów naturalnych jest zapobieganie powstawaniu odpadów.

EEA (2019) podkreśla, że

Europa nadal wytwarza duże ilości odpadów, pomimo że trendy w tym zakresie są raczej stabilne i istnieje dążenie do oddzielenia wytwarzania odpadów od rozwoju gospodarczego (ang. *decoupling*). Jednocześnie odpady są coraz bardziej postrzegane w europejskiej gospodarce jako cenne źródło zasobów. Odsetek odpadów poddawanych recyklingowi powoli rośnie, natomiast ilość składowanych odpadów spada. Różnice między wynikami poszczególnych państw są jednak wciąż duże.

Shpak i in. (2021) przyznają, że UE jest postrzegana jako światowy lider w implementacji założeń GOZ, jednak efekty transformacji zależą w dużej mierze od aktywności krajów członkowskich. Według Vranjanaca i Rađenovicia (2022) zróżnicowanie krajów UE pod względem stopnia transformacji w kierunku GOZ jest nadal bardzo duże. Wnioski te potwierdza weryfikacja sposobu gospodarowania odpadami z tworzyw sztucznych w Europie przeprowadzona przez Najwyższą Izbę Kontroli (NIK). Kontrola ujawniła, że środki podejmowane przez kraje UE są „niewystarczające, aby ograniczyć wytwarzanie odpadów z tworzyw sztucznych i zapewnić ich właściwe przetwarzanie”, a „gospodarka o obiegu zamkniętym jest na razie bardziej widoczna jako teoretyczny koncept niż praktyczne działania podejmowane w poszczególnych krajach objętych audytem” (NIK, 2022, s. 15).

Głównym celem badania omawianego w artykule jest porównanie krajów UE pod względem efektywności wykorzystania zasobów naturalnych oraz ocena siły i kierunku zależności zachodzącej między tą efektywnością a ilością wytwarzanych odpadów komunalnych. Ponadto zbadano siłę zależności między ilością wytwarzanych odpadów komunalnych a rozwojem gospodarczym krajów UE zarówno w ujęciu ogólnym, jak i w skupieniach krajów o różnej efektywności wykorzystania zasobów naturalnych. Badanie dotyczyło odpadów komunalnych, ponieważ – jak wynika z Dyrektywy 2018/851/WE – jest to „jeden z najbardziej złożonych strumieni odpadów i sposób gospodarowania nim zasadniczo świadczy o jakości całego systemu gospodarowania odpadami w danym państwie”.

## 2. Metoda badania

Badanie obejmowało 27 krajów UE i opierało się na danych statystycznych zaczerpniętych z bazy Eurostatu (b.r.) za lata 2011–2020. Składało się z następujących etapów:

1. Wybór wskaźników określających efektywność wykorzystania zasobów naturalnych. Do oceny efektywności wykorzystania zasobów naturalnych wybrano dwa wskaźniki (Główny Urząd Statystyczny [GUS], b.r. a):
  - produktywności zasobów (ang. *resource productivity* – RP), czyli stosunek PKB do krajowej konsumpcji materialnej (ang. *domestic material consumption* – DMC; w euro/kg);
  - powtórnego wykorzystania materiałów (ang. *circular material use* – CMU), czyli udział materiału odzyskanego i wprowadzonego ponownie do obiegu gospodarki w zużyciu materiału ogółem (GUS, b.r. b).

Wzrost efektywności wykorzystania zasobów naturalnych powinien zostać odzwierciedlony nie tylko przez wzrost wskaźnika produktywności zasobów, lecz także wzrost wskaźnika ponownego wykorzystania materiałów (EEA, 2020).

2. Podział krajów na skupienia na podstawie wartości RP i CMU. Pięciokrotnie zastosowano metodę *k*-średnich i za każdym razem otrzymywano inną liczbę sku-

pień (2–6). Wybór metody  $k$ -średnich był podyktowany tym, że jest ona jedną z najpopularniejszych metod grupowania (Lander, 2018), powszechnie stosowaną w analizach danych z różnych dziedzin (Sobolewski i Sokołowski, 2017). Zapewnia minimalizację wariancji wewnątrzgrupowej i pozwala uzyskać bardziej zwarte skupienia obiektów w porównaniu z innymi metodami. Do wyboru optymalnej liczby skupień wykorzystano wskaźnik Hartigana, który według Landera (2018) jest najodpowiedniejszy przy zastosowaniu metody  $k$ -średnich. W celach porównawczych obliczono wartości kilku innych wskaźników oceny jakości podziału, tj. Calińskiego i Harabasa, Bakera i Huberta oraz Huberta i Levina. Szczegółowy opis wymienionych wskaźników znajduje się w publikacjach Walesiaka (2007, 2013). Obliczenia przeprowadzono w programie R (pakiet ClusterSim).

3. Weryfikacja relacji między stopniem zapobiegania powstawaniu odpadów a efektywnością wykorzystania zasobów naturalnych. W zestawieniu 1 zaprezentowano wskaźniki, które posłużyły do oceny stopnia zapobiegania powstawaniu odpadów. Mają one charakter destymulant, co oznacza, że wzrost wartości danego wskaźnika jest równoznaczny ze spadkiem stopnia zapobiegania wytwarzaniu odpadów. Za rok bazowy przyjęto 2018 ze względu na wejście w życie Dyrektywy 2018/851/WE, która – jak wspomniano – poprzez zaostrenie przepisów miała zmobilizować kraje UE do zmniejszenia ilości wytwarzanych odpadów.

#### Zestawienie 1. Wskaźniki zapobiegania powstawaniu odpadów

Nazwa	Definicja
Tempo wytwarzania odpadów ogółem	ilość odpadów ogółem wytworzonych w 2020 r. w stosunku do ilości odpadów wytworzonych w 2018 r. (2018 = 100)
Poziom odpadów komunalnych per capita	ilość odpadów komunalnych per capita wytworzonych w 2020 r. w kg/osobę
Tempo wytwarzania odpadów komunalnych	ilość odpadów komunalnych wytworzonych w 2020 r. w stosunku do ilości odpadów komunalnych wytworzonych w 2018 r. (2018 = 100)
Udział odpadów komunalnych	udział odpadów komunalnych w całości wytworzonych odpadów w %

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Eurostat (b.r.).

Ten etap badania polegał na wyliczeniu współczynników korelacji pomiędzy wskaźnikami z zestawienia 1 oraz RP i CMU. W celu weryfikacji istotności statystycznej współczynników korelacji wyznaczono wartość statystyki testowej o dwustronnym rozkładzie  $t$ -Studenta (Aczel, 2000):

$$H_0: \rho = 0,$$

$$H_1: \rho \neq 0,$$

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \sim t(n-2), \quad (1)$$

gdzie:

$\rho$  – współczynnik korelacji w populacji (nieznany),

$r$  – współczynnik korelacji z próby,

$n$  – liczebność próby.

Obliczenia wykonano w programie GRETL.

4. Wyliczenie współczynników korelacji PKB per capita i poziomu odpadów komunalnych per capita w latach 2011–2020. Oceniono siłę relacji, w jakiej pozostają powyższe wskaźniki w analizowanym okresie. Ten etap badania został również przeprowadzony w programie GRETL.
5. Oszacowanie współczynników korelacji PKB per capita i poziomu odpadów komunalnych per capita w poszczególnych skupieniach. Porównano siłę tej relacji w skupieniach krajów o niskiej efektywności wykorzystania zasobów z siłą relacji w skupieniach krajów o wysokiej efektywności.

### 3. Wyniki badania

#### 3.1. Efektywność wykorzystania zasobów naturalnych w UE

Na podstawie danych za 2020 r. można zaobserwować pozytywną zależność między RP a CMU, co jest zgodne z założeniami GOZ (EEA, 2020). Kraje, które wykorzystują więcej materiałów recyklingowych w procesie produkcji, powinny zużywać mniej zasobów naturalnych, co powinno prowadzić do wzrostu PKB przypadającego na 1 kg zużywanych zasobów. Współczynnik korelacji tych wskaźników wynosi 0,691 i jest istotnie różny od 0. Jednak zróżnicowanie wartości tych wskaźników między krajami UE jest dość duże (współczynnik zmienności dla CMU wynosi ponad 73%, a dla RP – 64%). Ponadto gdyby dopasować linię regresji do danych jedynie za pomocą CMU, to udałoby się wyjaśnić 50% zmienności RP. Po oszacowaniu parametrów klasyczną metodą najmniejszych kwadratów (KMNK) model liniowy przedstawia się następująco (w nawiasach podano wartości  $p$  testu  $t$ -Studenta)<sup>1</sup>:

$$RP = 0,786879 + 0,11778 \cdot CMU, \quad (2)$$

$$(0,0175) \quad (6,615e-05)$$

$$R^2 = 44,74\%.$$

<sup>1</sup> Jakość uzyskanego modelu została oceniona w programie GRETL za pomocą dostępnych testów statystycznych. Model spełnia założenia KMNK: specyfikacja liniowa modelu jest właściwa (test RESET Ramsey), składniki resztowe  $\epsilon$  są homoskedastyczne (test White'a) i pochodzą z rozkładu normalnego (test Doornika-Hansena).

W kolejnym kroku podzielono kraje ze względu na efektywność wykorzystania zasobów określoną przez RP i CMU. W celu wyodrębnienia skupień zastosowano metodę *k*-średnich. Wskaźnik Hartigana przyjmuje minimalną wartość dla podziału na pięć skupień, co potwierdzają wartości pozostałych miar oceny jakości podziału (z wyjątkiem wskaźnika Calińskiego i Harabasa – tabl. 1), dlatego ten podział uznano za optymalny.

**Tabl. 1.** Wartości wskaźników oceny jakości podziału krajów ze względu na efektywność wykorzystania zasobów naturalnych

Wskaźniki	Liczba skupień				
	2	3	4	5	6
Hartigana (min.) .....	24,34	6,49	3,69	<b>1,15</b>	12,84
Calińskiego i Harabasa (maks.) .....	29,60	<b>32,24</b>	24,48	24,97	20,24
Bakera i Huberta (maks.) .....	0,658	0,654	0,657	<b>0,776</b>	0,711
Huberta i Levina (min.) .....	0,18	0,12	0,17	<b>0,03</b>	0,04

Uwaga. W nawiasach podano kierunek optymalizacji wskaźników. Pogrubioną czcionką oznaczono optymalny podział.

Źródło: obliczenia własne wykonane w programie R na podstawie: Eurostat (b.r.).

Wyniki klasyfikacji krajów podano w zestawieniu 2.

**Zestawienie 2.** Średnia i współczynnik zmienności wskaźników produktywności zasobów i powtórnego wykorzystania materiałów w grupach krajów

Wyszczególnienie	Grupy efektywności wykorzystania zasobów				
	I (wysoka)	II (średnia)	III (niska)	IV (zasoboo- oszczędność)	V (zasobochłonność)
Kraje .....	BE, FR, IT, LU, NL	AT, DE, DK, ES, MT, SE, SI	BG, CY, FI, GR, HR, LT, LV, PT, RO, SK	IE	CZ, EE, HU, PL
RP ..... Średnia w euro/kg <sup>a</sup>	4,02	2,24	1,07	3,3	0,97
zmienność w %	25	19	37	.	30
CMU ..... Średnia w % <sup>b</sup>	22,26	10,23	4,12	1,8	12,33
zmienność w %	28	25	42	.	31

a, b Średnia dla UE: a – 1,99, b – 10,19.

Uwaga. AT – Austria, BE – Belgia, BG – Bułgaria, CY – Cypr, CZ – Czechy, DE – Niemcy, DK – Dania, EE – Estonia, ES – Hiszpania, FI – Finlandia, FR – Francja, GR – Grecja, HR – Chorwacja, HU – Węgry, IE – Irlandia, IT – Włochy, LT – Litwa, LU – Luksemburg, LV – Łotwa, MT – Malta, NL – Holandia, PL – Polska, PT – Portugalia, RO – Rumunia, SE – Szwecja, SI – Słowenia, SK – Słowacja.

Źródło: obliczenia własne wykonane w programie Excel na podstawie: Eurostat (b.r.).

Grupę I tworzą kraje o relatywnie wysokiej efektywności wykorzystania zasobów naturalnych (charakteryzujące się wartościami RP i CMU wyższymi od średniej unijnej). W dużym stopniu zastępują one zasoby naturalne zużywane w procesie produkcji materiałami z recyklingu, co podnosi efektywność wykorzystania zasobów naturalnych. Do tej grupy należą: Belgia, Francja, Holandia, Luksemburg i Włochy. Skupienie to charakteryzuje się najwyższą średnią RP spośród wszystkich rozpatrywanych skupień, która wynosi 4,02 euro/kg (średnia UE – 1,99 euro/kg), i najwyższą średnią CMU – 22,26% (średnia UE – 10,19%).

W grupie II znajdują się kraje o średniej efektywności wykorzystania zasobów naturalnych (wartości RP i CMU są zbliżone do średniej unijnej): Austria, Dania, Hiszpania, Malta, Niemcy, Słowenia i Szwecja.

Kraje, które mieszczą się w grupie III, charakteryzuje niska efektywność wykorzystania zasobów naturalnych. W tym przypadku relatywnie niska średnia RP (1,07 euro/kg) częściowo wynika z niskiej średniej CMU (4,12%). Do tej grupy należą: Bułgaria, Chorwacja, Cypr, Finlandia, Grecja, Litwa, Łotwa, Portugalia, Rumunia i Słowacja.

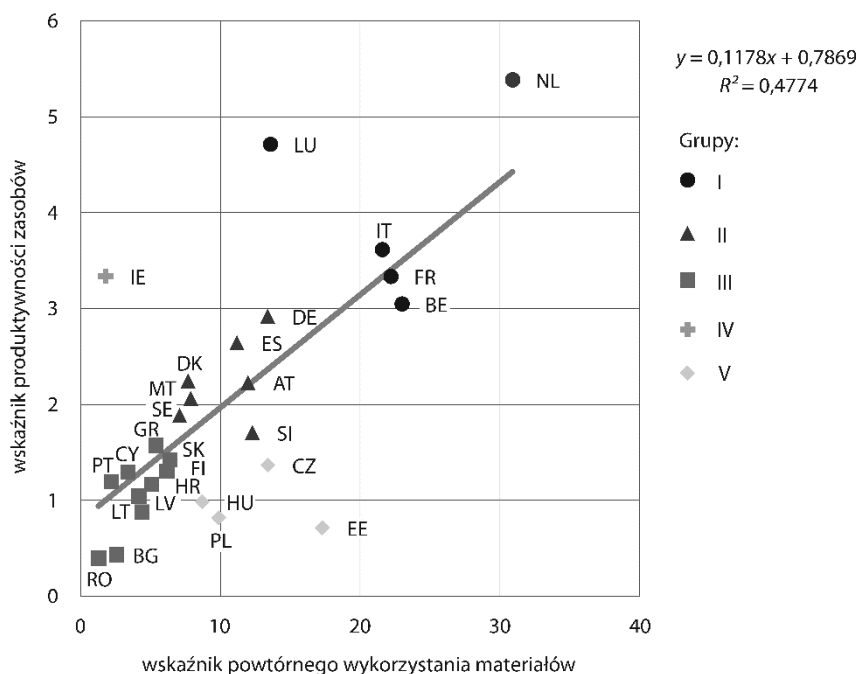
Do grupy IV (zasobooszczędnej) zakwalifikowała się tylko Irlandia – z wysokim RP (3,33 euro/kg), ale niskim CMU (1,8%), przez co jest postrzegana jako kraj nieefektywnie wykorzystujący zasoby. Powodem niskiego CMU jest deficyt materiałów recyklingowych – Irlandia ma jedną z najniższych wartości wskaźnika recyklingu w UE (w 2020 r. przetworzyła w ten sposób jedynie niecałe 9% wytworzonych odpadów komunalnych, podczas gdy średnia UE wyniosła 13,6%). Ponadto pod względem ilości wytworzonych odpadów komunalnych (555 kg per capita) znalazła się powyżej średniej UE (533 kg per capita).

Grupę V (zasobochłonną) tworzą kraje, które osiągają najniższą średnią RP (0,97 euro/kg) przy relatywnie wysokiej średniej CMU (12,33%). Są to: Czechy, Estonia, Polska i Węgry.

Na wyk. 1 zilustrowano podział krajów na skupienia. Widać na nim, że kraje poprawiające efektywność wykorzystywania zasobów naturalnych przesuwiają się w górę równoległe do linii regresji, której nachylenie informuje o tym, że jednostkowy wzrost CMU prowadzi do wzrostu RP średnio o 0,12 euro/kg. Analiza natężenia zmian w poszczególnych skupieniach daje zróżnicowane wyniki – w jednych skupieniach przyrosty są większe, w innych mniejsze od przyrostu wyznaczonego dla krajów ogółem.



**Wykr. 1.** Rozrzut wartości wskaźnika produktywności zasobów względem wartości wskaźnika powtórnego wykorzystania materiałów w krajach UE w 2020 r.



Źródło: opracowanie własne wykonane w programie Excel na podstawie: Eurostat (b.r.).

Zróźnicowanie obserwowane wewnątrz skupienia krajów o niskim RP wynika z tego, że niska wartość tego wskaźnika może być efektem:

- nieodpowiednich decyzji rządzących – w przypadku tych krajów wzrost CMU powinien przełożyć się na wyższą wartość RP;
- wysokiej zasobochłonności gospodarek – wtedy wzrost CMU nie przełoży się na wzrost RP w takim samym stopniu, jak w wyróżnionej wyżej grupie krajów. Dotyczy to np. Bułgarii, Estonii, Polski czy Rumunii, których gospodarki są w dużej mierze oparte na przemyśle wydobywczym (EEA, 2020).

### 3.2. Zapobieganie powstawaniu odpadów w UE

Jak wspomniano, zapobieganie powstawaniu odpadów jest uznawane w UE za najskuteczniejszy sposób poprawy efektywności wykorzystania zasobów naturalnych. Również EEA (2022) przypisuje temu działaniu szczególną rolę w procesie transformacji w kierunku GOZ. Zwraca uwagę, że w 2018 r. w stosunku do 2014 r. osiągnię-

to spowolnienie wzrostu wytwarzania odpadów w UE w odniesieniu do wzrostu gospodarczego, czyli tzw. oddzielenie względne. W 2020 r. w stosunku do 2018 r. zaobserwowano spadek wytworzonych odpadów ogółem per capita w całej UE średnio o 4%, jednak w stosunku do odpadów komunalnych per capita nastąpił wzrost średnio o 7%, chociaż panowało wtedy spowolnienie gospodarcze wywołane pandemią COVID-19. Jak wyjaśnia Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD, 2021), w 2020 r. kraje wstrzymały tymczasowo swoją aktywność recyklingową związaną z segregacją odpadów, co w połączeniu ze zwiększeniem skali zakupów online, liczby zamówień posiłków na wynos i zużycia jednorazowych środków ochrony osobistej doprowadziło do wzrostu ilości wytworzonych odpadów. Aby przeciwdziałać spowolnieniu gospodarczemu, większość krajów uruchomiła programy naprawcze, których celem było osłabienie negatywnych skutków pandemii. Jednak w większości krajów – jak wynika z badania przeprowadzonego przez OECD (2021) – jedynie 1% wszystkich funduszy przeznaczonych na naprawę skutków pandemii wykorzystano na zarządzanie odpadami i podnoszenie efektywności wykorzystania zasobów.

Wartości analizowanych wskaźników świadczą o tym, że przygotowane przez poszczególne kraje programy zapobiegania powstawaniu odpadów nie sprawdziły się w obliczu pandemii. Wprowadzenie zmian do tych programów stanowi zatem pierwszy krok na drodze do wyjścia z kryzysu ekologicznego. Jednak w 2022 r. 10 z 32 krajów europejskich nawet nie miało takiego programu (EEA, 2022), choć jest on wymagany przez przepisy europejskie. Bagatelizowanie tego wymogu znajduje odzwierciedlenie w wynikach korelacji wskaźników efektywności wykorzystania zasobów naturalnych i stopnia wytwarzania odpadów, która powinna być – zgodnie ze stanowiskiem UE – ujemna i istotna. Wzrost efektywności wykorzystania zasobów naturalnych powinien iść w parze ze spadkiem ilości wytworzonych odpadów, a w 2020 r. tak nie było (tabl. 2).

**Tabl. 2.** Wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona wskaźników zapobiegania powstawaniu odpadów i wskaźników efektywności wykorzystania zasobów naturalnych

Zapobieganie powstawaniu odpadów	Efektywność wykorzystania zasobów naturalnych			
	RP		CMU	
		wartość $p$		wartość $p$
Tempo wytwarzania odpadów ogółem ....	0,002	0,993	-0,132	0,513
Poziom odpadów komunalnych .....	0,509*	0,007	0,225	0,259
Tempo wytwarzania odpadów komunalnych .....	0,091	0,653	0,283	0,152
Udział odpadów komunalnych .....	-0,148	0,460	-0,327	0,096

Uwaga. \* – istotność statystyczna na poziomie 0,01.

Źródło: obliczenia własne wykonane w programie GRETL na podstawie: Eurostat (b.r.).

Między wskaźnikami zapobiegania powstawaniu odpadów a wskaźnikami efektywności wykorzystania zasobów naturalnych nie zaobserwowano istotnej zależności w przypadku żadnego z analizowanych wskaźników. Co prawda można dostrzec istotną korelację poziomu odpadów komunalnych per capita i RP, ale kierunek tej relacji nie jest zgodny z oczekiwanym w GOZ. Przyczyn tej sytuacji należy szukać w silnym skoncentrowaniu się krajów UE na aktywności recyklingowej, która przynosi wymierne korzyści nie tylko w postaci przyrostu ilości surowców wtórnych możliwych do wykorzystania w procesie produkcji, lecz także w postaci wzrostu PKB przez tworzenie nowych miejsc pracy (EEA, 2020). Jak zauważa EEA (2020), polityka UE dotycząca gospodarowania odpadami napędza recykling, ale niepewne jest, jak zapobieganie powstawaniu odpadów.

Zróźnicowanie RP może zatem w większym stopniu wynikać ze zróźnicowania PKB per capita niż ze zróźnicowania CMU, które – jak już wspomniano – wyjaśnia 45% zróźnicowania badanych krajów pod względem RP. Dlatego do uprzednio oszacowanego modelu wyjaśniającego zależność pomiędzy RP a CMU wprowadzono PKB per capita jako dodatkową zmienną. Uzyskano następujący model (w nawiasach podano wartość  $p$  testu  $t$ -Studenta istotności zmiennych)<sup>2</sup>:

$$RP = -0,145083 + 0,0921263 \cdot CMU + 0,000045 \cdot PKB\_per\_capita$$

$$(0,5199) \quad (1,83e-06) \quad (2,43e-07) \quad (3)$$

$$R^2 = 83,15\%.$$

Wzrost współczynnika determinacji (z 44,74% do 83,15%) świadczy o wysokiej wartości informacyjnej PKB per capita w wyjaśnianiu zróźnicowania RP.

### 3.3. Rozwój gospodarczy a ilość wytwarzanych odpadów komunalnych w UE

Zależność pomiędzy PKB per capita a ilością wytwarzanych odpadów komunalnych w UE nie słabnie – współczynnik korelacji liniowej Pearsona jest dodatni niezmiennie od 2011 r. i pozostaje na istotnym poziomie (tabl. 3).

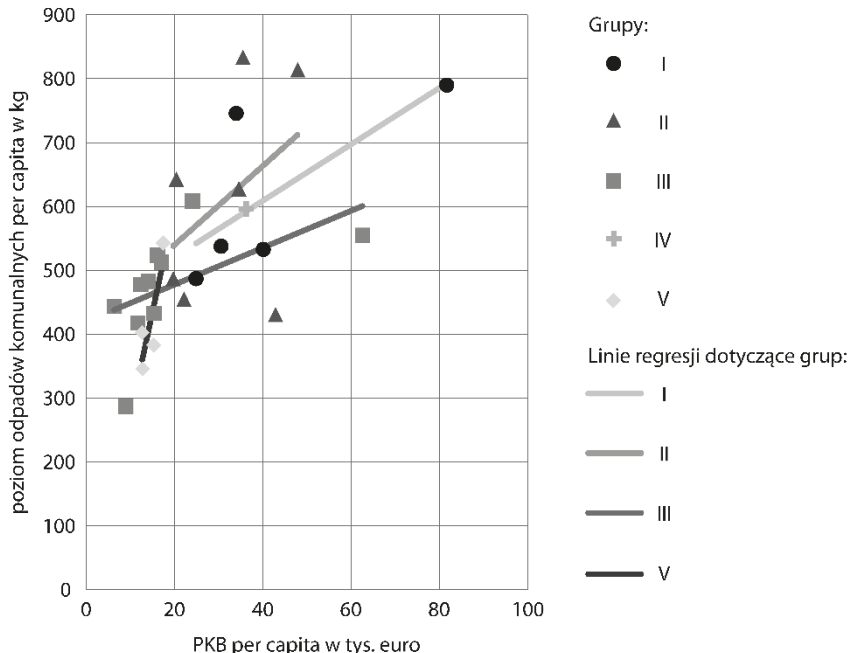
<sup>2</sup> Oceny jakości uzyskanego modelu dokonano w programie GRETl za pomocą dostępnych testów statystycznych. Model spełnia założenia KMNK: specyfikacja liniowa modelu jest właściwa (test RESET Ramsey), składniki resztowe  $\epsilon$  są homoskedastyczne (test White'a) i pochodzą z rozkładu normalnego (test Doornika-Hansena).

**Tabl. 3.** Wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona PKB per capita i poziomu odpadów komunalnych per capita

Wyszczególnienie	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Współczynnik korelacji .....	0,652	0,664	0,656	0,646	0,618	0,757	0,729	0,725	0,704	0,657
Wartość p .....	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0006	4,87e-06	1,61e-05	1,89e-05	4,17e-05	0,0002

Źródło: obliczenia własne wykonane w programie Excel na podstawie: Eurostat (b.r.).

Na wyk. 2 zaprezentowano rozrzut wartości poziomu odpadów komunalnych względem wartości PKB per capita w podziale na skupienia. Do każdego skupienia dopasowano linię regresji. Jak można zauważyć, kierunek zależności jest taki sam niezależnie od skupienia, jednak kąt nachylenia linii regresji jest zróżnicowany. Zarówno w grupie I (o wysokiej efektywności wykorzystania zasobów naturalnych), jak i w trzech pozostałych grupach<sup>3</sup> kierunek tej zależności jest dodatni.

**Wykr. 2.** Rozrzut wartości poziomu odpadów komunalnych względem wartości PKB per capita w krajach UE w 2020 r.

Źródło: opracowanie własne wykonane w programie Excel na podstawie: Eurostat (b.r.).

<sup>3</sup> Oszacowanie regresji dla grupy IV nie było możliwe ze względu na liczebność skupienia (jeden obiekt).

Aby zweryfikować istotność statystyczną tych zależności, ponownie przeprowadzono analizę skupień, ale z wykorzystaniem większej liczby obiektów. Do zdefiniowania obiektów wybrano dane za lata 2020, 2016 i 2012. Każdy kraj w każdym roku został potraktowany jako odrębny obiekt (kraj\_2020, kraj\_2016, kraj\_2012). W ten sposób uzyskano  $27 \times 3 = 81$  obserwacji. Wybierano okresy możliwie najbardziej od siebie oddalone ze względu na większe zróżnicowanie wskaźników pomiędzy obiektami. Dokonano podziału obiektów z wykorzystaniem metody *k*-średnich i ustalono optymalną liczbę skupień (optymalny okazał się ponownie podział na pięć skupień). Analogicznie do wcześniejszego podziału przyjęto następującą interpretację uzyskanych grup: grupa I to obiekty o wysokiej efektywności wykorzystania zasobów, grupa II – obiekty o średniej efektywności wykorzystania zasobów, a grupy III i IV to obiekty o niskiej efektywności wykorzystania zasobów naturalnych<sup>4</sup>. Wyniki analizy korelacji PKB per capita i ilości wygenerowanych odpadów komunalnych per capita w poszczególnych skupieniach zaprezentowano w tabl. 4.

**Tabl. 4.** Wartości współczynnika korelacji PKB per capita i poziomu odpadów komunalnych w podziale na skupienia

Wyszczególnienie	Efektywność wykorzystania zasobów		
	I – wysoka	II – średnia	III i IV – niska
Liczba obiektów .....	13	21	36
Współczynnik korelacji .....	0,666*	0,504*	0,634**
Wartość <i>p</i> .....	0,0129	0,0198	3,30306e–05

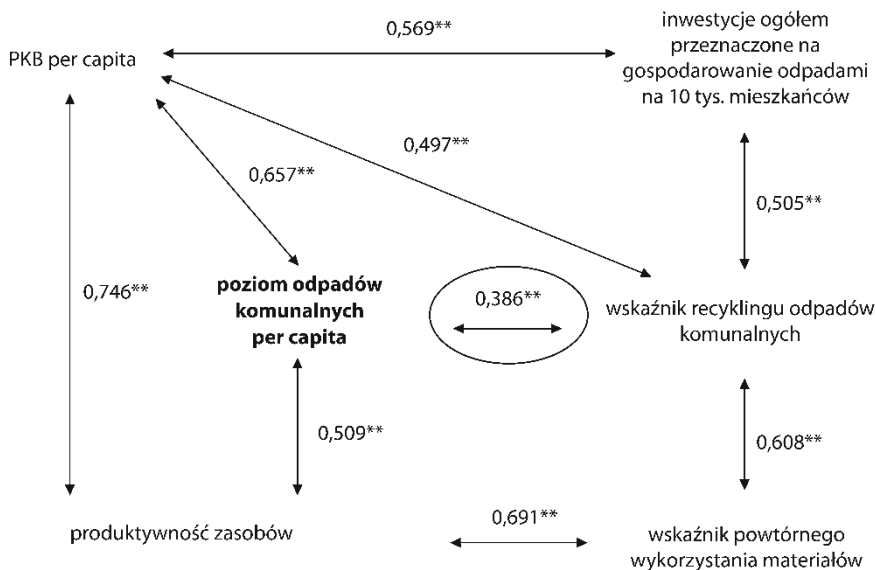
Uwaga. Istotność statystyczna na poziomie: \* – 0,05, \*\* – 0,01.

Źródło: obliczenia własne wykonane w programie Excel na podstawie danych z bazy Eurostatu.

Jak wynika z tabl. 4, wszystkie korelacje są istotne statystycznie (w skupieniach o wysokiej i średniej efektywności wykorzystania zasobów – na poziomie 0,05; w skupieniu o niskiej efektywności wykorzystania zasobów – nawet na poziomie 0,001). Uzyskane wyniki świadczą o tym, że UE potrzebuje jeszcze bardzo wielu zmian w zakresie gospodarowania odpadami, które powinny zostać wprowadzone w krajach członkowskich. Nawet w przypadku krajów o najwyższej efektywności wykorzystania zasobów naturalnych nie można mówić o przerwaniu zależności pomiędzy poziomem rozwoju gospodarczego a ilością wytwarzanych odpadów komunalnych. Konieczność wprowadzenia modyfikacji do krajowych strategii zarządzania odpadami dotyczy zatem także krajów o wysokiej efektywności wykorzystania zasobów naturalnych.

<sup>4</sup> Grupy V nie można było przypisać do żadnej z wyróżnionych kategorii, dlatego została pominięta w analizie.

**Schemat.** Wartości współczynnika korelacji analizowanych wskaźników na podstawie danych za 2020 r.



Uwaga. Istotność współczynnika na poziomie: \* – 0,05, \*\* – 0,01.  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych: Eurostat (b.r.).

Analizując możliwości przerwania relacji pomiędzy wzrostem gospodarczym krajów UE a ilością wytwarzanych odpadów komunalnych, należy zwrócić uwagę na relacje między omawianymi wskaźnikami. Dane za 2020 r. (schemat) wyraźnie pokazały, że:

- RP w poszczególnych krajach pozostaje w istotnej dodatniej zależności z CMU (współczynnik korelacji – 0,691);
- CMU pozostaje w istotnej dodatniej zależności ze wskaźnikiem recyklingu, wyznaczonym jako udział odpadów komunalnych przetwarzanych w celu odzysku materiałów w odpadach komunalnych ogółem (współczynnik korelacji – 0,608);
- współczynnik korelacji wskaźnika recyklingu i ilości wytworzonych odpadów komunalnych per capita jest dodatni i wynosi 0,386; jest istotny statystycznie na poziomie 0,05. Oznacza to, że im więcej odpadów kraje wytworzyły w 2020 r., tym większa część odpadów została poddana recyklingowi w celu odzysku materiałów;
- wskaźnik recyklingu pozostaje również w istotnej dodatniej zależności ze wskaźnikiem inwestycji, wyznaczonym jako poziom inwestycji w gospodarowanie odpadami ogółem na 10 tys. mieszkańców (współczynnik korelacji – 0,505; istotność statystyczna – 0,01). Jak zauważają Subedi i in. (2023), efektywne zarządzanie odpadami wymaga znacznych inwestycji w infrastrukturę, wyposażenie i personel,

co prowadzi do wzrostu stopnia recyklingu, a wzrost odsetka przetwarzanych odpadów zwiększa zapotrzebowanie na pracowników w branży recyklingowej i prowadzi do wzrostu gospodarczego;

- skala inwestycji jest uzależniona od poziomu rozwoju gospodarczego poszczególnych krajów i ich zamożności – współczynnik korelacji PKB per capita i wskaźnika inwestycji wynosi 0,569 i jest istotny statystycznie na poziomie 0,01.

Warto także zwrócić uwagę, że wskaźnik recyklingu nie tylko pozostaje w istotnej dodatniej relacji z CMU, lecz także:

- z jednej strony przyspiesza wzrost gospodarczy przez tworzenie nowych miejsc pracy (współczynnik korelacji PKB per capita i wskaźnika recyklingu wynosił 0,497 i był istotny statystycznie). Według EEA (2020) tylko w 2016 r. w obszarze zarządzania odpadami w UE powstało ponad 3 mln miejsc pracy;
- z drugiej strony wskaźnik recyklingu jest dodatnio i istotnie skorelowany z ilością wytworzonych odpadów komunalnych (0,386). Jedną z przyczyn występowania tej relacji może być unijny system pomiaru stopnia transformacji w kierunku gospodarek cyrkularnych, który obejmuje m.in. takie wskaźniki, jak RP czy CMU. Horvath i in. (2019) zwracają uwagę, że rozliczanie krajów przez pryzmat tych wskaźników stanowi wręcz zachętę do wytwarzania większych ilości odpadów.

O ile występowanie pierwszej z tych relacji uważa się za pożądane (Potárniche i in., 2022; Roleders, 2023), o tyle druga może utrudniać przerwanie zależności między PKB a ilością wytwarzanych odpadów.

Skutecznym sposobem na przerwanie tej relacji może być właśnie oddzielenie stopnia recyklingu odpadów komunalnych od ilości wytwarzanych odpadów. Korelacja wskaźnika recyklingu i ilości wytworzonych odpadów komunalnych per capita jest najsłabsza spośród wszystkich rozpatrywanych, ale jednak istotna statystycznie. Warto zaznaczyć, że w Dyrektywie 2018/851/WE określono cele przygotowania do ponownego użycia i recyklingu odpadów komunalnych jednakowe dla wszystkich krajów – niezależnie od ilości produkowanych odpadów. Brzmiały one następująco:

Aby zapewnić zgodność z celami niniejszej dyrektywy oraz przejść na europejską gospodarkę o obiegu zamkniętym o wysokim poziomie efektywnego wykorzystania zasobów, państwa członkowskie przyjmują środki służące do osiągnięcia następujących celów [...]:

- c) do 2025 r. przygotowanie do ponownego użycia i recykling odpadów komunalnych zostaną zwiększone wagowo do minimum 55%;
- d) do 2030 r. przygotowanie do ponownego użycia i recykling odpadów komunalnych zostaną zwiększone wagowo do minimum 60%;
- e) do 2035 r. przygotowanie do ponownego użycia i recykling odpadów komunalnych zostaną zwiększone wagowo do minimum 65%.

Wskaźnik recyklingu odpadów komunalnych powinien wzrastać, ale nie powinien być zależny od ilości odpadów wytwarzanych przez kraje. Im więcej odpadów zostanie wykorzystanych w procesie produkcji, tym mniej nowych odpadów zostanie wytworzonych, co będzie miało wymierny pozytywny wpływ na środowisko przyrodnicze i tym samym zdrowie ludzi.

#### 4. Podsumowanie

Badanie omówione w artykule składało się z dwóch zasadniczych części. W pierwszej porównano kraje członkowskie UE pod względem efektywności wykorzystania zasobów naturalnych oraz dokonano oceny siły i kierunku zależności zachodzącej pomiędzy tą efektywnością a ilością wytwarzanych odpadów komunalnych. W drugiej zbadano siłę zależności pomiędzy ilością wytwarzanych odpadów komunalnych a rozwojem gospodarczym krajów unijnych, zarówno w ujęciu ogółem, jak i w skupieniach krajów o różnej efektywności wykorzystania zasobów naturalnych.

Pierwsza część badania pozwoliła wyróżnić pięć skupień krajów podobnych pod względem efektywności wykorzystania zasobów w 2020 r. Najliczniejsze okazały się grupy o niskiej i średniej efektywności wykorzystania zasobów, składają się odpowiednio z 10 i 7 krajów. W przypadku większości krajów trudno zatem mówić o zaawansowanym procesie transformacji w kierunku GOZ. Aby przyspieszyć ten proces, powinny one zmniejszyć ilość zużywanych zasobów naturalnych i zwiększyć skalę wykorzystania w gospodarce materiałów pochodzących z recyklingu – w ten sposób mogą podnieść produktywność zasobów.

Trudno również mówić o skutecznym zapobieganiu powstawaniu odpadów w krajach UE. O ile w 2020 r. w porównaniu z 2018 r. zaobserwowano we Wspólnocie średni spadek ilości wytworzonych odpadów per capita, o tyle ilość wytworzonych odpadów komunalnych per capita wzrosła. Co więcej, ilość wytworzonych odpadów komunalnych per capita w 2020 r. okazała się istotnie dodatnio skorelowana ze wskaźnikiem produktywności zasobów naturalnych. Oznacza to, że kraje, które wytwarzają więcej odpadów komunalnych per capita, charakteryzują się wyższą produktywnością zasobów, co stoi w sprzeczności z przyjętym w UE założeniem o zapobieganiu powstawaniu odpadów jako najskuteczniejszym środku podnoszenia efektywności wykorzystania zasobów naturalnych. Przyczyny tego stanu rzeczy można upatrywać w aktywności recyklingowej krajów, które skalę recyklingu uzależniają od ilości wytwarzanych odpadów. Konieczne jest jednak przeprowadzenie dalszych badań za pomocą metod pozwalających na uwzględnienie bardziej skomplikowanych sieci relacji pomiędzy wskaźnikami gospodarowania odpadami komunalnymi. Taka analiza pozwoli ocenić skalę i istotność wpływu aktywności recyklingowej na produktywność zasobów z uwzględnieniem wpływu innych czynników.



Z drugiego etapu badania wynika, że w 2020 r. nadal istniała istotna dodatnia zależność między ilością wytwarzanych odpadów komunalnych a poziomem rozwoju gospodarczego poszczególnych krajów. Zależność ta jest istotna nieprzerwanie od 2011 r. i nie słabnie (wartość współczynnika korelacji w 2011 r. wynosiła 0,652, a w 2020 r. – 0,657). Należy zwrócić uwagę, że w poszczególnych grupach krajów UE o różnej efektywności wykorzystania zasobów naturalnych kierunek tej korelacji się nie zmienia i jest ona istotna statystycznie. Wynika z tego, że nawet w krajach o wysokiej efektywności wykorzystania zasobów występuje dodatnia i istotna zależność pomiędzy ilością wytwarzanych odpadów komunalnych a PKB per capita. Konieczne jest zatem przeprowadzenie dalszych analiz diagnostycznych, które pozwolą na ustalenie przyczyn takiego stanu. Aby wzrost gospodarczy przestał się wiązać z ilością wytwarzanych odpadów, niezbędne są także zmiany w krajowych programach zapobiegania powstawaniu odpadów.

## Bibliografia

- Aczel, D. A. (2000). *Statystyka w Zarządzaniu* (tłum. Z. Czerwiński, W. Latusek). Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów.
- European Environment Agency. (2019). *Efektywne gospodarowanie zasobami i odpady*. <https://www.eea.europa.eu/pl/themes/waste/intro>.
- European Environment Agency. (2020, 11 maja). *The European environment — state and outlook 2020: Knowledge for transition to a sustainable Europe*. <https://www.eea.europa.eu/soer/2020>.
- European Environment Agency. (2022, 31 stycznia). *Wyraźne możliwości oddzielenia wytwarzania odpadów od wzrostu gospodarczego w Europie*. <https://www.eea.europa.eu/pl/highlights/wyrazne-mozliwosci-oddzielenia-wytwarzania-odpadow>.
- European Environment Agency. (2023, 28 czerwca). *Waste generation in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/waste-generation-and-decoupling-in-europe>.
- Eurostat. (b.r.). *Waste [Data set]*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/data/database>.
- Główny Urząd Statystyczny. (b.r. a). *Cel 12 – Odpowiedzialna produkcja i konsumpcja. Wskaźnik 12.1.a – Produktywność zasobów*. [https://sdg.gov.pl/statistics\\_nat/12-1-a/](https://sdg.gov.pl/statistics_nat/12-1-a/).
- Główny Urząd Statystyczny. (b.r. b). *Cel 12 – Odpowiedzialna produkcja i konsumpcja. Wskaźnik 12.1.c – Wskaźnik powtórnego wykorzystania materiałów*. [https://sdg.gov.pl/statistics\\_nat/12-1-c/](https://sdg.gov.pl/statistics_nat/12-1-c/).
- Gorokhova, T., Shpatakova, O., Toponar, O., Zolotarova, O., Pavliuk, S. (2023). Circular Economy as an Alternative to the Traditional Linear Economy: Case Study of the EU. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 17(5), 1–15. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n5-002>.
- Horvath, B., Bahna, M., Fogarassy, C. (2019). The Ecological Criteria of Circular Growth and the Rebound Risk of Closed Loops. *Sustainability*, 11(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su11102961>.

- Komisja Europejska. (b.r.). *Circular economy*. [https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy_en).
- Lander, J. P. (2018). *R dla każdego. Zaawansowane analizy i grafika statystyczna* (tłum. M. Włodarz). APN Promise.
- Najwyższa Izba Kontroli. (2022, 9 maja). *Odpady z tworzyw sztucznych w Europie – raport*. <https://www.nik.gov.pl/aktualnosci/odpady-z-tworzyw-sztucznych-w-europie-raport.html>.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). *Towards a more resource-efficient and circular economy. The role of the G20*. <https://www.oecd.org/env/waste/OECD-G20-Towards-a-more-Resource-Efficient-and-Circular-Economy.pdf>.
- Potârniche, M. E., Giuca, A. D., Stoica, G. D., Sterie, C. M. (2022). The circular economy in Romania and in the EU Member States. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*, 16(1), 409–419. <https://doi.org/10.2478/picbe-2022-0040>.
- Roleders, V. (2023). Transformation of the EU countries to the circular economy model. *Economics' Horizons*, 2(24), 129–135. [https://doi.org/10.31499/2616-5236.2\(24\).2023.281264](https://doi.org/10.31499/2616-5236.2(24).2023.281264).
- Shpak, N., Melnyk, O., Horbal, N., Ruda, M. Sroka, W. (2021). Assessing the implementation of the circular economy in the EU countries. *Forum Scientiae Oeconomia*, 9(1), 25–39. [https://doi.org/10.23762/FSO\\_VOL9\\_NO1\\_2](https://doi.org/10.23762/FSO_VOL9_NO1_2).
- 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 Polskiej Akademii Nauk*, (108), 165–184. <https://doi.org/10.24425/znigsme.2019.130174>.
- Sobolewski, M., Sokołowski, A. (2017). Grupowanie metodą *k*-średnich z warunkiem spójności. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Research Papers of Wrocław University of Economics*, (468), 215–221. <https://doi.org/10.15611/pn.2017.468.22>.
- Subedi, M., Pandey, S., Khanal, A. (2023). Integrated Solid Waste Management for the Circular Economy: Challenges and Opportunities for Nepal. *Journal of Multidisciplinary Research Advancements*, 1(1), 21–26. <https://doi.org/10.3126/jomra.v1i1.55100>.
- The World Bank. (2022, 11 lutego). *Solid Waste Management*. <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>.
- Vranjanac, G. Ž., Rađenović, Ž. (2022). EU countries hierarchical clustering towards circular economy performance indicators. *Facta Universitatis Series Working and Living Environmental Protection*, 19(3), 149–155. <https://doi.org/10.22190/FUWLEP2203149V>.
- Walesiak, M. (2007). Wybrane zagadnienia klasyfikacji obiektów z wykorzystaniem programu komputerowego clusterSim dla środowiska R. *Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu. Research Papers of Wrocław University of Economics*, (1169), 46–56.
- Walesiak, M. (2013). Zagadnienie doboru liczby klas w klasyfikacji spektralnej. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Taksonomia 20 – Klasyfikacja i analiza danych – teoria i zastosowania*, (278), 33–43.