

Ivan TELEGA¹

Czynniki zapotrzebowania materiałowego w krajach UE w latach 2000–2015

1. WSTĘP

Trwałość rozwoju², w tym także wzrostu gospodarczego w dużej mierze zależy od dostępności zasobów odnawialnych oraz nieodnawialnych. Jednocześnie, korzystanie z zasobów naturalnych jest istotnym czynnikiem degradacji środowiska naturalnego oraz utraty bioróżnorodności. Wpływ na środowisko jest wywierany zarówno na etapie wydobywania zasobów, przekształcania oraz obróbki, jak również na etapie utylizacji zużytych dóbr w postaci emisji oraz odpadów. Problem ten znajduje odzwierciedlenie w dokumentach strategicznych UE, m.in. strategii Europa 2020, w której jedną z inicjatyw przewodnich jest „Europa efektywnie korzystająca z zasobów”³. Przyjęto również Plan działania na rzecz zasobooszczędnej Europy (ang. *The Roadmap to a Resource Efficient Europe*), w którym nadrzędnym celem jest wzrost efektywności wykorzystania zasobów oraz oddzielenie wzrostu gospodarczego od wykorzystywania zasobów, inaczej mówiąc – dematerializacja gospodarki. Szacuje się, że do 2050 r. należy zwiększyć efektywność wykorzystania zasobów 4 do 10 razy (Komisja Europejska 2011, s. 2). Realizacja tak podstawionych celów wymaga określenia czynników determinujących wielkość zużycia zasobów w poszczególnych krajach.

W dotychczasowych pracach (Steinberger i inni, 2010; Wiedmann i inni, 2013) analizowano wpływ wybranych czynników (m.in. PKB, wielkość populacji, powierzchnia, gęstość zaludnienia) na wielkość zapotrzebowania materiałowego wykorzystując dane przekrojowe. W pracy Bringezu i inni (2004) wykorzystującej dane panelowe ograniczono się do analizy zależności pomiędzy DMI a PKB. Jak dotąd, jedynie Steger, Bleischwitz (2011) wykorzystali szerszy zestaw zmiennych objaśniających w układzie panelowych dla krajów EU-15 w latach 1980–2000 oraz EU-27 w latach 1992–2000.

¹ Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Wydział Finansów i Prawa, Katedra Matematyki, ul. Rakowicka 27, 31–510 Kraków, Polska, e-mail: ivan.telega@uek.krakow.pl.

² Angielski termin *sustainable development* jest różnie tłumaczony na j. polski, m.in. jako rozwój zrównoważony oraz rozwój trwały. Zdaniem autora, najlepiej znaczenie oryginału wyraża określenie rozwój trwały. Podobnie, angielskie *sustainability* może być tłumaczone jako trwałość.

³ <http://ec.europa.eu/resource-efficient-europe>.

Celem opracowania jest określenie wpływu wybranych czynników o charakterze społeczno-ekonomicznym na ilość zużywanych zasobów w wybranych krajach Europy z wykorzystaniem klasycznych modeli regresji panelowej (z efektami stałymi). Ze względu na dostępność danych badanie ograniczono do lat 2000–2015 oraz 26 krajów Europy⁴. Również dobór zmiennych objaśniających, istotnych w świetle teorii, został ograniczony dostępnością odpowiednich szeregów czasowych dla wybranej grupy krajów.

Praca jest kontynuacją badań Steger, Bleischwitz (2011). Wartość dodana pracy polega na wykorzystaniu danych panelowych o charakterze społeczno-ekonomicznym do wyjaśnienia wielkości zapotrzebowania materiałowego w latach 2000–2015. Identyfikowane czynniki mogą być przedmiotem stosownej polityki zmniejszenia materiałochłonności gospodarek.

2. RACHUNEK PRZEPIŁYWÓW MATERIAŁOWYCH – ZARYS METODYKI

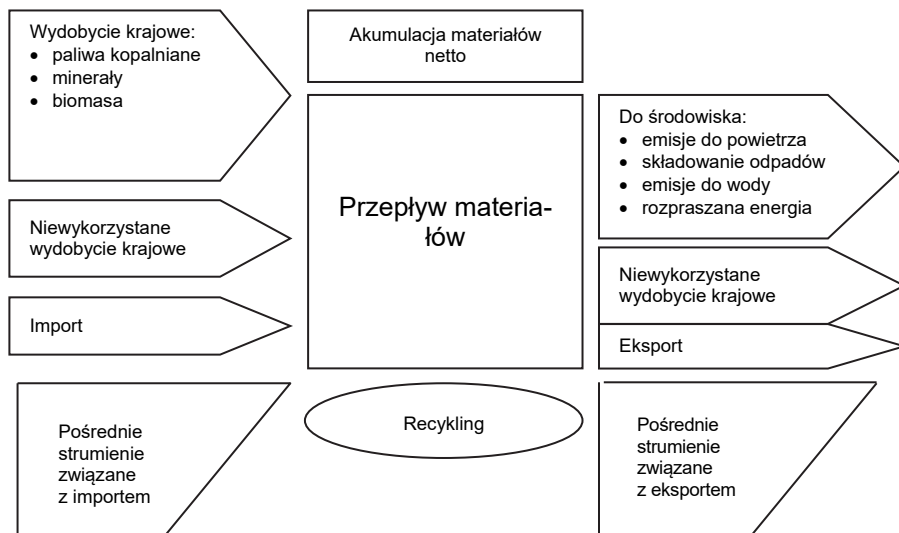
Rachunek przepływów materiałowych (ang. *Material Flow Accounts – MFA*) jest oparty na koncepcji gospodarczego metabolizmu (ang. *metabolism of economy*). Funkcjonowanie systemu społeczno-gospodarczego, postrzegane jako część (subsystem) biosfery, charakteryzuje się pobieraniem, transformacją, przechowywaniem, recyklingiem oraz wydalaniem materiałów (Bringezu i inni, 2003, s. 44). Metodologia analizy przepływów materiałowych gospodarki (ang. *Economy-Wide Materials Flow Analysis*) powstała w celu lepszego opisu tych procesów⁵. Podstawową zasadą jest systematyczna ewidencja wszystkich przepływów materiałowych (z wyjątkiem wody oraz powietrza) zachodzących na granicy dwóch systemów – środowiska naturalnego i gospodarki, jak również ewidencji przepływów pomiędzy granicami poszczególnych krajów. Ogólny schemat materiałowego bilansu gospodarki przedstawiono na rysunku 1.

Historia MFA, podstawowe definicje oraz kluczowe założenia metodologiczne są omówione przez M. Fischer-Kowalski i inni (2011). Autorzy zauważają, że metodologia MFA oraz generowane na jej podstawie dane osiągnęły stan dojrzałości, gwarantujący, że wskaźniki przepływu materiałów mogą być uzupełnieniem tradycyjnych wskaźników ekonomicznych i demograficznych w dyskusji na temat krajowych i międzynarodowych strategii na rzecz zrównoważonego wykorzystania zasobów. Spójność dostępnych danych umożliwi również prowadzenie badań empirycznych nad różnymi aspektami gospodarki zasobami, w tym wywieranej presji na środowisko naturalne, zużyciem energii, gospodarką gruntami etc.

⁴ Warto zauważyć, że w sposób istotny ogranicza to uniwersalność formułowanych wniosków.

⁵ Metoda została opracowana przez Instytut ds. Energii, Klimatu i Środowiska w Wuppertalu (<http://wupperinst.org>), a następnie usystematyzowana oraz ujednolicona przez Eurostat (Eurostat, 2001). Prace badawcze wykorzystujące metodykę rachunków przepływów materiałowych były prowadzone także w Polsce (por. Schutz, Śleszyński, 2000; Świerkula, 2006).

Rysunek 1. Schemat materiałowego bilansu gospodarki



Źródło: Eurostat, 2001, s. 16.

Na podstawie kategorii przepływów materiałowych identyfikowanych w ramach rachunków MFA tworzy się wskaźniki, których celem jest przedstawienie gospodarczego metabolizmu w sposób zagregowany. W grupie wskaźników nakładów m.in. wyróżnia się (Eurostat, 2001, s. 35):

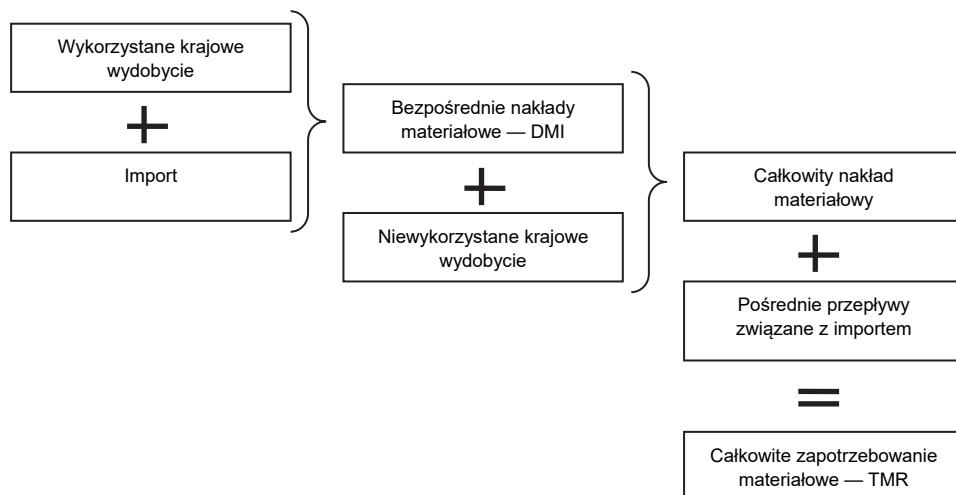
1. Bezpośrednie nakłady materiałowe (ang. *Direct Material Input – DMI*) – obejmują bezpośredni strumień materiałów, który fizycznie wchodzi do gospodarczego systemu jako nakład w celu dalszego przetwarzania w gospodarce, to znaczy wszystkie materiały, które mają wartość rynkową i są wykorzystane w procesie produkcji i konsumpcji. W rachunku przepływów materiałowych DMI równa się sumie masy wykorzystanego krajowego wydobycia (ang. *used domestic extraction*) i importu. Po odjęciu eksportu otrzymuje się wskaźnik krajowej konsumpcji materiałów (ang. *domestic material consumption – DMC*)
2. Całkowite zapotrzebowanie materiałowe (ang. *Total material requirement – TMR*) – mierzy całkowitą masę materiałów potrzebnych do podtrzymania systemu gospodarczego, zarówno te wykorzystane w procesie produkcji i konsumpcji, jak i te niewykorzystane, bez względu na pochodzenie materiałów (krajowe czy z reszty świata). W rachunku przepływów materiałowych TMR obejmuje całkowite krajowe wydobycie (wykorzystane i niewykorzystane⁶) oraz import wraz z nakładami pośrednimi związanymi z impor-

⁶ Niewykorzystane krajowe wydobycie (ang. *unused domestic extraction*) obejmuje materiały wydobyte lub przemieszczone na terytorium kraju ze względu na stosowane technologie, które nie są przeznaczone do wykorzystania, np. niewykorzystana część wydobycia górnictwa i odkrywkowego.

tem⁷. Schemat wskaźników nakładów materiałowych przedstawiono na rysunku 2.

Perspektywa materiałowa pozwala na ocenę wielu problemów istotnych z punktu widzenia trwałości rozwoju. Obecny stan wiedzy nie pozwala na precyzyjne określenie tzw. progów krytycznych pojemności środowiska naturalnego względem powstających odpadów i zanieczyszczeń, jednak z dużą pewnością można stwierdzić, że ilość wykorzystywanych materiałów determinuje skalę niszczenia ekosystemów. Ryzyko bezpośrednich oraz pośrednich szkód w środowisku prawdopodobnie wzrasta wraz z ilością pozyskiwanych pierwotnych materiałów. Różne materiały charakteryzują się różną szkodliwością, tym niemniej wskaźniki MFA w sposób zagregowany opisują fizyczny wymiar gospodarki oraz pośrednio informują o skali wywieranej antropopresji. Zauważa się, że wiele negatywnych oddziaływań na środowisko, np. zużycie wody, utrata bioróżnorodności, erozja gleb etc. ma swoje przyczyny na poszczególnych etapach wydobycia, obróbki oraz transportu surowców i materiałów.

Rysunek 2. Wskaźniki zapotrzebowania materiałowego



Źródło: Eurostat, 2001.

Wskaźniki zapotrzebowania materiałowego mają charakter wskaźników o charakterze ostrzegawczym. Nakłady materiałowe mogą być traktowane jako ilościowy wyraz deprecjacji kapitału naturalnego. Ograniczenie strumieni materiałowych oznacza zachowanie kapitału naturalnego (Hinterberger i inni, 1997, s. 5). Użycie takiego makro wskaźnika także pozwala na sformułowanie kon-

⁷ Pośrednie przepływy związane z importem (ang. *indirect flows associated to imports*): ekwiwalent importowanych dóbr wyrażony w surowcach (minus masa importowanego produktu), niewykorzystane wydobycie związane z importowanymi surowcami i produktami.

kretnego celu zapewniającego trwałość. Zdaniem wielu badaczy, produktywność wykorzystania zasobów w krajach rozwiniętych powinna wzrosnąć 10 krotnie (Hinterberger i inni, 1997, s. 12). Obecna wiedza nie pozwala na ustalenie trwałego (ang. *sustainable*) poziomu TMR. Jednakże, przyjęcie wzorców krajów uprzemysłowionych przez całą ziemską populację oznaczałoby 2- do 5-krotny wzrost globalnych przepływów zasobów. Tym bardziej istotne jest określenie czynników determinujących zapotrzebowanie materiałowe krajów. Możliwych jest kilka podejść (Pothen, Schymura, 2015, s. 110):

- analiza dekompozycji wskaźnika,
- analiza dekompozycji struktury,
- analiza ekonometryczna czynników.

W pracy wykorzystuje się trzecie podejście. Czynniki (ang. *drivers*) są rozumiane szeroko – mogą one wpływać na ilość zużywanych zasobów w sposób pośredni lub bezpośredni, przy czym kierunek wpływu nie jest określony. Mogą one mieć charakter zewnętrzny (np. realizowane polityki) lub wewnętrzny, jak np. czynniki determinujące sposób zachowania (Steger, Bleischwitz, 2011, s. 818). Można wyróżnić następujące typy (grupy) takich czynników:

1. Postęp technologiczny – wzrost produktywności pozwala na wytworzenie tej samej liczby produktów i usług przy niższym zużyciu zasobów. Możliwa jest również substytucja zasobów rzadkich lub szkodliwych przez zasoby bardziej „ekologiczne”, aczkolwiek ogólny wpływ postępu technicznego na zapotrzebowanie materiałowe może mieć różny charakter (zależny także od branży, rodzaju materiału etc.).
2. Zmiany strukturalne – zwiększenie udziału sektora usług, jak również branż nowych technologii (IT) może prowadzić do zmniejszenia zapotrzebowania na zasoby w przeliczeniu na jednostkę PKB. Przeciwnie, wysoki udział materiałochłonnych sektorów (np. przemysł, budownictwo) zwiększa zapotrzebowanie na zasoby.
3. Zapotrzebowanie na inwestycje infrastrukturalne – nasycenie infrastrukturą w miarę rozwoju gospodarczego kraju może prowadzić do zmniejszenia zapotrzebowania na zasoby budowlane. Jednocześnie, utrzymanie istniejącej infrastruktury również wymaga zużycia zasobów.
4. Regulacje środowiskowe oraz wzorce zachowań – wyższa świadomość ekologiczna oraz ostrzejsze regulacje środowiskowe w krajach rozwiniętych mogą powodować przeniesienie „brudnych” przemysłów do krajów rozwijających się.
5. Czynniki związane z dostępnością zasobów, klimatem, topografią, demografią (również gęstość zaludnienia), na które w relatywnie krótkim okresie mamy tylko nieznaczny wpływ.

W każdej z wymienionych grup można próbować wyodrębnić czynniki mające określony (teoretycznie) wpływ na zapotrzebowanie materiałowe kraju, który następnie jest badany statystycznie. Istotna jest jednak dostępność odpowiednich danych (wskaźników).

W chwili przygotowywania niniejszej pracy wskaźniki DMI oraz DMC⁸ były dostępne w bazie Eurostat dla grupy krajów dla lat 2000–2015. Umożliwiło to przeprowadzenie analiz panelowych.

Wskaźnik TMR nie jest liczony przez Eurostat ze względu na ograniczoną dostępność danych, przede wszystkim dotyczących nakładów pośrednich związanych z importem. Wartość całkowitego zapotrzebowania materiałowego była szacowana dla poszczególnych krajów przez różne instytucje (Parlament Europejski, 2012, s. 58–61). Dostępne jest oszacowanie wartości TMR dla krajów Unii Europejskiej dla lat 2000–2007 wykonane w ramach raportu wykonanego na zlecenie Komisji Europejskiej (Meye, 2011).

3. CZYNNIKI KSZTAŁTOWANIA SIĘ ZAPOTRZEBOWANIA MATERIAŁOWEGO W WYBRANYCH KRAJACH W ŚWIETLE DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ

Choć wielkość gospodarki (mierzona PKB) jest istotnym czynnikiem determinującym wielkość zapotrzebowania materiałowego, obserwowane jest spore zróżnicowanie wskaźników w krajach o podobnym poziomie rozwoju gospodarczego. Wielkość DMC na mieszkańca w wybranych krajach przedstawiono w tabeli 1. Dane są zgodne z wynikami dotychczasowych badań, według których wskaźniki zapotrzebowania materiałowego na mieszkańca w krajach UE różnią się kilkakrotnie. Jednocześnie wskazuje się, że wskaźniki PKB oraz zużycia energii nie wyjaśniają w pełni obserwowanych różnic (Weisz i inni, 2006, s. 676–698; Bringezu i inni, 2004, s. 97–124). Również kierunek zmian nie jest jednoznaczny. Obserwowany jest zarówno wzrost DMC na mieszkańca (przeważnie kraje Europy Środkowo Wschodniej oraz kraje skandynawskie), jak i spadek. Niewykluczone jednak, że wpływ na spadek zapotrzebowania materiałowego mógł mieć kryzys 2007 roku.

Tabela 1. DMC NA MIESZKAŃCA W WYBRANYCH KRAJACH W ROKU 2000 ORAZ 2013 R.
W TONACH

Kraj	2000	2013	2013–2000	Kraj	2000	2013	2013–2000
UE-28	15,476	13,078	–2,398	Litwa	8,336	15,669	7,333
Belgia	14,928	13,639	–1,289	Węgry	12,044	10,003	–2,041
Bułgaria	12,353	17,562	5,209	Holandia	12,732	10,077	–2,655
Czechy	17,835	14,744	–3,091	Austria	23,098	21,621	–1,477
Dania	23,576	20,197	–3,379	Polska	14,094	17,271	3,177
Niemcy	17,695	16,343	–1,352	Portugalia	19,48	13,948	–5,532
Estonia	12,445	28,747	16,302	Rumunia	7,684	22,056	14,372
Irlandia	34,177	22,233	–11,944	Słowenia	17,185	12,194	–4,991
Grecja	14,189	12,299	–1,890	Słowacja	10,072	11,367	1,295
Hiszpania	17,007	8,438	–8,569	Finlandia	33,73	33,842	0,112
Francja	14,55	11,946	–2,604	Szwecja	20,179	22,655	2,476
Chorwacja	7,515	9,951	2,436	Wielka Brytania	12,542	8,888	–3,654
Włochy	16,65	8,124	–8,526	Norwegia	b.d.	28,951	b.d.
Cypr	24,314	13,951	–10,363	Szwajcaria	12,534	12,1	–0,434
Łotwa	14,643	20,75	6,107	Turcja	9,537	11,896	2,359

Źródło: Eurostat.

⁸ DMI pomniejszony o eksport.

Krausmann i inni (2009) badali kształtowanie się zapotrzebowania materiałowego w skali globalnej w latach 1990–2005 w zestawieniu z PKB oraz danymi demograficznymi. W badanym okresie całkowite wydobycie zasobów wzrosło ośmiokrotnie (Krausmann i inni, 2009, s. 2699). Autorzy wskazują również na to, że wzrost produktywności wykorzystania zasobów (mierzonej za pomocą PKB/DMC) w dużej mierze wynika ze spowolnienia wzrostu wykorzystania biomasy, natomiast w przypadku pozostałych materiałów (np. minerałów) wzrost produktywności jest bardzo umiarkowany (Krausmann i inni, 2009, s. 2701). Wyniki badań nie wskazują na spadek, a nawet spowolnienie wzrostu globalnego zużycia materiałów (Krausmann i inni, 2009, s. 2702). Globalnie obserwuje się dalszy wzrost wielkości DMC. Zjawisko bezwzględnej dematerializacji (tj. spadku DMC) obserwowane jest jedynie w okresach recesji gospodarczej. Uwagę zwraca również znaczące zróżnicowanie DMC pomiędzy krajami – w roku 2000 kraje uprzemysłowione (stanowiące 15% światowej populacji) były odpowiedzialne za 1/3 światowego wydobycia zasobów⁹.

Kovanda, Hak (2008) zbadali zmiany w wielkości oraz strukturze zużycia materiałów w Czechach, Węgrzech oraz Polsce w okresie transformacji w latach 1990–2002. Wykorzystano analizę IPAT¹⁰. Zmiany DMC w badanych krajach w niewielkim stopniu wynikają ze zmian w wielkości populacji, natomiast istotnym czynnikiem, zwłaszcza w Polsce, jest wzrost zamożności (konsumpcji na mieszkańca). Postęp technologiczny (mierzony produktywnością DMC/PKB) wpływa na zmniejszenie zużycia zasobów, przy czym największe zmiany w tym zakresie zaszły w Czechach¹¹. Autorzy wskazują, że wzrost produktywności wynika głównie z doskonalenia technologii produkcji oraz zmian strukturalnych gospodarki w kierunku wzrostu udziału sektora usług przy jednoczesnym spadku udziału materiałochłonnych sektorów, zwłaszcza rolnictwa, sektora wydobywczego oraz energetyki (Kovanda, Hak, 2008, s. 731). Wpływ zmian struktury gospodarki na poziom DMC nie był analizowany w pracy.

Bringezu i inni (2004) analizowali zależność pomiędzy wskaźnikami DMI oraz TMR na mieszkańca a poziomem PKB na mieszkańca. Stwierdzono, że struktura TMR różni się znacząco pomiędzy krajami. Kraje osiągają wysoki poziom dochodu przy różnych poziomach TMR – od 32 do 100 ton na mieszkańca. Tym samym wysoki poziom rozwoju gospodarczego jest możliwy przy stosunkowo niskim zapotrzebowaniu na zasoby. Ekonometryczna analiza panelowa wskazu-

⁹ W przypadku paliw kopalnianych, minerałów oraz rud żelaza udział krajów uprzemysłowionych stanowi nawet do 50%.

¹⁰ W ramach analizy IPAT przyjmuje się, że wpływ na środowisko naturalne (ang. *impact*) jest funkcją wielkości populacji (ang. *population*), zamożności (ang. *affluence*) oraz dostępnej technologii (ang. *technology*). Tym samym: $DMC(I) = Population(P) \cdot GDP/Population(A) \cdot DMC/GDP(T)$.

¹¹ Czechy są jednym z niewielu krajów, w którym miało miejsce oddzielenie (ang. *decoupling*) wzrostu gospodarczego od wielkości zapotrzebowania materiałowego. Wynika to przede wszystkim ze zmniejszenia zużycia węgla oraz zmian w strukturze gospodarki na rzecz mniej energochłonnych sektorów (Kovanda, Hak 2008, s. 735)

je, że istnieje tendencja do relatywnego rozdzielenia zmian PKB i DMI, wspólna dla wszystkich krajów. Dostępne dane wskazują na model w kształcie odwróconej litery L.

Steger, Bleischwitz (2011, s. 81) analizowali dane dla krajów EU-15 w latach 1980–2000 oraz EU-27 w latach 1992–2000. Istotne czynniki determinujące poziom DMC na mieszkańca w przypadku EU-15 to konsumpcja energii na mieszkańca, długość sieci drogowej na mieszkańca, liczba ukończonych jednostek mieszkalnych oraz udział importu w PKB. Dla krajów EU-27 są to gęstość populacji, finalna konsumpcja energii na mieszkańca, udział pracowników sektora budowlanego w ogóle zatrudnionych, udział sektora budowlanego w PKB oraz produktywność pracy w sektorze budowlanym. W obu przypadkach istotną zmienną jest zmienna czasowa opisująca autonomiczny postęp techniczny. Jeżeli zmienną objaśnianą był wskaźnik produktywności (ang. *material intensity*), to zmiennymi objaśniającymi były również wskaźniki produkcji energii na mieszkańca, udział sektora usług w PKB, import na mieszkańca, długość sieci kolejowej. Pozwala to na sformułowanie wniosków o istotnym wpływie produkcji oraz konsumpcji energii, wielkości sektora budowlanego oraz stanu infrastruktury na zapotrzebowania materiałowe krajów.

Steinberger i inni (2010) wykorzystują wielkość populacji, powierzchnię, PKB wg siły nabywczej na mieszkańca oraz klimat¹² jako zmienne objaśniające do wyjaśnienia wielkości DMC oraz poszczególnych typów materiałów w wybranej grupie krajów¹³. W świetle wyników, największy wpływ ma wielkość populacji oraz PKB. Zmienna klimat jest istotna tylko w przypadku paliw kopalnianych, natomiast powierzchnia nie jest istotna w przypadku minerałów budowlanych oraz paliw kopalnianych. Zastanawia jednak użycie zmiennych na mieszkańca razem ze zmiennymi w wielkościach bezwzględnych (DMC i populacja). Wydaje się, że wpływ wielkości populacji może być przeszacowany.

Wiedmann i inni (2013) analizowali czynniki kształtujące zapotrzebowanie materiałowe 186 krajów w 2008 roku mierzone wskaźnikiem śladu materiałowego (ang. *material footprint* – MF) na mieszkańca. Zwraca się uwagę, że wskaźniki DMI oraz DMC obejmują masę towarów importowanych, która jest znacznie niższa niż masa materiałów zużywanych w kraju pochodzenia do ich produkcji. Tym samym występuje niedoszacowanie całkowitego zużycia zasobów przez kraje będące dużymi importerami (przeważnie są to kraje rozwinięte). MF koryguje ten efekt. Jako zmienne objaśniające wykorzystano PKB według siły nabywczej na mieszkańca, krajowe wydobycie na mieszkańca (miernik dostępności zasobów naturalnych), gęstość zaludnienia (jako miernik zapotrzebowania na import zasobów).

Zauważmy, że w pracach Steger, Bleischwitz (2011), Steinberger i inni (2010) oraz Wiedmann i inni (2013) wszystkie zmienne były logarytmowane, tj. estymowano parametry modelu log-liniowego postaci:

¹² Wykorzystano szerokość geograficzną kraju dla zmiennej klimat.

¹³ Wszystkie zmienne są logarytmowane.

$$\log(Y) = A + B_1 \log(X_1) + \dots + B_n \log(X_n)$$

tym samym $Y = AX_1^{B_1} \cdot \dots \cdot X_n^{B_n}$. Pozwala to na interpretowanie uzyskanych współczynników jako elastyczności zmiennej objaśnianej względem poszczególnych zmiennych objaśniających.

4. WPŁYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW SPOŁECZNO-EKONOMICZNYCH NA WIELKOŚĆ ZAPOTRZEBOWANIA MATERIAŁOWEGO W LATACH 2000–2015

Przedmiotem empirycznych badań może być relacja pomiędzy wielkością zapotrzebowania materiałowego (mierzonego TMR, DMI lub DMC¹⁴) a poziomem rozwoju gospodarczego (mierzonego PKB). W ramach wcześniejszych badań (Telega, 2015, s. 31–47)¹⁵ analizowano relację pomiędzy PKB na mieszkańca w cenach stałych 2000 roku oraz wskaźnikami przepływów materiałowych na mieszkańca – czy realny wzrost PKB pociąga za sobą wzrost ilości wykorzystywanych zasobów oraz jaki jest charakter tej zależności? Oceniając zależność pomiędzy wysokością PKB a DMI¹⁶ oszacowano parametry trzech modeli (liniowy, semi-logarytmiczny oraz kwadratowy) wykorzystując metodę regresji panelowej (model z efektami ustalonymi). Uzyskane wyniki skłaniają do wyboru modelu semi-logarytmicznego jako najlepiej ilustrującego zależność pomiędzy PKB a wskaźnikami zapotrzebowania materiałowego na mieszkańca, tym samym potwierdza się występowanie zjawiska malejących krańcowych przyrostów zapotrzebowania materiałowego, tj. zmniejszenia względnej materiałochłonności gospodarki, w miarę wzrostu PKB na mieszkańca¹⁷.

Biorąc pod uwagę wyniki dotychczasowych badań, jak również dostępność danych w bazie Eurostat, proponuje się następujący zestaw zmiennych objaśniających wraz z hipotetycznym kierunkiem oddziaływania na zmienną objaśnianą, którą jest wskaźnik bezpośredniej konsumpcji materiałów (DMC) na mieszkańca:

- PKB na mieszkańca według PPS (*GDP_pps*) – wskaźnik efektu skali.
W świetle dotychczasowych wyników wzrost gospodarczy oznacza również wzrost ilości zużywanych zasobów.

¹⁴ Wskaźnik całkowitego zapotrzebowania materiałowego (TMR) jest preferowanym wskaźnikiem, jednak dostępność danych w dłuższej serii czasowej przemawia za tym, by w analizie wykorzystać także wskaźnik bezpośrednich nakładów materiałowych (DMI).

¹⁵ Biorąc pod uwagę dostępność danych analizy zostały wykonane dla lat 2000–2007 w przypadku wskaźnika TMR oraz dla lat 2000–2011 w przypadku wskaźnika DMI.

¹⁶ Oba wskaźniki w przeliczeniu na mieszkańca.

¹⁷ Pełne dane statystyczne, jak również szczegółowe wyniki regresji są dostępne u Autora opracowania.

- Finalna konsumpcja energii na mieszkańca (*fin_en_con*) – wskaźnik technologiczny. Większa konsumpcja energii oznacza wzrost zapotrzebowania materiałowego, zwłaszcza na paliwa.
- Łączny udział sektorów rolnictwa, leśnictwa oraz rybactwa, przetwórstwa przemysłowego oraz budowlanego w PKB (*structure*) – alternatywny wskaźnik struktury gospodarki.
- Udział podatków i opłat ekologicznych w przychodach podatkowych (*env_tax*) – wskaźnik skali regulacji środowiskowych. Kraje o bardziej restrykcyjnej polityce ekologicznej mogą się cechować niższym zużyciem materiałów.
- Rok (*year*) – zmienna czasowa opisująca autonomiczny postęp techniczny.

Dane o udziale wartości dodanej poszczególnych sektorów w PKB są udostępniane przez Eurostat zgodnie z klasyfikacją NACE rev. 2¹⁸. Wyodrębnione są sektory przemysłowy (w tym górnictwo oraz przetwórstwo przemysłowe), rolny, budowlany. Wszystkie pozostałe sektory (G-U wg NACE rev. 2) mogą być traktowane jako sektor usług. Wydaje się, że ze względu na różnorodność pozostałych sektorów (również pod względem zapotrzebowania materiałowego), zasadne jest raczej wykorzystanie łącznego udziału sektorów rolnego (w tym leśnictwo oraz rybactwo), budowlanego oraz przetwórstwa przemysłowego¹⁹ w PKB, jako zmiennej opisującej strukturę gospodarki. W pewnym uproszczeniu, malejący udział tych sektorów oznacza również wzrost udziału sektora usług. Zauważa się, że zmiany strukturalne przyczyniają się do zmian w zapotrzebowaniu materiałowym zwłaszcza w krajach rozwijających się lub znajdujących się w okresie transformacji (Kovanda, Hak, 2008, s. 736). W krajach wysoko rozwiniętych ten czynnik jest mniej istotny w porównaniu z postępem technologicznym.

Warto również skomentować użycie zmiennej krajowe wydobycie (DE) na mieszkańca jako wskaźnika dostępności zasobów w danym kraju. Zmienna ta została wykorzystana (Wiedmann i inni, 2013) do wyjaśnienia zróżnicowania wskaźników MF oraz DMC na mieszkańca w wybranej grupie krajów. Biorąc pod uwagę, że zmienną objaśnianą w niniejszej pracy jest wskaźnik DMC, który z definicji jest dany wzorem $DMC = DE + Import - Eksport$, użycie wskaźnika DE w charakterze zmiennej objaśniającej wydaje się być nieuzasadnione.

Analizy wykonano metodą regresji panelowej za pomocą pakietu Gretl²⁰. Dane panelowe mogą być analizowane przy wykorzystaniu estymacji KMNK (ang. *pooled OLS regression*)²¹ lub klasycznych modeli regresji panelowej, tj. modelu

¹⁸ Por. Eurostat (2008), *NACE rev. 2. Statistical classification of economic activities in the European Community*, <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902521/KS-RA-07-015-EN.PDF>.

¹⁹ Przetwórstwo przemysłowe jest podsektorem sektora przemysłowego, obok górnictwa oraz podsektora dostawy wody, gospodarki ściekami i odpadami.

²⁰ <http://gretl.sourceforge.net/> Por. też: Kufel (2011, s. 173).

²¹ Warto jednak zaznaczyć, że w istocie model *pooled OLS regression* nie jest modelem danych panelowych, tylko KMNK zastosowana do wszystkich obserwacji.

o efektach ustalonych (estymator wewnątrzgrupowy) oraz modelu o efektach losowych (estymator UMNK; Maddala, 2006, s. 643–645).

Przy wyborze właściwego modelu stosuje się test F (Chowa), test Breuscha-Pagana (test B-P) oraz test Hausmana. Test F Chowa służy do weryfikacji hipotezy o zróżnicowaniu wyrazu wolnego w grupach. Odrzucenie hipotezy zerowej o wspólnym wyrazie wolnym wskazuje na wykorzystanie modelu o efektach stałych. Test Brescha-Pagana służy do weryfikacji hipotezy o istnieniu efektu indywidualnego, co jest równoznaczne z pytaniem, czy wariancja składnika efektów indywidualnych jest równa zero. Tj. $H_0: \sigma_a^2 = 0$ przeciwko $H_1: \sigma_a^2 \neq 0$, gdzie a jest efektem indywidualnym. Przy braku podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej przyjmujemy, że efekty indywidualne nie istnieją oraz model może być estymowany KMNK.

Test Hausmana służy do wyboru pomiędzy modelem o efektach ustalonych (a_i stałe), a modelem o efektach losowych, w którym a_i jest zmienną losową. Test Hausmana wykorzystuje się do zbadania korelacji pomiędzy zmiennymi objaśniającymi a efektami losowymi. Brak podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej (tj. występowanie korelacji) oznacza, że oba estymatory (wewnątrzgrupowy oraz UMNK) są zgodne, przy czym estymator efektów losowych jest bardziej efektywny. Odrzucenie hipotezy zerowej oznacza, że należy zastosować model o efektach ustalonych, ponieważ estymator UMNK nie jest zgodny.

Zauważa się, że regresje logarytmów zmiennych są preferowane od regresji wielkości liniowych, ponieważ zawierają nieliniowe korelacje, a zatem są wrażliwe na szerszy zakres zależności funkcjonalnych (Steinberger i inni, 2010, s. 1150). Istotnym czynnikiem jest również wygoda interpretacji uzyskiwanych parametrów, jako elastyczności zmiennej objaśnianej względem poszczególnych zmiennych objaśniających. Ponieważ nie ma żadnych teoretycznych przesłanek przemawiających za wyborem konkretnej postaci funkcyjnej modelu, estymowano parametry czterech modeli: liniowego, transformowanego modelu wykładniczego, logarymicznego oraz, wzorem omówionych wyżej badań, modelu log-liniowego. Wyniki testów dla każdego modelu są przedstawione w tabeli 2.

Wyniki testów wskazują, że we wszystkich przypadkach występują efekty indywidualne, przy czym właściwy jest model z efektami stałymi. Wyniki estymacji przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. WYNIKI TESTÓW F (CHOWA), BREUSCHA-PAGANA ORAZ HAUSMANA DLA MODELI REGRESJI

Test	F (Chowa)	Breuscha-Pagana	Hausmana
Model liniowy			
Statystyka	F(25, 356) = 64,4485	LM = 1370,77	H = 52,7196
p-value	3,93298e-116	4,72288e-300	3,83994e-010
Model wykładniczy			
Statystyka	F(25, 356) = 60,7878	LM = 1258,97	H = 69,3636
p-value	1,70606e-112	9,32981e-276	1,39009e-013

Tabela 2. WYNIKI TESTÓW F (CHOWA), BREUSCHA-PAGANA ORAZ HAUSMANA DLA MODELI REGRESJI (dok.)

Test	F (Chowa)	Breuscha-Pagana	Hausmana
Model logarytmiczny			
Statystyka	F(25, 356) = 66,588	LM = 1519,57	H = 27,2634
p-value	3,50879e-118	0	5,06846e-005
Model log-liniowy			
Statystyka	F(25, 356) = 69,1625	LM = 1414,48	H = 48,3557
p-value	1,40715e-120	1,49863e-309	3,00492e-009

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. WYNIKI ESTYMACJI PARAMETRÓW MODELI REGRESJI

Model:	Liniowy		Wykładniczy		Logarytmiczny		Log-liniowy	
	Wartość par.	p-value	Wartość par.	p-value	Wartość par.	p-value	Wartość par.	p-value
stała	-25,4684	6,04e-15	0,4977	0,0042	-68,4761	0,0011	-2,6308	0,0159
GDP_pps	0,0004	0,0004	2,4706e-5	1,35e-5	4,3911	0,0543	0,3449	0,0040
fin_en_con	12,1198	4,48e-31	0,6685	6,13e-31	23,5745	5,86e-24	1,4318	2,06e-30
structure	0,2845	0,0046	0,0113	0,0421	7,4265	0,0004	0,3052	0,0057
env_tax	-0,1881	0,2584	-0,0172	0,0617	-0,4842	0,7052	-0,0700	0,2965
year	0,1494	0,0038	0,0052	0,0690	0,7444	0,0096	0,0259	0,0838

Na szaro są zaznaczone nieistotne statystycznie parametry ($p\text{-value} > 0,1$).

Źródło: opracowanie własne.

oceny parametrów modeli pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków co do wpływu poszczególnych zmiennych objaśniających na zmienną objaśnianą *ceteris paribus*. Zmienna *GDP_pps* (PKB na mieszkańca według parytetu siły nabywczej) jest istotna niezależnie od specyfikacji modelu. Zwiększenie poziomu zamożności oznacza również wzrost zapotrzebowania materiałowego. Interpretując model log-liniowy można stwierdzić, że wzrost PKB na mieszkańca o 1% powoduje wzrost zapotrzebowania materiałowego o ok. 0,34%. Potwierdza to wyniki uzyskane przez Wiedmann i inni (2013). Finalna konsumpcja energii również jest istotną zmienną o relatywnie dużym wpływie na zmienną objaśnianą, co potwierdza wyniki Steger, Bleischwitz (2011). Współczynnik elastyczności jest równy 1,43, tzn. wzrost konsumpcji energii na mieszkańca o 1% powoduje wzrost konsumpcji materiałów o 1,43% *ceteris paribus*. Potwierdza się występowanie efektu strukturalnego, tj. zmniejszenie udziału sektorów budowlanego, przemysłu oraz rolnictwa (co jest równoważne zwiększeniu udziału sektora usług) w tworzeniu PKB zmniejsza materiałochłonność gospodarki. Przeciwnie, wzrost łącznego udziału wymienionych sektorów o 1% powoduje zwiększenie DMC na mieszkańca o 0,3%. Wyniki estymacji nie potwierdzają istotnego wpływu zmiennej *env_tax* (udział podatków ekologicznych

w przychodach podatkowych). Oszacowane wartości parametru we wszystkich czterech modelach mają znak zgodny z teorią – wzrost udziału podatków i opłat ekologicznych w całkowitych przychodach podatkowych zwiększa motywację podmiotów gospodarczych do wdrażania zasobooszczędnych technologii, jednak nie są one istotne statystycznie. W przypadku zmiennej czasowej opisującej autonomiczny postęp techniczny oszacowane wartości parametru są istotne statystycznie oraz dodatnie, co przeczy teorii. Zauważmy jednak, że dodanie zmiennej czasowej w postaci liniowego trendu może odzwierciedlać wpływ innych czynników o dodatnim wpływie na poziom DMC, nieuwzględnionych bezpośrednio w modelu.

Ostatecznie, ze względu na wygodę interpretacji wartości parametrów, związek pomiędzy DMC na mieszkańca a dobranymi zmiennymi objaśniającymi może być opisany za pomocą modelu log-liniowego. Porównując uzyskane wartości parametrów przy zmiennych *GDP_pps*, *fin_en_con* oraz *structure* stwierdzamy, że działania podejmowane w ramach polityki rozdzielania wzrostu gospodarczego od wielkości zapotrzebowania materiałowego powinny być przede wszystkim skierowane na zmniejszenie finalnej konsumpcji energii. Wskazanie instrumentów właściwych do tego celu wykracza poza zakres opracowania. Po drugie, zmniejszenia zapotrzebowania materiałowego może być wynikiem stopniowej transformacji gospodarki w kierunku większego udziału sektora usług.

Zauważmy, że zmniejszenia konsumpcji energii będzie miało również pozytywny skutek w postaci zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, zwłaszcza w tych krajach, w których energetyka jest wciąż oparta na węglu.

5. ZAKOŃCZENIE

Ochrona przyrody lub, mówiąc językiem ekonomii, zachowanie kapitału naturalnego jest istotnym czynnikiem zapewnienia dobrobytu dla obecnych oraz przyszłych pokoleń. Warto podkreślić, że zachowanie nie oznacza rezygnacji z produkcji oraz konsumpcji dóbr, wymagany jest jednak szereg zmian o charakterze strukturalnym oraz technologicznym, które pozwolą na stosunkowo małą deprecjację kapitału naturalnego. Skutecznym narzędziem monitorowania postępów w tym zakresie może być ciągle rozwijany rachunek przepływów materialnych. Zróżnicowana dynamika kształtowania się zapotrzebowania materiałowego w krajach wysoko rozwiniętych skłania ku poszukiwaniu czynników umożliwiających utrzymanie wzrostu PKB przy relatywnie mniejszym przyroście zapotrzebowania materiałowego. W świetle uzyskanych wyników wpływ na to mają zmiany strukturalne gospodarek krajów wysokorozwiniętych (m.in. wzrost udziału sektora usług) oraz zmiany technologiczne zmniejszające finalną konsumpcję energii. Wzrost PKB na mieszkańca przyczynia się natomiast do wzrostu zapotrzebowania materiałowego. Wdrożenie recyklingu, jak również stosowanie od-

powiednich zachęt, m.in. w postaci podatków i opłat ekologicznych może mieć swój wpływ, aczkolwiek nie znajduje to na razie potwierdzenia empirycznego. Niewątpliwie potrzebne są dalsze badania czynników determinujących wielkość zapotrzebowania materiałowego.

W ramach przyszłych badań warto również zwrócić uwagę na problemy metodologiczne związane z estymacją na danych panelowych, tj. autokorelację oraz heteroskedastyczność składnika losowego (Bringezu i inni, 2004, s. 107). W niniejszej pracy problemy te zostały pominięte.

Zauważa się również, że wskaźniki typu *material footprint* (Wiedmann i inni, 2013) są znacznie lepszym miernikiem zapotrzebowania materiałowego gospodarki. Eurostat zaczął publikować skorygowane dane o zapotrzebowaniu materiałowym (ang. *raw material equivalents*). Niestety, w chwili przygotowywania niniejszej pracy, zagregowane dane dla 28 krajów UE dostępne były jedynie dla lat 2005–2014.

LITERATURA

- Bringezu S., Schütz H., Moll S., (2003), Rationale for and Interpretation of Economy-Wide Materials Flow Analysis and Derived Indicators, *Journal of Industrial Ecology*, 7 (2), 43–64.
- Bringezu S., Schütz H., Steger S., Baudisch J., (2004), International Comparison of Resource Use and its Relation to Economic Growth. The Development of Total Material Requirement, Direct Material Inputs and Hidden Flows and the Structure of TMR, *Ecological Economics*, 51 (1–2), 97–124.
- Eurostat, (2001), Economy-Wide Material Flow Accounts and Derived Indicators, A methodological Guide, *epp.eurostat.ec.europa.eu*.
- Fischer-Kowalski M., Krausmann F., Giljum S., Lutter S., Mayer A., Bringezu S., Moriguchi Y., Schütz H., Schandl H., Weisz H., (2011), Methodology and Indicators of Economy-Wide Material Flow Accounting. State of the Art and Reliability Across Sources, *Journal of Industrial Ecology*, 15 (6), 855–876.
- Hinterberger F., Luks F., Schmidt-Bleek F., (1997), Material Flows vs. "Natural Capital". What Makes an Economy Sustainable?, *Ecological Economics*, 23 (1), 1–14.
- Komisja Europejska, (2011), *Plan działania na rzecz zasobooszczędnej Europy*, <http://ec.europa.eu>.
- Kovanda J., Hak T., (2008), Changes in Materials Use in Transition Economies, *Journal of Industrial Ecology*, 12 (5/6), 721–738.
- Krausmann F., Gingrich S., Eisenmenger N., Erb K.-H., Haberl H., Fischer-Kowalski M., (2009), Growth in Global Materials use, GDP and Population During the 20th Century, *Ecological Economics*, 68 (10), 2696–2705.
- Kufel T., (2011), *Ekonometria. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem programu Gretl*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Maddala G. S., (2006), *Ekonometria*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Meyer B., (2011), Macroeconomic Modelling of Sustainable Development and the Links Between the Economy and the Environment, GWS Research Report Series 12–1, http://ec.europa.eu/environment/enveco/studies_modelling/pdf/report_macroeconomic.pdf.

- Parlament Europejski, (2012), Resource Efficiency in European Industry, Annex: Availability of TMR Data, <http://www.europarl.europa.eu/studies>.
- Pothen F., Schymura M., (2015), Bigger Cake with Fewer Ingredients? A Comparison of Material Use of the World Economy, *Ecological Economics*, 109, 109–121.
- Schutz H., Śleszyński J., (2000), Macroeconomic Indicator of Sustainable Development: Total Material Requirement (TMR) for Polska, University of Warsaw, Economic Discussion Papers, 54, Warsaw.
- Steger S., Bleischwitz R., (2011), Drivers for the Use of Materials Across Countries, *Journal of Cleaner Production*, 19 (8), 816–826.
- Steinberger J. K., Krausmann F., Eisenmenger N., (2010), Global Patterns of Material Use: A Socio-economic and Geophysical Analysis, *Ecological Economics*, 69 (5), 1148–1158.
- Świerkula E., (2006), Ocena możliwości obliczenia wskaźników przepływów materiałowych w oparciu istniejące dane krajowe według wypracowanych metodyk Europejskiej Agencji Środowiska i Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju, Ekspertyza wykonana na zamówienie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, Instytut na rzecz Ekorozwoju.
- Telega I., (2015), Kapitał naturalny a proces ekologizacji gospodarki, w: Koźuch M., (red.), *Ekologizacja gospodarki*, Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków.
- Weisz H., Krausmann F., Amanna C., Eisenmenger N., Erb K.-H., Hubacek K., Fischer-Kowalski M., (2006), The Physical Economy of the European Union: Cross-Country Comparison and Determinants of Material Consumption, *Ecological Economics*, 58 (4), 676–698.
- Wiedmann T. O., Schandl H., Lenzen M., Moran D., Suh S., West J., Kanemoto K., (2013), The Material Footprint of Nations, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112 (20).

CZYNNIKI ZAPOTRZEBOWANIA MATERIAŁOWEGO W KRAJACH UE W LATACH 2000–2015

Streszczenie

Korzystanie z zasobów naturalnych jest istotnym czynnikiem degradacji środowiska naturalnego oraz utraty bioróżnorodności. Problem ten znajduje odzwierciedlenie w dokumentach strategicznych UE, m.in. strategii Europa 2020, w której jedną z inicjatyw przewodnich jest „Europa efektywnie korzystająca z zasobów”. Obecnie rozwijane są rachunki przepływów materiałowych (Material Flow Accounts – MFA), w ramach których szacuje się zagregowane miary zapotrzebowania i konsumpcji materiałów przez poszczególne kraje. Celem opracowania jest określenie wpływu wybranych czynników na ilość zużywanych zasobów w wybranych krajach Europy z wykorzystaniem modeli regresji panelowej. Ze względu na dostępność danych badanie jest ograniczone do lat 2000–2015 oraz krajów Europy. W świetle uzyskanych wyników łączny udział sektora budowlanego, przemysłu oraz rolnictwa, wysokość PKB według PSN oraz finalna konsumpcja energii na mieszkańca wpływają za zwiększenie zapotrzebowania materiałowego. Wpływ instrumentów polityki ekologicznej w postaci podatków i opłat nie został potwierdzony.

W krajach rozwiniętych wzrost PKB jest możliwy przy stosunkowo mniejszym wzroście zapotrzebowania materialnego. Może to być spowodowane zmianami strukturalnymi w gospodarkach krajów rozwiniętych, postępem technologicznym, wdrożeniem recyklingu oraz stosowaniem zachęt w postaci podatków i opłat ekologicznych. Niewątpliwie, potrzebne są dalsze badania czynników determinujących wielkość zapotrzebowania materiałowego.

Słowa kluczowe: zapotrzebowanie materiałowe, zasoby naturalne, regresja panelowa, zrównoważony i trwały rozwój.

FACTORS OF MATERIAL CONSUMPTION IN EU COUNTRIES IN 2000–2015

Abstract

The use of natural resources is an important factor for environmental degradation and biodiversity loss. This problem is reflected in EU strategic documents, including Europe 2020 strategy, where one of the main initiatives is "resource efficient Europe". Materials Flow Accounts (MFA) are currently being developed, allowing to estimate the aggregate measures of demand and consumption of materials by each country. The aim of the study is to determine the influence of selected factors on the amount of resources consumed in selected European countries using panel regression models. Due to the availability of data, the study is limited to 2000–2015 period and European countries. According to the results obtained, the combined share of the construction, industrial and agriculture sectors, GDP PPS and final energy consumption per capita increase the demand on materials. The impact of environmental policy instruments in the form of taxes and fees has not been confirmed.

In developed countries GDP growth is possible with a relatively smaller increase in material demand. This may be due to structural changes in the economies of developed countries, technological change, the implementation of recycling, and the use of incentives, such as environmental taxes. Undoubtedly, further studies of factors determining the volume of material demand are needed.

Keywords: material requirement, natural resources, panel regression, sustainable development