

Identyfikacja wpływu kapitału transportowego na wzrost gospodarczy i konwergencję regionalną w Polsce

Studia Regionalne i Lokalne
Nr 3(101)/2025
© Authors 2025



ISSN 1509-4995
E-ISSN 2719-8049

doi: 10.7366/15094995310105

Roman Kosmański

Instytut Gospodarki, Akademia Nauk Stosowanych im. Jana Amosa Komeńskiego w Lesznie,
ul. A. Mickiewicza 5, 64-100 Leszno, Polska; e-mail: roman.kosmański@ansleszno.pl;
ORCID: 0000-0002-9557-6357

Streszczenie

Celem opracowania jest zbadanie wpływu kapitału transportowego na rozwój gospodarczy i konwergencję regionalną w Polsce. W analizie zastosowano rozszerzoną wersję modelu Mankiwa, Romera i Weila (MRW), w której – obok pracy i kapitału rzeczowego – uwzględniono kapitał transportowy jako dodatkowy czynnik produkcji. Badanie poprzedzono przeglądem literatury krajowej i zagranicznej wskazującej na znaczenie infrastruktury transportowej dla wzrostu gospodarczego oraz niwelowania dysproporcji regionalnych. Analizę empiryczną oparto na danych GUS z 2023 r. obejmujących wszystkie województwa. Uzyskane wyniki potwierdzają warunkowy charakter konwergencji regionalnej i podkreślają konieczność prowadzenia zróżnicowanej polityki rozwojowej, dostosowanej do specyfiki poszczególnych regionów.

Słowa kluczowe

kapitał transportowy, infrastruktura transportowa, wzrost gospodarczy, konwergencja regionalna, model MRW

Identifying the Impact of Transport Capital on Economic Growth and Regional Convergence in Poland

Abstract

The aim of this study was to examine the impact of transport capital on economic growth and regional convergence in Poland. The analysis employed an extended version of the Mankiw–Romer–Weil MRW model, in which, alongside labour and physical capital, transport capital was explicitly incorporated as an additional production factor. The research was preceded by a review of national and international studies highlighting the role of transport infrastructure in fostering growth and reducing regional disparities. The empirical analysis was based on 2023 data from Statistics Poland (GUS), covering all voivodeships. The results confirm the conditional nature of regional convergence and emphasise the need for diversified development policies tailored to regional specificities.

Keywords

transport capital, transport infrastructure, economic growth, regional convergence, MRW model

Wprowadzenie

Konwergencja gospodarcza to jedno z głównych zagadnień współczesnej ekonomii rozwoju i polityki spójności. W najprostszym ujęciu oznacza proces wyrównywania dochodów, produktywności i poziomu rozwoju pomiędzy krajami lub regionami (Barro, Sala-i-Martin, 1992; Sala-i-Martin, 1996). W literaturze zwykle wyróżnia się konwergencję typu β i σ , a także podejście oparte na analizie rozkładów (Quah, 1993; 1997). W badaniach nad procesami konwergencji pytanie praktyczne brzmi, czy w ramach Unii Europejskiej i w Polsce faktycznie obserwujemy zmniejszanie się różnic dochodowych. Badania dotyczące województw (NUTS-2) wskazują raczej na konwergencję warunkową. Oznacza to, że poszczególne regiony dążą do własnych stanów równowagi, zależnych od lokalnych uwarunkowań strukturalnych i instytucjonalnych. Proces jest powolny, a jego przebieg

zróznicowany przestrzennie. Empiryczne analizy (Wójcik, 2008) potwierdzają brak pełnej konwergencji absolutnej, a jednocześnie zwracają uwagę na polaryzację i tzw. konwergencję klubową. Tomasz Tokarski (2010) pokazuje, że metropolie korzystają z przewagi wyższej produktywności czynników produkcji. Wojciech Kisiał i inni (2016) dowodzą natomiast, że układ centrum–peryferie utrwała się również na poziomie lokalnym. Piotr Wójcik (2021) wskazuje dodatkowo, że dyspersja dochodowa pozostaje trwała także po wejściu Polski do UE. Z kolei analizy sektorowe (Kosmalski, 2016) podkreślają różnice w dynamice rolnictwa, przemysłu i usług, co utrudnia jednoznaczną ocenę procesów wyrównawczych. W wielu badaniach konwergencja okazuje się warunkowa i w dużej mierze zależy od czynników przestrzennych i instytucjonalnych (Fischer, Stirböck, 2004; Paas, Schlitte, 2007).

Coraz częściej w centrum zainteresowania badaczy pojawia się transport i infrastruktura transportowa. Tomasz Brodzicki (2012; 2015) rozszerzył model Mankiwa, Romera i Weila (MRW) (Mankiw, Romer, Weil, 1992), wprowadzając transport jako czynnik produkcji, i pokazał, że inwestycje w kolej oraz drogi sprzyjają procesom doganiania przez Polskę i kraje Europy Środkowo-Wschodniej bardziej rozwiniętych regionów Europy Zachodniej. Andrzej Cieślik i Bartłomiej Rokicki (2013) wskazali, że rozwój sieci drogowej poprawia dostępność przestrzenną i zmienia tradycyjny układ centrum–peryferie. Rokicki i Marcin Stępnia (2018) wykazali natomiast, że duże inwestycje w infrastrukturę transportową poprzez poprawę dostępności istotnie wpływają na rozwój regionalny. Rola infrastruktury transportowej była też szeroko analizowana w literaturze międzynarodowej. David A. Aschauer (1989) oraz David Banister i Joseph Berechman (2001a; 2001b), a także Riccardo Crescenzi i Andrés Rodríguez-Pose (2012) podkreślają, że transport wzmacnia procesy konwergencji. Poprawia mobilność zasobów, integruje rynki i zwiększa dostępność miejsc pracy, co sprzyja redukcji dysproporcji i wzrostowi produktywności w słabiej rozwiniętych regionach (Lakshmanan, 2011). Podobne wnioski formułują David Canning i Peter Pedroni (Canning, 1999; Canning, Pedroni, 2008), wskazując na długookresowy związek między infrastrukturą a PKB, potwierdzony na danych panelowych dla krajów rozwijających się. Efekty zewnętrzne inwestycji transportowych na przykładzie regionów hiszpańskich wykazali Pedro Cantos, Mercedes Gumbau-Albert i Joaquín Maudos (2005). Badania prowadzone przez Martijna Bronsa i in. (2014) potwierdzają istnienie kointegracji pomiędzy zasobami infrastruktury transportowej a PKB w krajach Unii Europejskiej.

Podsumowując, w Polsce i w UE mamy do czynienia przede wszystkim z konwergencją warunkową. Trwałe różnice strukturalne i instytucjonalne ograniczają tempo wyrównywania. Klasyczny model MRW, wywodzący się z modeli Solowa (1956) i Swana (1956), pozostaje użytecznym narzędziem analizy procesów wzrostu. Jego rozszerzenie o transport pozwala lepiej uchwycić czynniki regionalne i pokazać, że infrastruktura transportowa może być jednym z kluczowych determinantów wzrostu i konwergencji.

O ile literatura o związkach infrastruktury transportowej ze wzrostem gospodarczym jest obszerna, o tyle wciąż brakuje metodologicznie spójnych, porównywalnych dla Polski analiz, w których kapitał transportowy traktowany jest jako odrębny czynnik produkcji w rozszerzonym modelu MRW, a stany stacjonarne oraz rozkłady poziomu PKB na osobę pracującą są badane równolegle w trzech wariantowych scenariuszach akumulacji kapitałów. Dotychczasowe prace częściej operują miarami dostępności/czasów dojazdu lub łączą infrastrukturę w szerokie indeksy, rzadko natomiast wyprowadzają udziały czynników bezpośrednio z warunku maksymalizacji zysku i stosują spójną kalibrację kosztu użytkowania kapitału. Niniejszy artykuł wypełnia tę lukę, proponując ujednoliconą ramę pomiaru i porównywalne wnioski między województwami, które umożliwiają ścisłe porównania efektów kapitału transportowego względem pozostałych nakładów.

Metoda badania

Celem badania jest empiryczna ocena, dokonana w jednolitej ramie rozszerzonego modelu Mankiwa, Romera i Weila, w jakim stopniu kapitał transportowy traktowany jako odrębny czynnik produkcji wpływa na tempo wzrostu gospodarczego oraz konwergencję warunkową między polskimi województwami (NUTS-2) w 2023 r., na podstawie danych BDL GUS.

W szczególności badanie ma na celu:

1. Kwantyfikację elastyczności względem kapitału rzeczowego, transportowego i ludzkiego (kalibracja udziałów czynników zgodnie z warunkami pierwszego rzędu).
2. Wyznaczenie stanów stacjonarnych produktu na osobę pracującą dla każdego województwa.
3. Porównanie trzech scenariuszy wzrostu, w których akumulacja dotyczy osobno: a) kapitału rzeczowego; b) kapitału transportowego; c) kapitału ludzkiego, oraz ocenę ich implikacji dla zróżnicowań i zbieżności regionalnej.

Pytanie przewodnie brzmi, czy inwestycje transportowe przyczyniają się do wyrównywania dysproporcji między województwami, czy też ich rola jest ograniczona i nie prowadzi do konwergencji. Dla realizacji celu badawczego wykorzystano zmodyfikowany model Mankiwa, Romera i Weila osadzony w ramach neoklasycznej teorii wzrostu. Pozwoliło to uchwycić długookresowe mechanizmy rozwoju i ocenić ich znaczenie dla konwergencji. Modyfikacja modelu polegała na uwzględnieniu w nim czynnika w postaci kapitału transportowego.

Parametry modeli typu Mankiwa, Romera i Weila, opisujących procesy wzrostu gospodarczego w województwach, zostały wyznaczone metodą kalibracji. Zgodnie z założeniami tej metody parametry α_i , β_i , γ_i oraz $1 - \alpha_i - \beta_i - \gamma_i$ reprezentują odpowiednio udziały nakładów kapitału rzeczowego w gospodarce, kapitału transportowego, kapitału ludzkiego oraz pracy w tworzeniu produktu krajowego brutto (PKB).

Przedsiębiorstwo funkcjonujące w warunkach neoklasycznego rynku kieruje się fundamentalną zasadą maksymalizacji zysku. W kontekście doskonałej konkurencji oznacza to, że każdy z czynników produkcji: kapitał rzeczowy, kapitał transportowy, kapitał ludzki oraz siła robocza, są wynagradzane proporcjonalnie do wartości jego produktu krańcowego.

W ujęciu formalnym warunki konieczne dla maksymalizacji zysku można wyrazić za pomocą czteroczynnikowej funkcji produkcji o charakterze neoklasycznym, która spełnia standardowe założenia dotyczące ciągłości, różniczkowalności oraz malejących krańcowych produktywności¹. Funkcja ta stanowi podstawę analizy optymalnej kombinacji nakładów produkcyjnych, umożliwiając wyznaczenie punktu równowagi przedsiębiorstwa w krótkim i długim okresie:

$$Y_i(t) = F_i(K_i(t)H_i(t)X_i(t)L_i(t)) = A_i(t)K_i^{\alpha_i}(t)H_i^{\beta_i}(t)X_i^{\gamma_i}(t)L_i^{1-\alpha_i-\beta_i-\gamma_i}(t) \quad (1)$$

gdzie:

$\beta_i, \alpha_i, \gamma_i \in (0,1)$ oraz $\beta_i + \alpha_i + \gamma_i \in (0,1)$,

α_i – elastyczność produkcji ze względu na zgromadzone zasoby kapitału rzeczowego w gospodarce i -tego województwa,

β_i – elastyczność produkcji ze względu na zgromadzone zasoby kapitału rzeczowego zaangażowanego w działalności transportowej w i -tym województwie,

γ_i – elastyczność produkcji ze względu na zgromadzone zasoby kapitału ludzkiego w gospodarce i -tego województwa,

$1 - \alpha_i - \beta_i - \gamma_i$ – elastyczność PKB za względu na zasoby osób pracujących w i -tym województwie,

$Y_i(t)$ – PKB wytwarzany w i -tym województwie w czasie t ,

$L_i(t)$ – zasoby osób pracujących w i -tym województwie w czasie t ,

$A_i(t)$ – całkowita produktywność czynników produkcji – TFP_i w czasie t w gospodarce i -tego województwa,

$K_i(t)$ – zasoby kapitału rzeczowego z wyłączeniem kapitału transportowego zgromadzonego w sekcji H (w PKD)² w gospodarce i -tego województwa w czasie t ,

$H_i(t)$ – zasób kapitału transportowego – zgodnie z sekcją H (PKD), w i -tym województwie w czasie t ,

$X_i(t)$ – kapitał ludzki zgromadzony w gospodarce i -tego województwa w czasie t wyznaczono w wyniku zastosowania skróconego wariantu PIM (*Perpetual Inventory Method*) przy lokalnej quasi-stacjonarności nakładów, według z formuły:

¹ Czteroczynnikowa funkcja produkcji $F: R_+^4 \rightarrow R_+$ jest neoklasyczna, jeżeli jest rosnąca, wklęsła, dodatnio jednorodna stopnia pierwszego i spełnia graniczne warunki Inady.

² Sekcja H w Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD) obejmuje transport i gospodarkę magazynową.

$$X_i(t) = \frac{I_i^{edu}(t)}{\delta_x} \quad (2)$$

gdzie:

δ_x – to roczna deprecjacja kapitału ludzkiego, np. utrata kompetencji, wyjścia z rynku pracy. Z uwagi na brak możliwości wiarygodnego oszacowania wartości analizowanego parametru δ_x w badaniu zdecydowano się na arbitralne przyjęcie jego wartości równej 0,02,

$I_i^{edu}(t)$ – suma wydatków na szkolnictwo wyższe, działalność badawczo-rozwojową (B+R) oraz wydatki na oświatę z budżetów gmin i miast na prawach powiatu w i -tym województwie w momencie t .

Przyjęty w artykule sposób wyznaczenia zasobu kapitału ludzkiego opiera się na standardowym równaniu akumulacji kapitału wykorzystywanym w metodzie PIM: $K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_t$, gdzie K_t oznacza zasób kapitału w roku t , I_t – inwestycje w roku t , a δ – roczną stopę deprecjacji. Jeżeli przyjmemy, że w otoczeniu badanego roku nakłady są w przybliżeniu stałe ($I_t \approx I_{t-1} \approx I$) oraz że gospodarka znajduje się w stanie quasi-stacjonarnym, to poziom zasobu kapitału musi się ustalić na poziomie, przy którym bieżące nakłady równoważą ubytek z tytułu deprecjacji, tj. $I = \delta K$. Stąd wynika wzór: $K_i \approx \frac{I_t}{\delta}$. Tego typu przybliżenie pozwala oszacować zasób kapitału w sytuacji, gdy dysponujemy

informacją o wydatkach z jednego roku i chcemy zachować porównywalność między jednostkami terytorialnymi. W badaniu zastosowano to rozwiązanie dla kapitału $X_i(t)$ dla $t = 2023$, opisanego wzorem (2). Rozwiązanie to zapewnia porównywalność z pozostałymi zmiennymi z roku 2023 wykorzystanymi w badaniu. Przyjęty wariant kosztowej PIM dla kapitału ludzkiego, polegający na przeliczeniu bieżących nakładów edukacyjnych przez stałą stopę deprecjacji, jest zgodny z rozwiązaniami proponowanymi w literaturze (Kendrick, 1976; Judson, 2002; Le i in., 2005).

Zgodnie z założeniem neoklasycznej teorii typowe przedsiębiorstwo działające na neoklasycznym rynku maksymalizuje zysk (dla funkcji trójczynnikowej por. Malaga, Kliber, 2007):

$$\Pi_i(K_i(t), H_i(t), X_i(t), L_i(t)) = \left\{ \begin{array}{l} A_i(t)K_i^{\alpha_i}(t)H_i^{\beta_i}(t)X_i^{\gamma_i}(t)L_i^{1-\alpha_i-\beta_i-\gamma_i}(t) \\ -u_{K_i}(t)K_i(t) - u_{H_i}(t)H_i(t) - u_{X_i}(t)X_i(t) - w_i(t)L_i(t) \end{array} \right\} \rightarrow \max \quad (3)$$

gdzie:

$w_i(t)$ – wynagrodzenie za pracę w gospodarce i -tego województwa w czasie t ,

$u_{K_i}(t) = i(t) + \delta$ – koszt użytkowania jednostki kapitału rzeczowego z wyłączeniem kapitału zgromadzonego w sekcji H (PKD) w czasie t ,

$u_{H_i}(t) = i(t) + \delta$ – koszt użytkowania jednostki kapitału transportowego zgromadzonego w sekcji H (PKD) w czasie t ,

$u_{X_i}(t) = i(t) + \delta_x$ – koszt użytkowania jednostki kapitału ludzkiego w gospodarce i -tego województwa w czasie t ,

$i(t)$ – nominalna stopa zwrotu w czasie t (rentowność obligacji skarbowych dziesięcioletnich, gdzie: $i(2023) = 0,0581$),

δ – stopa amortyzacji kapitału rzeczowego przyjęta arbitralnie na poziomie 0,06.

Metoda wyceny usług kapitału rzeczowego oraz kapitału ludzkiego, oparta na formule $u_{K_i}(t)$, $u_{X_i}(t)$ oraz $u_{H_i}(t)$, ma silne podstawy w literaturze ekonomicznej. Robert E. Hall i Dale W. Jorgenson (1967) wykazali, że koszt użytkowania kapitału można modelować jako sumę nominalnej stopy zwrotu i amortyzacji. Podejście to zostało zaadaptowane przez OECD (2009) oraz zalecone przez Eurostat (2013) w ramach *European system of accounts* (ESA 2010). W efekcie parametry β_i oraz γ_i posiadają jednolitą interpretację jako elastyczności produkcji względem danego czynnika oraz jako miary udziału dochodu przypisanego temu czynnikowi w roku 2023. Takie ujęcie umożliwia merytorycznie spójne porównania oraz pozwala na wiarygodną ocenę relacji substytucyjnych lub komplementarnych pomiędzy zasobami. Ujednolicenie procedury estymacyjnej zapewnia wewnętrzną spójność porównań tych parametrów, co przekłada się na klarowność ekonomiczną oraz rzetelność ekonometryczną wniosków dotyczących względnej roli obu typów kapitału w procesie tworzenia produktu.

Warunek maksymalizacji funkcji zysku ze względu na zmienną $L_i(t)$ opisuje zależność:

$$\frac{d\Pi_i(A_i(t)K_i(t)H_i(t)X_i(t)L_i(t))}{dL_i(t)} = \quad (4)$$

$$= (1 - \alpha_i - \beta_i - \gamma_i) A_i(t) K_i^{\alpha_i}(t) H_i^{\beta_i}(t) X_i^{\gamma_i}(t) L_i^{-\alpha_i - \beta_i - \gamma_i}(t) - w_i(t)$$

po przekształceniach:

$$(1 - \alpha_i - \beta_i - \gamma_i) = \frac{w_i}{A_i(t) K_i^{\alpha_i}(t) H_i^{\beta_i}(t) X_i^{\gamma_i}(t) L_i^{-\alpha_i - \beta_i - \gamma_i}(t)} = \frac{w_i L_i(t)}{A_i(t) K_i^{\alpha_i}(t) H_i^{\beta_i}(t) X_i^{\gamma_i}(t) L_i^{1 - \alpha_i - \beta_i - \gamma_i}(t)} = \frac{w_i L_i(t)}{Y_i(t)} \quad (5)$$

Wartości współczynników elastyczności produkcji ze względu na zasoby kapitału transportowego $H_i(t)$ zaangażowanego w procesy produkcyjne wyznaczono z warunku maksymalizacji funkcji zysku:

$$\frac{d\Pi_i(A_i(t)H_i(t)K_i(t)X_i(t)L_i(t))}{dH_i(t)} = \beta_i A_i(t) K_i^{\alpha_i}(t) H_i^{\beta_i - 1}(t) X_i^{\gamma_i}(t) L_i^{1 - \alpha_i - \beta_i - \gamma_i}(t) - u_{H_i}(t) = 0 \quad (6)$$

stąd po przekształceniach:

$$\beta_i = \frac{u_{H_i}(t)}{A_i(t) K_i^{\alpha_i}(t) H_i^{\beta_i - 1}(t) X_i^{\gamma_i}(t) L_i^{1 - \alpha_i - \beta_i - \gamma_i}(t)} = \frac{u_{H_i}(t) H_i(t)}{A_i(t) K_i^{\alpha_i}(t) H_i^{\beta_i}(t) X_i^{\gamma_i}(t) L_i^{1 - \alpha_i - \beta_i - \gamma_i}(t)} = \frac{u_{H_i}(t) H_i(t)}{Y_i(t)} \quad (7)$$

Wartości współczynników elastyczności produkcji ze względu na zasoby kapitału ludzkiego $X_i(t)$ zaangażowanego w procesy produkcyjne wyznaczono z warunku maksymalizacji funkcji zysku:

$$\frac{d\Pi_i(A_i(t)H_i(t)K_i(t)X_i(t)L_i(t))}{dX_i(t)} = \gamma_i A_i(t) K_i^{\alpha_i}(t) H_i^{\beta_i}(t) X_i^{\gamma_i - 1}(t) L_i^{1 - \alpha_i - \beta_i - \gamma_i}(t) - u_{X_i}(t) = 0 \quad (8)$$

stąd po przekształceniach:

$$\gamma_i = \frac{u_{X_i}(t)}{A_i(t) K_i^{\alpha_i}(t) H_i^{\beta_i}(t) X_i^{\gamma_i - 1}(t) L_i^{1 - \alpha_i - \beta_i - \gamma_i}(t)} = \frac{u_{X_i}(t) X_i(t)}{A_i(t) K_i^{\alpha_i}(t) H_i^{\beta_i}(t) X_i^{\gamma_i}(t) L_i^{1 - \alpha_i - \beta_i - \gamma_i}(t)} = \frac{u_{X_i}(t) X_i(t)}{Y_i(t)} \quad (9)$$

Wstawiając w miejsce β_i oraz γ_i do równania (5) związki $\frac{u_{H_i}(t) H_i(t)}{Y_i(t)}$, $\frac{u_{X_i}(t) X_i(t)}{Y_i(t)}$, otrzymano:

$$\alpha_i = 1 - \left(\frac{w_i(t) L_i(t)}{Y_i(t)} + \frac{u_{H_i}(t) H_i(t)}{Y_i(t)} + \frac{u_{X_i}(t) X_i(t)}{Y_i(t)} \right) \quad (10)$$

Na podstawie zależności opisanych równaniami (7) oraz (10) wyznaczono parametry α_i , β_i , γ_i dla każdego z województw na podstawie obserwacji statystycznych pochodzących z Banku Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego o kształtowaniu się wynagrodzeń $w_i(t)$, $u_{K_i}(t)$, $u_{H_i}(t)$, $u_{X_i}(t)$, PKB oraz kapitałów $K_i(t)$ i $H_i(t)$ i $X_i(t)$ w każdym z województw. Tak wyznaczone parametry spełniają jednocześnie założenia neoklasycznej funkcji produkcji.

Rozszerzona funkcja produkcji Mankiwa, Romera, Weila w postaci intensywnej:

$$y_i(t) = A_i k_i^{\alpha_i}(t) h_i^{\beta_i}(t) x_i^{\gamma_i}(t) \quad (11)$$

gdzie:

$y_i(t)$ – PKB w przeliczeniu na osobę pracującą w i -tym województwie w czasie t ,

$k_i(t)$ – kapitał rzeczowy z wyłączeniem kapitału transportowego zgromadzonego w sekcji H (w PKD) w przeliczeniu na osobę pracującą w i -tym województwie w czasie t ,

$h_i(t)$ – kapitał transportowy w przeliczeniu na osobę pracującą w sekcji H (w PKD) w i -tym województwie w czasie t ,

$x_i(t)$ – kapitał ludzki w przeliczeniu na osobę pracującą w i -tym województwie w czasie t .

Funkcja produkcji w postaci intensywnej uzależnia poziom produktu krajowego brutto (PKB) na osobę pracującą w gospodarce każdego z województw od nakładów kapitału rzeczowego, kapitału transportowego oraz kapitału ludzkiego przypadających na osobę pracującą w województwie.

Wartości współczynników całkowitej produktywności czynników produkcji A_i w czasie $t = 0$ w gospodarce i -tego województwa wyznaczono jako początkowy stan gospodarki na podstawie równania:

$$A_i(0) = \frac{y_i(0)}{k_i^{\alpha_i}(0)h_i^{\beta_i}(0)x_i^{\gamma_i}(0)} \quad (12)$$

$A_i(t)$ – całkowita produktywność czynników produkcji TFP_i w i -tym województwie, o której założono, że jest $A_i(0) > 0$ i rośnie według egzogenicznej stopy postępu technologicznego w sensie Hicksa. Postęp technologiczny w sensie Hicksa definiowany jest jako postęp neutralny, który w równym stopniu zwiększa produktywność wszystkich czynników produkcji, lecz nie zmieniając ich względnych udziałów w tworzeniu produktu³.

$$A_i(t) = A_i(0)e^{g_i t} \quad (13)$$

gdzie: g_i – oznacza stopę egzogenicznego postępu.

W zmodyfikowanym modelu Mankiwa, Romera, Weila funkcja produkcji przyjmuje postać Cobba-Douglasa, uwzględniając cztery podstawowe czynniki: kapitał rzeczowy K_i , kapitał transportowy H_i , kapitał ludzki X_i oraz pracę L_i , przy założeniu egzogenicznego postępu technologicznego A_i . Stan stacjonarny w tym ujęciu osiągany jest w warunkach stabilnego stosunku nakładów inwestycyjnych do poziomu deprecjacji w obu formach kapitału, co umożliwia gospodarce utrzymanie trwałego tempa wzrostu produktu na osobę pracującą.

Procesy akumulacji kapitału rzeczowego, kapitału transportowego oraz kapitału ludzkiego, przeliczone na osobę pracującą, zostały opisane za pomocą układu równań (14). Rozwiązanie tego układu pozwala na wyznaczenie poziomu produktu krajowego brutto na osobę pracującą, który w długim horyzoncie czasowym ustali się w poszczególnych gospodarkach regionalnych (województwach). Uzyskana wartość stanowi punkt odniesienia w ocenie potencjału wzrostowego danego regionu oraz jego zdolności do konwergencji względem bardziej rozwiniętych obszarów kraju. Stan równowagi wyznaczony w modelu ma szczególne znaczenie w kontekście analiz regionalnych, gdyż umożliwia porównanie trajektorii rozwoju poszczególnych województw oraz identyfikację czynników sprzyjających procesowi konwergencji gospodarczej lub ograniczających go.

Układ równań (14), opisujący akumulację kapitału rzeczowego oraz kapitału transportowego w przeliczeniu na osobę pracującą, stanowi podstawę do określenia poziomu PKB na osobę pracującą, który ukształtuje się w długim okresie w każdej z regionalnych gospodarek:

$$\left\{ \begin{array}{l} s_{k_i}(t)A_i(t)k_i^{\alpha_i}(t)h_i^{\beta_i}(t)x_i^{\gamma_i}(t) - (n_{k_i} + \rho_k)k_i(t) = 0 \\ s_{h_i}(t)A_i(t)k_i^{\alpha_i}(t)h_i^{\beta_i}(t)x_i^{\gamma_i}(t) - (n_{h_i} + \rho_h)h_i(t) = 0 \\ s_{x_i}(t)A_i(t)k_i^{\alpha_i}(t)h_i^{\beta_i}(t)x_i^{\gamma_i}(t) - (n_{x_i} + \rho_x)x_i(t) = 0 \end{array} \right. \quad (14)$$

po przekształceniach:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_i^{1-\alpha_i}(t)h_i^{-\beta_i}(t)x_i^{-\gamma_i}(t) = \frac{A_i(t)s_{k_i}(t)}{(n_{k_i} + \rho_k)} \\ k_i^{-\alpha_i}(t)h_i^{1-\beta_i}(t)x_i^{-\gamma_i}(t) = \frac{A_i(t)s_{h_i}(t)}{(n_{h_i} + \rho_h)} \\ k_i^{-\alpha_i}(t)h_i^{-\beta_i}(t)x_i^{1-\gamma_i}(t) = \frac{A_i(t)s_{x_i}(t)}{(n_{x_i} + \rho_x)} \end{array} \right. \quad (15)$$

³ Zakłada się, że postęp technologiczny jest neutralny w sensie Hicksa, gdy czteroczynnikowa funkcja produkcji spełnia następujący warunek: $Y_i(t) = F_i(A_i(t), K_i(t), H_i(t), X_i(t)L_i(t)) = A_i K_i^{\alpha_i}(t) H_i^{\beta_i}(t) L_i^{1-\alpha_i-\beta_i-\gamma_i}(t)$.

i po zlogarytmowaniu:

$$\left. \begin{aligned} (1 - \alpha_i) \ln k_i(t) - \beta_i(t) \ln h_i(t) - \gamma_i(t) \ln x_i(t) &= \vartheta_{k_i} \\ -\alpha_i \ln k_i(t) + (1 - \beta_i) \ln h_i(t) - \gamma_i \ln x_i(t) &= \vartheta_{h_i} \\ -\alpha_i \ln k_i(t) - \beta_i \ln h_i(t) + (1 - \gamma_i) \ln x_i(t) &= \vartheta_{x_i} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

gdzie:

$$\vartheta_{k_i} = \ln \left(\frac{A_i(t) s_{k_i}(t)}{(n_{k_i} + \rho_k)} \right), \quad \vartheta_{h_i} = \ln \left(\frac{A_i(t) s_{h_i}(t)}{(n_{h_i} + \rho_h)} \right), \quad \vartheta_{x_i} = \ln \left(\frac{A_i(t) s_{x_i}(t)}{(n_{x_i} + \rho_x)} \right),$$

$$s_{k_i}(t) = \frac{I_{k_i}(t)}{Y_i(t)} - \text{stopa inwestycji w kapitał rzeczowy w } i\text{-tym województwie w czasie } t,$$

$I_{k_i}(t)$ – strumień inwestycji w kapitał rzeczowy w i -tym województwie w czasie t ,

$$s_{h_i}(t) = \frac{I_{h_i}(t)}{Y_i(t)} - \text{stopa inwestycji w kapitał transportowy w } i\text{-tym województwie w czasie } t,$$

$I_{h_i}(t)$ – strumień inwestycji w kapitał transportowy w i -tym województwie w czasie t ,

$$s_{x_i}(t) = \frac{I_{x_i}(t)}{Y_i(t)} - \text{stopa inwestycji w kapitał ludzki w } i\text{-tym województwie w czasie } t,$$

$I_{x_i}(t)$ – strumień inwestycji w kapitał ludzki w i -tym województwie w czasie t , obejmuje sumę wydatków na edukację w każdym z województw,

n_{k_i} – egzogeniczna stopa wzrostu liczby osób pracujących w gospodarce i -tego województwa z wyłączeniem pracujących w sekcji H (w PKD),

n_{h_i} – egzogeniczna stopa wzrostu liczby osób pracujących w gospodarce i -tego województwa w transporcie – w sekcji H (w PKD),

n_{x_i} – egzogeniczna stopa wzrostu liczby osób pracujących z wykształceniem wyższym w gospodarce i -tego województwa. Stopy wzrostu liczby osób zdeterminowane są przez czynniki demograficzne oraz inne uwarunkowania pozostające poza zakresem modelu, definiowane równaniem $L_i(t) = L_i(0)e^{n_i t}$ (Tokarski, 2009, s. 39),

ρ_k – wskaźnik deprecjacji kapitału rzeczowego, arbitralnie ustalony na poziomie 0,05,

$(n_{k_i} + \rho_k)$ – suma wskaźnika deprecjacji kapitału rzeczowego oraz stopy wzrostu liczby osób pracujących, która stanowi miarę inwestycji restytucyjnych (odtworzeniowych), niezbędnych do utrzymania zasobów kapitałowych na poziomie zapewniającym stabilność produkcji w warunkach zrównoważonego wzrostu gospodarczego,

ρ_h – wskaźnik deprecjacji kapitału transportowego, arbitralnie ustalony na poziomie 0,05,

$(n_{h_i} + \rho_h)$ – suma wskaźnika deprecjacji kapitału transportowego oraz stopy wzrostu liczby osób pracujących, która stanowi miarę inwestycji restytucyjnych (odtworzeniowych), niezbędnych do utrzymania zasobów kapitału transportowego na poziomie zapewniającym stabilność procesu produkcyjnego w warunkach zrównoważonego wzrostu gospodarczego,

$(n_{x_i} + \rho_x)$ – suma wskaźnika deprecjacji kapitału ludzkiego oraz stopy wzrostu liczby osób pracujących, która stanowi miarę inwestycji restytucyjnych (odtworzeniowych), niezbędnych do utrzymania zasobów kapitału ludzkiego na poziomie zapewniającym stabilność procesu produkcyjnego w warunkach zrównoważonego wzrostu gospodarczego,

ρ_x – wskaźnik deprecjacji kapitału ludzkiego, arbitralnie ustalony na poziomie 0,02.

Po rozwiązaniu układu równań (16) metodą wyznaczników Cramera otrzymano wartości kapitału rzeczowego, kapitału ludzkiego oraz kapitału transportowego, które w długim horyzoncie czasu ustalą się w gospodarce każdego z województw, przy założeniu ścieżki zrównoważonego wzrostu, czyli stanu stacjonarnego. Wyznaczniki Cramera dla układu równań (16) można zapisać w następującej postaci:

$$W = \begin{vmatrix} (1-\alpha_i) & -\beta_i & -\gamma_i \\ -\alpha_i & (1-\beta_i) & -\gamma_i \\ -\alpha_i & -\beta_i & (1-\gamma_i) \end{vmatrix} = 1-\alpha_i - \beta_i - \gamma_i \quad (17)$$

$$W_{k_i} = \begin{vmatrix} \vartheta_{k_i} & -\beta_i & -\gamma_i \\ \vartheta_{h_i} & (1-\beta_i) & -\gamma_i \\ \vartheta_{x_i} & -\beta_i & (1-\gamma_i) \end{vmatrix} = (1-\beta_i - \gamma_i)\vartheta_{k_i} + \beta_i\vartheta_{h_i} + \gamma_i\vartheta_{x_i} \quad (18)$$

$$W_{h_i} = \begin{vmatrix} (1-\alpha_i) & \vartheta_{k_i} & -\gamma_i \\ -\alpha_i & \vartheta_{h_i} & -\gamma_i \\ -\alpha_i & \vartheta_{x_i} & (1-\gamma_i) \end{vmatrix} = \alpha_i\vartheta_{k_i} + (1-\alpha_i - \gamma_i)\vartheta_{h_i} + \gamma_i\vartheta_{x_i} \quad (19)$$

$$W_{x_i} = \begin{vmatrix} (1-\alpha_i) & -\beta_i & \vartheta_{k_i} \\ -\alpha_i & (1-\beta_i) & \vartheta_{h_i} \\ -\alpha_i & -\beta_i & \vartheta_{x_i} \end{vmatrix} = \alpha_i\vartheta_{k_i} + \beta_i\vartheta_{h_i} + (1-\alpha_i - \beta_i)\vartheta_{x_i} \quad (20)$$

Na podstawie równań (17)–(20) wyznaczono zależności opisujące poziom zasobów kapitału rzeczowego oraz kapitału transportowego oraz kapitału ludzkiego w przeliczeniu na osobę pracującą w gospodarce każdego z województw, znajdującego się na ścieżce zrównoważonego wzrostu gospodarczego. Wartości te wyrażono są za pomocą wzorów:

$$\ln k_i^*(t) = \frac{W_{k_i}}{W} = \frac{(1-\beta_i-\gamma_i)\vartheta_{k_i} + \beta_i\vartheta_{h_i} + \gamma_i\vartheta_{x_i}}{1-\alpha_i-\beta_i-\gamma_i} \quad (21)$$

$$\ln h_i^*(t) = \frac{W_{h_i}}{W} = \frac{\alpha_i\vartheta_{k_i} + (1-\alpha_i-\gamma_i)\vartheta_{h_i} + \gamma_i\vartheta_{x_i}}{1-\alpha_i-\beta_i-\gamma_i} \quad (22)$$

$$\ln x_i^*(t) = \frac{W_{x_i}}{W} = \frac{\alpha_i\vartheta_{k_i} + \beta_i\vartheta_{h_i} + (1-\alpha_i-\beta_i)\vartheta_{x_i}}{1-\alpha_i-\beta_i-\gamma_i} \quad (23)$$

Logarytmując obustronnie funkcję produkcji PKB w postaci intensywnej (11), otrzymujemy następującą zależność:

$$\ln y_i^*(t) = \ln A_i(t) + \alpha_i \ln k_i^*(t) + \beta_i \ln h_i^*(t) + \gamma_i \ln x_i^*(t) \quad (24)$$

Podstawiając do równania (24) zależności wynikające z równań (21)–(23) uzyskano zlinearyzowaną postać równania opisującego proces wytwarzania produktu krajowego brutto na osobę pracującą w gospodarce każdego z województw, znajdującej się na ścieżce zrównoważonego wzrostu gospodarczego – w stanie stacjonarnym.

Wyniki

Analiza parametrów rozszerzonych modeli Mankiwa, Romera i Weila, przedstawionych w tab. 1 ujawnia istotne różnice w mechanizmach wzrostu gospodarczego pomiędzy województwami w Polsce.

W regionach o relatywnie wysokim poziomie rozwoju, takich jak województwo dolnośląskie, gdzie parametr $\alpha_i = 0,465$, i łódzkie, gdzie $\alpha_i = 0,498$, czy zachodniopomorskie, gdzie $\alpha_i = 0,496$, obserwujemy wyraźną dominację kapitału rzeczowego jako głównego czynnika wzrostu. Wzrost gospodarczy w tych województwach opiera się w dużej mierze na inwestycjach w środki trwałe. Należy jednak podkreślić, że nadmierna koncentracja na akumulacji kapitału rzeczowego charakteryzuje się ograniczonymi możliwościami rozwoju gospodarki ze względu na malejącą krańcową produktywność. Zostało to szeroko opisane w literaturze przedmiotu (por. Solow, 1956; Mankiw, Romer, Weil, 1992; Kliber i in., 2004). W województwach wschodnich, takich jak lubelskie, parametr $\alpha_i = 0,404$, w województwie warmińsko-mazurskim $\alpha_i = 0,415$. W tych regionach struktura wzrostu przedstawia się odmiennie. Kapitał rzeczowy odgrywa mniejszą rolę, a tempo wzrostu zależy w większym stopniu od czynników jakościowych, do których zaliczymy kapitał ludzki, poziomu innowacyjności czy dostępności szeroko rozumianej infrastruktury. Tokarski (2010) zauważył, że w regionach peryferyjnych znaczenie niematerialnych czynników wzrostu będzie rosło. Potwierdzają to wartości parametrów przedstawionych w tab. 1.

Tab. 1. Parametry modeli wzrostu gospodarczego typu Mankiwa, Romera, Weila

Województwo	α_i	β_i	γ_i	$A_i(0)$	$s_{k_i}(t)$	$s_{h_i}(t)$	$s_{x_i}(t)$	$(n_{k_i} + \rho_k)$	$(n_{h_i} + \rho_h)$	$(n_{x_i} + \rho_x)$
DŚ	0,465	0,024	0,198	12,06	0,109	0,015	0,051	0,065	0,084	0,041
KP	0,441	0,038	0,213	10,65	0,106	0,023	0,055	0,062	0,086	0,027
LB	0,404	0,048	0,246	7,20	0,114	0,031	0,063	0,047	0,094	0,025
LS	0,437	0,057	0,203	9,27	0,119	0,048	0,052	0,051	0,096	0,032
ŁD	0,498	0,033	0,180	9,79	0,094	0,029	0,046	0,042	0,090	0,018
MP	0,368	0,026	0,255	16,11	0,098	0,030	0,065	0,074	0,091	0,041
MZ	0,435	0,040	0,190	18,57	0,119	0,022	0,049	0,068	0,052	0,040
OP	0,436	0,039	0,219	9,46	0,139	0,025	0,056	0,063	0,073	0,029
PK	0,368	0,046	0,260	10,32	0,123	0,034	0,067	0,064	0,086	0,035
PL	0,432	0,052	0,228	6,32	0,102	0,068	0,058	0,056	0,106	0,032
PM	0,460	0,025	0,186	16,98	0,105	0,021	0,048	0,056	0,079	0,029
ŚK	0,460	0,036	0,216	7,55	0,104	0,020	0,055	0,041	0,069	0,027
ŚL	0,417	0,035	0,241	8,65	0,108	0,033	0,062	0,077	0,087	0,040
WM	0,415	0,057	0,236	6,95	0,113	0,034	0,060	0,055	0,066	0,032
WP	0,438	0,029	0,186	21,35	0,102	0,017	0,048	0,066	0,123	0,026
ZP	0,469	0,047	0,196	7,08	0,107	0,052	0,050	0,073	0,075	0,031

Oznaczenia: DŚ – woj. dolnośląskie, KP – kujawsko-pomorskie, LB – lubelskie, LS – lubuskie, ŁD – łódzkie, MP – małopolskie, MZ – mazowieckie, OP – opolskie, PK – podkarpackie, PL – podlaskie, PM – pomorskie, ŚK – świętokrzyskie, ŚL – śląskie, WM – warmińsko-mazurskie, WP – wielkopolskie, ZP – zachodniopomorskie.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BDL GUS.

Szczególnie interesujące są wyniki dotyczące kapitału transportowego. W województwach peryferyjnych, do których możemy zaliczyć województwo lubuskie z parametrem beta na poziomie $\beta_i = 0,057$, warmińsko-mazurskie $\beta_i = 0,052$, podlaskie $\beta_i = 0,052$ czy zachodniopomorskie $\beta_i = 0,047$, infrastruktura transportowa ze względu na wyższe wartości współczynników pełni funkcję wyrównującą. Poprawa dostępności przestrzennej łagodzi negatywne skutki izolacji geograficznej, co potwierdzają również badania Cieślaka i Rokickiego (2013). W bardziej rozwiniętych regionach, takich jak dolnośląskie $\beta_i = 0,024$, pomorskie $\beta_i = 0,025$, czy małopolskie z parametrem beta na poziomie $\beta_i = 0,026$, transport przestaje być barierą rozwojową, a kluczowe dla trwałego wzrostu gospodarczego stają się innowacje i technologie (por. Fischer, 2011).

W ramach regionalnych modeli wzrostu gospodarczego typu MRW parametry γ_i odgrywają kluczową rolę, będąc miarą elastyczności produkcji ze względu na zgromadzone zasoby kapitału ludzkiego. W praktyce odzwierciedlają one udział kapitału ludzkiego w tworzeniu PKB w i -tym województwie. Oszacowane wartości γ_i dla województw wykazują istotne zróżnicowanie, mieszcząc się w przedziale od 0,180 do 0,260. Uzyskane oszacowania są spójne z wynikami badań opartych na oryginalnym modelu MRW. Przykładowo, Mankiw, Romer i Weil (1992) sugerowali, że suma udziałów kapitału rzeczowego i ludzkiego może sięgać 0,7–0,8. Ponadto w świetle badań nad konwergencją regionalną, m.in. prowadzonych przez Sala-i-Martina (1996), oraz szczegółowych analiz polskich regionów wysoka i zróżnicowana wartość γ_i potwierdza tezę o warunkowym charakterze konwergencji i wskazuje, że efektywność inwestycji w kapitał ludzki różni się w zależności od specyfiki danego województwa. Przykładowo, najwyższe γ_i w województwie podkarpackim sugeruje wysoką efektywność konwersji zasobów edukacyjnych na produktywność gospodarczą w tym regionie.

Duże rozbieżności widoczne są w poziomach TFP , od 6,32 w województwie podlaskim do 18,52 w mazowieckim. Te wartości z jednej strony wskazują, że intensywna akumulacja kapitału w centrum kraju przekłada się na wysoką efektywność, z drugiej sugerują, że regiony wschodnie, mimo mniejszych zasobów, potrafią także często wykorzystać je efektywnie. Dorota Ciołek i Tomasz Brodzicki (2017a) argumentowali, że może to wynikać z bardziej elastycznych struktur gospodarczych lub po prostu z efektu doganiania, którego nie widać w regionach już rozwiniętych.

W zakresie tempa akumulacji kapitału rzeczowego najwyższe wartości odnotowano w opolskim $s_{k_i}(t) = 0,139$, podkarpackim $s_{k_i}(t) = 0,123$, mazowieckim i lubuskim $s_{k_i}(t) = 0,119$. Wskazuje to na potencjał dalszego rozwoju, choć jego trwałość ze względu na malejącą krańcową

produktywność kapitału rzeczowego będzie zależna od równoległego wzrostu innowacyjności. Niższe wskaźniki nakładów inwestycyjnych w województwie łódzkim $s_{k_i}(t) = 0,094$ i małopolskim $s_{k_i}(t) = 0,098$ mogą stanowić barierę rozwojową w dłuższej perspektywie. W przypadku inwestycji transportowych wyróżnia się podlaskie $s_{h_i}(t) = 0,068$, co jest zgodne z historycznym niedorozwojem infrastrukturalnym tego regionu. Wysokie wartości obserwujemy również w zachodniopomorskim $s_{h_i}(t) = 0,052$ i lubuskim $s_{h_i}(t) = 0,048$. Natomiast w dolnośląskim $s_{h_i}(t) = 0,015$, pomorskim $s_{h_i}(t) = 0,021$ czy świętokrzyskim $s_{h_i}(t) = 0,020$ udział inwestycji transportowych jest marginalny, co może świadczyć o przesunięciu priorytetów inwestycyjnych. Stopa inwestycji w kapitał ludzki $s_{x_i}(t)$, zdefiniowana jako stosunek rocznych wydatków na edukację (strumień inwestycji w kapitał ludzki) do regionalnego PKB, wykazuje w Polsce stosunkowo niewielkie zróżnicowanie międzywojewódzkie, mieszcząc się w wąskim przedziale od 0,046 do 0,067. Najniższą stopę inwestycji odnotowano w województwie łódzkim $s_{x_i}(t) = 0,046$, co sugeruje, że w tym regionie udział wydatków na edukację w PKB jest najmniejszy. Z kolei najwyższa stopa inwestycji w kapitał ludzki występuje w województwie podkarpackim $s_{x_i}(t) = 0,067$, co może wskazywać na relatywnie wyższy priorytet polityki edukacyjnej w tym regionie lub niższy nominalny PKB, co automatycznie zawyża ten wskaźnik.

Wartości współczynników β_i uzyskane dla województw w Polsce dobrze korespondują z ustaleniami literatury przedmiotu. Już klasyczne badania Alicii H. Munnell (1990) oraz Teresy García-Milà, Therese McGuire (1992) wskazywały na stosunkowo niskie, lecz dodatnie elastyczności produkcji względem kapitału transportowego, przyjmując wartości w granicach 0,05–0,10. Podobne wnioski przynosi przegląd nowszej literatury Piotra Rosika i Julii Wójcik (2023), którzy zwracają uwagę, że w Europie Środkowo-Wschodniej wpływ szeroko rozumianej infrastruktury transportowej na zmiany produktywności jest umiarkowany i – co szczególnie istotne – silnie zależny od przyjętej metodologii. W nurt badań regionalnych dobrze wpisuje się praca Cantosa i in. (2005). Dla Hiszpanii autorzy ci oszacowali elastyczność produkcji względem infrastruktury transportowej na poziomie około 0,06. Zbieżne wyniki pojawiają się także w literaturze polskiej. Rokicki i Stępnia (2018) wykazali, że poprawa dostępności transportowej była dodatnio powiązana ze wzrostem zatrudnienia, choć – co warto podkreślić – wpływ na produkcję regionalną pozostawał ograniczony. Z kolei Rokicki i in. (2021) zauważyli, że inwestycje drogowe miały relatywnie niewielkie znaczenie w skali makroekonomicznej, ale ich efekty silnie różnicowały się regionalnie. Co ciekawe, Tomasz Komornicki i Sławomir Goliszek (2023) wskazali, że największe korzyści z inwestycji transportowych pojawiają się we wczesnych fazach rozbudowy sieci. Natomiast w dłuższej perspektywie decydujące okazują się czynniki komplementarne, przede wszystkim kapitał ludzki i innowacje. Kontekst wpływu na produktywność rozwijają badania Ciołka i Brodzickiego (2017). Analizując przestrzenną zmienność TFP w polskich powiatach, autorzy ci pokazali, że infrastruktura transportowa odgrywa szczególną rolę w regionach peryferyjnych, gdzie bariery dostępności są najsilniejsze. Wyniki te dobrze wpisują się w obserwacje z innych krajów, potwierdzając, że transport może pełnić funkcję czynnika kompensacyjnego w procesach konwergencji regionalnej.

Prospektywna analiza konwergencji gospodarczej w Polsce

Jednym z powszechnie stosowanych sposobów badania, w jaki sposób czynniki produkcji oddziałują na tempo i poziom wzrostu gospodarczego, jest analiza składowych PKB. Takie podejście pozwala lepiej uchwycić, co faktycznie napędza rozwój gospodarczy w poszczególnych regionach, a jednocześnie daje możliwość oceny, czy sprzyja ono procesom zbliżania się poziomu rozwoju – czyli konwergencji. Podstawy tej metody wywodzą się z klasycznego modelu Solowa. Dzięki prostemu zabiegowi w postaci logarytmowania funkcji produkcji i przekształcenia jej do postaci addytywnej możliwe stało się rozłożenie całkowitego wzrostu gospodarczego na wkład poszczególnych czynników. W praktyce oznacza to, że da się policzyć, jakie w danym okresie odpowiadały za wzrost gospodarczy. Nie jest to jednak narzędzie wolne od ograniczeń. Po pierwsze, analiza zakłada z góry określoną postać funkcji produkcji, najczęściej Cobba–Douglasa, co zmniejsza możliwości interpretacyjne. Po drugie, trudno bywa jednoznacznie oddzielić wpływ samej akumulacji kapitału od zmian w produktywności czynników. Mimo to podejście to znajduje szerokie zastosowanie zarówno w analizach długookresowych, jak i w badaniach porównawczych między regionami.

W niniejszym artykule punktem wyjścia dla dekompozycji wzrostu gospodarczego była funkcja produkcji w postaci multiplikatywnej, z której wyprowadzono indeks neoklasycznej funkcji produkcji w ujęciu intensywnym. Podobne rozwiązania pojawiają się m.in. u Tokarskiego (2007), analizującego różnice w wydajności pracy między krajami rozwiniętymi i rozwijającymi się, oraz Jakuba Growca (2012). Opierając się na tej samej logice, w niniejszym artykule wykorzystano następującą formułę indeksu (Kosmański, 2022):

$$\frac{y_i^*}{y_i(t)} = A_i(t) \left(\frac{k_i^*}{k_i(t)}\right)^{\alpha_i} \left(\frac{h_i^*}{h_i(t)}\right)^{\beta_i} \left(\frac{x_i^*}{x_i(t)}\right)^{\gamma_i} \quad (25)$$

W modelach neoklasycznych standardowo zakłada się stałość parametrów α_i , β_i , γ_i w długim okresie, natomiast postęp technologiczny reprezentowany przez zmienną A_i pozostaje egzogeniczny, poza modelem. Po zlogarytmowaniu i przekształceniu równania (25) wyprowadzono wzory określające wkład akumulacji kapitału rzeczowego, ludzkiego oraz akumulacji kapitału transportowego w zmiany PKB na osobę pracującą pomiędzy rokiem 2023 a momentem osiągnięcia przez gospodarkę każdego z województw stanu stacjonarnego:

$$\begin{aligned} \ln y_i^* - \ln y_i(t) = & \ln A_i(t) + \alpha_i (\ln k_i^* - \ln k_i(t)) + \\ & + \beta_i (\ln h_i^* - \ln h_i(t)) + \gamma_i (\ln x_i^* - \ln x_i(t)). \end{aligned} \quad (26)$$

Wzory (27)–(29) stanowią podstawę przyjętej w niniejszym badaniu metody dekompozycji zmian PKB na osobę pracującą w badanym okresie, rozdzielając wpływ akumulacji kapitału rzeczowego AK_i , kapitału transportowego AH_i oraz kapitału ludzkiego AX_i . W celu oceny ich wpływu na procesy wzrostu i konwergencji gospodarczej województw wykorzystano wyniki dekompozycji równania przedstawionego we wzorach (27–29). Analiza polegała na określeniu wpływu poszczególnych komponentów funkcji produkcji na zmiany PKB na osobę pracującą w badanym okresie. W tym celu obliczono alternatywne wartości PKB, dodając do niego wartość w momencie początkowym – w roku 2023 każdą ze składowych funkcji produkcji – co pozwoliło na wyizolowanie wpływu poszczególnych czynników produkcji na zmiany wielkości produkcji pomiędzy badanymi momentami. Zastosowane podejście obejmuje trzy warianty:

$$\ln y_i^*(AK_i) = \ln y_i(t) + \alpha_i (\ln k_i^* - \ln k_i(t)) \quad (27)$$

Wzór (27) przedstawia scenariusz, w którym jedynym czynnikiem wzrostu PKB w analizowanym okresie była akumulacja kapitału rzeczowego,

$$\ln y_i^*(AH_i) = \ln y_i(t) + \beta_i (\ln h_i^* - \ln h_i(t)) \quad (28)$$

Wzór (28) obrazuje wpływ wyłącznie kapitału transportowego,

$$\ln y_i^*(AX_i) = \ln y_i(t) + \gamma_i (\ln x_i^* - \ln x_i(t)) \quad (29)$$

Wzór (29) przedstawia wpływ wyłącznie kapitału ludzkiego na zmiany PKB na osobę pracującą.

Tak skonstruowane miary dostarczają istotnych informacji na temat charakteru i siły oddziaływania wymienionych czynników na procesy wzrostu i konwergencji gospodarczej województw. Zmiany obserwowanej wielkości produkcji mogą być rezultatem zarówno akumulacji kapitału rzeczowego, jak akumulacji kapitału transportowego.

Konwergencja gospodarcza województw

Procesy konwergencji gospodarczej województw zostały ocenione na podstawie rozkładów PKB na osobę pracującą, z uwzględnieniem oddzielnego wpływu czynników produkcji. Zastosowanie tej metody umożliwia nie tylko identyfikację występowania konwergencji w analizowanym okresie, lecz także określenie jej źródeł oraz intensywności ich oddziaływania. Odwołanie się do zagregowanej funkcji produkcji pozwala zatem na precyzyjne określenie źródeł konwergencji gospodarczej województw w Polsce (Kosmański, 2022). Rozkłady PKB na osobę pracującą wyznaczono z wykorzystaniem metody estymacji jądrowej, szeroko stosowanej w badaniach nad dynamiką rozkładów dochodów i produktywności (Silverman, 1986; Henderson, Parmeter, 2015), umożliwiającej szczegółową analizę struktury rozkładu PKB oraz jej ewolucji w czasie (por. Kruszka, Puźniak, 2012;

Quah, 1997), a także identyfikację polaryzacji (Esteban i in., 2007). Dwuwymiarowy estymator jądrowej funkcji gęstości został zaprezentowany zgodnie z podejściem Piotra Wójcika (2008) według następującej formuły:

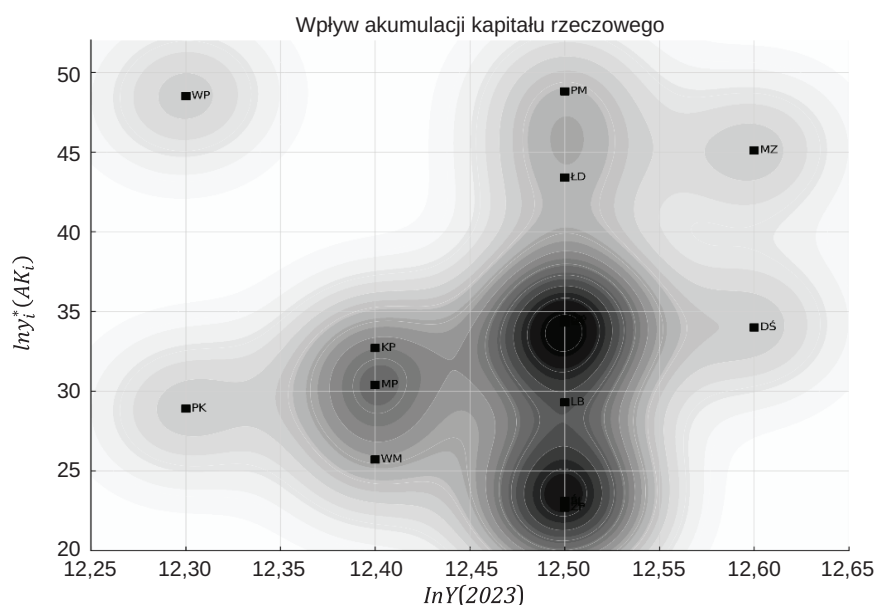
$$\hat{f}(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{h_y h_x w_i^2} K\left(\frac{y-y_i}{h_y w_i}\right) K\left(\frac{x-x_i}{h_x w_i}\right) \quad (30)$$

gdzie:

n – wymiar zmiennej losowej x, y , w badaniu zmienne te reprezentują PKB w roku 2023 oraz PKB w stanie stacjonarnym w i -tym województwie,

$\hat{f}(x)$ – estymator funkcji gęstości rozkładu skonstruowany na podstawie danych o PKB,
 h_y, h_x – tzw. współczynniki wygładzania (inaczej: szerokość pasma lub okna)⁴,
 $K(x)$ oraz $K(y)$ – jądro estymacji, które zwykle ma postać funkcji gaussowskiej,
 w^i – wagi wyznaczone dla współczynników wygładzania (Wójcik, 2008, s. 47).

Estymator jądrowej umożliwia konstrukcję funkcji gęstości bez przyjmowania z góry zdanego rozkładu. Dzięki temu możliwe jest identyfikowanie cech charakterystycznych rozkładu (np. liczby maksimum, asymetrii) oraz wartości skrajnych dla zmiennej, co szczególnie podkreślono w pracach Danny'ego Quaha (1997).



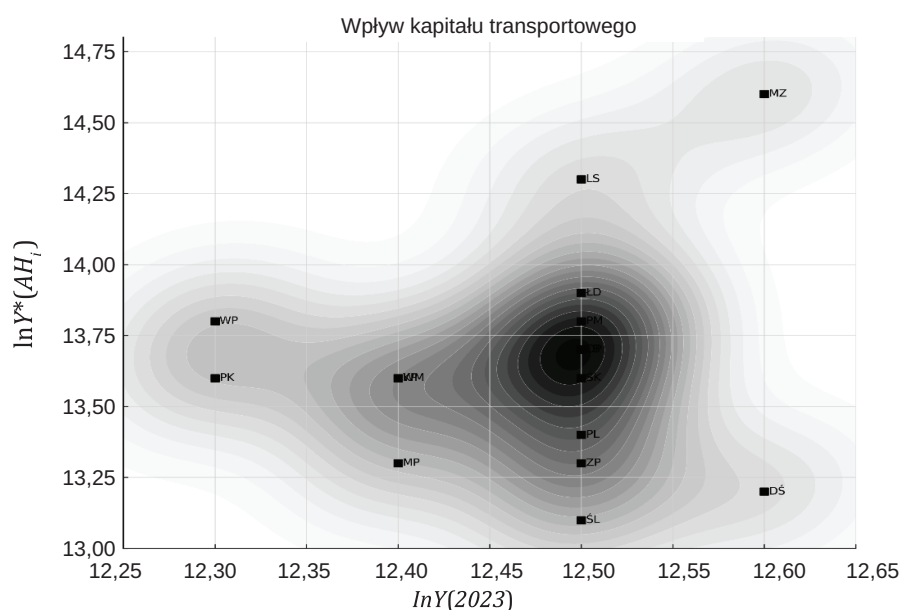
Ryc. 1. Dwuwymiarowa estymacja jądrowa PKB na osobę pracującą w Polsce: scenariusz wzrostu gospodarczego z uwzględnieniem kapitału rzeczowego

Oznaczenia: jak w tab. 1, $\ln y_i(2023)$ – $\ln$ PKB w przeliczeniu na osobę pracującą w i -tym województwie w roku 2023, $\ln y_i^*(AK_i)$ – $\ln$ PKB na osobę pracującą w gospodarkach znajdujących się w stanie stacjonarnym, z uwzględnieniem wyłącznie wpływu kapitału rzeczowego. Wartości wyznaczone na podstawie wzoru (27).

Źródło: opracowanie własne przy wykorzystaniu aplikacji R.

Ryc. 1 ilustruje zależność między poziomem $\ln y_i(2023)$ produktu na osobę pracującą w 2023 r. (oś X) a długookresowym poziomem wynikającym z akumulacji kapitału rzeczowego $\ln y_i^*(AK_i)$ (oś Y). Mimo niewielkich różnic w dochodach w roku wyjściowym województwa znacząco różnią się pod względem potencjału wzrostu. Regiony takie jak pomorskie, wielkopolskie, mazowieckie i łódzkie wykazują wysokie stany stacjonarne, co sugeruje dalszą konwergencję do wyższych ścieżek dochodu. Z kolei województwa: zachodniopomorskie, podlaskie i śląskie charakteryzują się niższym poziomem równowagi, świadczącym o ograniczonym potencjale wzrostu. Wyniki potwierdzają występowanie konwergencji warunkowej – regiony zmierzają do odrębnych poziomów PKB na osobę pracującą, zależnych od jakości i intensywności akumulacji kapitału, tworząc tzw. kluby konwergencji.

⁴ Wartość h wyznaczono ze wzoru zaproponowanego przez Silvermana (1986).



Ryc. 2. Dwuwymiarowa estymacja jądrowa PKB na osobę pracującą w Polsce: scenariusz wzrostu gospodarczego z uwzględnieniem kapitału transportowego

Oznaczenia: jak w tab. 1, $\ln y_i(2023)$ – $\ln$ PKB w przeliczeniu na osobę pracującą w i -tym województwie w roku 2023, $\ln y_i^*(AH_i)$ – $\ln$ PKB na osobę pracującą w gospodarkach znajdujących się w stanie stacjonarnym, z uwzględnieniem wyłącznie wpływu kapitału transportowego. Wartości wyznaczono na podstawie wzoru (28).

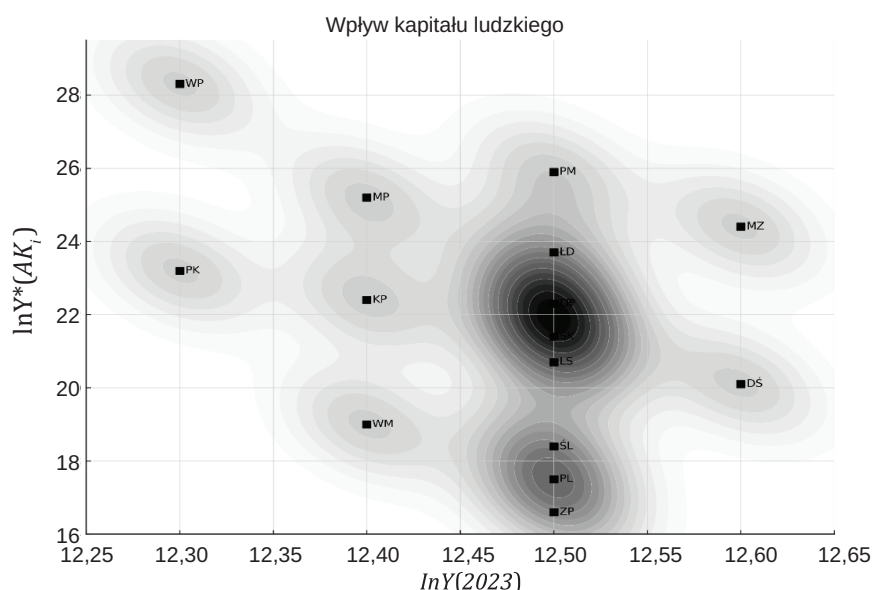
Źródło: opracowanie własne przy wykorzystaniu aplikacji R.

Ryc. 2 przedstawia zależność między obserwowanym poziomem produktu krajowego brutto (PKB) na osobę pracującą w 2023 r. a długookresowym poziomem produktu wyznaczonym na podstawie modelu, w którym czynnikiem akumulacji jest kapitał transportowy $\ln y_i^*(AH_i)$. W przeciwieństwie do wariantu uwzględniającego kapitał rzeczowy, gdzie województwa wykazywały istotne zróżnicowanie stanów stacjonarnych, w analizie opartej na kapitale transportowym zakres wartości długookresowych jest znacznie bardziej jednorodny. Wynik ten sugeruje, że infrastruktura transportowa w Polsce pełni funkcję dobra sieciowego o działaniu ujednolicającym – przy zbliżonym poziomie dostępności większość regionów może osiągnąć podobny poziom produkcji. W efekcie konwergencja warunkowa w tym ujęciu zbliża się do konwergencji bezwarunkowej. Praktycznym przejawem tego zjawiska jest relatywnie krótka ścieżka doganiania dla województw o niższym obecnym poziomie PKB na pracującego, ponieważ ich docelowy poziom dochodu jest tylko nieznacznie wyższy od aktualnego. Wyjątki od tej tendencji stanowią województwa, które osiągają nieco wyższy stan stacjonarny – mazowieckie, lubuskie – co może wskazywać na lokalne przewagi w dostępności lub jakości infrastruktury transportowej. Niemniej jednak brak wyraźnych „klubów konwergencji” w tym ujęciu potwierdza, że kapitał transportowy nie generuje silnych różnic strukturalnych między regionami.

Z punktu widzenia polityki regionalnej uzyskane wyniki mają istotne implikacje. Jeśli celem jest przyspieszenie realnej konwergencji dochodowej, inwestycje w kapitał transportowy stanowią efektywny instrument – poprzez zmniejszenie zróżnicowania stanów stacjonarnych obniżają barierę doganiania i sprzyjają bardziej równomiernemu wzrostowi gospodarczemu w skali kraju.

Ryc. 3 przedstawia zależność między obserwowanym poziomem produktu krajowego brutto (PKB) na osobę pracującą w 2023 r. a długookresowym poziomem produktu wyznaczonym na podstawie modelu, w którym kluczowym czynnikiem wzrostu jest kapitał ludzki $\ln y_i^*(AX_i)$. W porównaniu z wariantem uwzględniającym kapitał rzeczowy rozkład PKB jest bardziej wyrównany, co wskazuje na mniejsze zróżnicowanie stanów stacjonarnych między województwami. Oznacza to, że kapitał ludzki różnicuje regiony, lecz nie generuje tak dużej rozpiętości potencjału wzrostowego jak kapitał rzeczowy. Najwyższe poziomy produkcji osiągają województwa: wielkopolskie, pomorskie, małopolskie, mazowieckie oraz – w nieco mniejszym stopniu – łódzkie. Są to regiony, które w statystykach edukacyjnych, demograficznych i kwalifikacyjnych wypadają relatywnie dobrze,

a ich zdywersyfikowana struktura gospodarki umożliwia efektywne wykorzystanie zasobów kapitału ludzkiego. Zgodnie z wynikami modelu utrzymanie obecnego profilu kapitału ludzkiego w tych województwach prowadzi do wyższego długookresowego poziomu PKB na osobę pracującą, co oznacza występowanie dodatniej luki wzrostowej.



Ryc. 3. Dwuwymiarowa estymacja jądrowa PKB na osobę pracującą w Polsce: scenariusz wzrostu gospodarczego z uwzględnieniem kapitału ludzkiego

Oznaczenia: jak w tab. 1, $\ln y_i(2023)$ – $\ln$ PKB w przeliczeniu na osobę pracującą w i -tym województwie w roku 2023, $\ln y_i^*(AX_i)$ – $\ln$ PKB na osobę pracującą w gospodarkach znajdujących się w stanie stacjonarnym, z uwzględnieniem wyłącznie wpływu kapitału ludzkiego. Wartości wyznaczono na podstawie wzoru (29).

Źródło: opracowanie własne przy wykorzystaniu aplikacji R.

Z perspektywy teorii wzrostu gospodarki regionalnej obserwowane zależności potwierdzają występowanie konwergencji warunkowej – województwa nie zmierzają do jednolitego poziomu dochodu, lecz do stanów stacjonarnych wyznaczonych jakością i zasobami kapitału ludzkiego. Szczególną uwagę warto zwrócić na województwo wielkopolskie, które w analizowanym wariancie wyraźnie odstaje od pozostałych regionów, co może świadczyć o ponadprzeciętnej efektywności wykorzystania kapitału ludzkiego. Wynika z tego, że sama dostępność zasobów (np. odsetek osób z wykształceniem średnim lub wyższym) nie jest wystarczająca, kluczowe znaczenie ma struktura gospodarki, która umożliwia ich produktywnie wykorzystanie. Natomiast z punktu widzenia polityki rozwoju regionalnego uzyskane wyniki wskazują, że inwestycje w kapitał ludzki należą do nielicznych instrumentów zdolnych do realnego podniesienia długookresowego poziomu produkcji.

Podsumowanie i wnioski

Analiza trzech wariantów modeli wzrostu regionalnego – z kapitałem rzeczowym AK_i , transportowym AH_i oraz ludzkim AX_i – jednoznacznie wskazuje na warunkowy charakter konwergencji województw w Polsce. W wariancie uwzględniającym kapitał rzeczowy uzyskano największe zróżnicowanie stanów stacjonarnych. Województwa o wysokiej zdolności inwestycyjnej – wielkopolskie, pomorskie, mazowieckie oraz częściowo łódzkie – osiągają poziom produkcji zdecydowanie wyższe niż regiony, takie jak zachodniopomorskie, podlaskie, warmińsko-mazurskie czy w niektórych wariantach śląskie. Taki obraz jest zgodny z wynikami badań nad wzrostem regionalnym w Polsce, w których konwergencję obserwowano dopiero po uwzględnieniu zmiennych kapitałowych i strukturalnych (Tokarski, 2010; Łażniewska, Górecki, Chmielewski, 2011). Podsumowując, województwa w Polsce nie zmierzają do jednego wspólnego punktu równowagi, lecz do poziomów wyznaczonych własną specyfiką i efektywnością akumulacji kapitałów, co jest zgodne z kanonicznym ujęciem konwergencji warunkowej Roberta J. Barro i Xaviera Sala-i-Martina (2004).

Odmienny obraz wyłania się z analizy wariantu z kapitałem transportowym. W tym przypadku zróżnicowanie długookresowych poziomów PKB na osobę pracującą wyraźnie się zmniejsza, a większość województw znalazła się w jednym, stosunkowo wąskim paśmie jego wartości. Oznacza to, że infrastruktura transportowa w polskich warunkach działa przede wszystkim wyrównująco, redukuje peryferyjność i zwiększa dostępność wielu regionów jednocześnie. Wyniki te korespondują z analizami Ciołka i Brodzickiego (2016), które wskazują, że poprawa dostępności transportowej i powiązań przestrzennych sprzyja relatywnie silniejszym efektom rozwojowym w regionach słabszych. Podobnych rezultatów dostarcza literatura europejska. Rodríguez-Pose i Fratesi (2004) oraz Crescenzi i Rodríguez-Pose (2012) wykazali, że infrastruktura w UE rzadko sama w sobie generuje trwałą dywergencję regionalną, lecz raczej ułatwia dyfuzję wzrostu z rdzenia do peryferii. Wyniki uzyskane w pracy wpisują się w europejską debatę o tym, że infrastruktura jest warunkiem koniecznym, ale niewystarczającym dla trwałego przyspieszenia wzrostu najsłabszych regionów.

Trzeci wariant z kapitałem ludzkim lokuje się pomiędzy dwoma poprzednimi. Kapitał ludzki różnicuje województwa wyraźniej niż infrastruktura, ale słabiej niż kapitał rzeczowy. Regiony, które jednocześnie dysponują kapitałem ludzkim i mają gospodarkę zdolną te zasoby wchłoniąć, to województwa: wielkopolskie, pomorskie, mazowieckie, małopolskie. Natomiast województwa peryferyjne pozostają przy niższym stanie stacjonarnym mimo podobnego wyjściowego PKB na osobę pracującą. Taki rezultat jest zbliżony z polskimi badaniami nad rolą czynników związanych z wiedzą (Gawlikowska-Hueckel, 2002). Takie same zależności zaobserwowano w badaniach zagranicznych. N. Gregory Mankiw, David Romer i David N. Weil (1992), a następnie Nazrul Islam (1995) dla Europy Zachodniej, wykazali, że sam kapitał ludzki rzadko wystarcza do wytłumaczenia dużych różnic regionalnych, a jego wpływ pozostaje silny dopiero wtedy, gdy gospodarka ma odpowiednią „zdolność absorpcji” (por. Rodríguez-Pose, 2013).

Zestawienie wyników uzyskanych w niniejszym artykule z literaturą zagraniczną prowadzi do wniosku, że polski przypadek jest w dużej mierze konsekwentną egzemplifikacją międzynarodowych ustaleń o heterogeniczności konwergencji. Sala-i-Martin (1996) oraz Steven Durlauf, Paul Johnson i Jonathan Temple (2005) zwracali uwagę, że odmienny zestaw warunków początkowych oraz strukturalnych rodzi różne „kluby” wzrostu. W uzyskanych wynikach widać to bardzo wyraźnie, gdzie przy włączeniu zmiennej silnie zróżnicowanej AK_i powstaje obraz zbliżony do tego, który dla Europy opisywali Michele Boldrin i Fabio Canova (2001) – regiony bogatsze i lepiej wyposażone w kapitał utrwalają przewagę. Gdy jednak do modelu włączono czynnik o charakterze sieciowym, kapitał transportowy AH_i , obraz staje się podobny do tego, który dla regionów peryferyjnych UE przedstawiali Riccardo Crescenzi i Mara Giua (2016). W kontekście niniejszego badania infrastruktura może stymulować peryferie w rozwoju do poziomu rdzenia.

Przeprowadzone badanie miało na celu ocenę wpływu kapitału transportowego na tempo wzrostu gospodarczego oraz procesy konwergencji regionalnej w Polsce. W tym celu zastosowano rozszerzoną wersję modelu Mankiwa, Romera i Weila, w której kapitał transportowy został potraktowany jako dodatkowy czynnik produkcji, obok kapitału rzeczowego i ludzkiego. Analiza oparta na danych GUS za rok 2023 objęła wszystkie województwa, a parametry modelu wyznaczono metodą kalibracji. Zastosowanie rozszerzonego modelu Mankiwa, Romera i Weila (1992), uwzględniającego kapitał transportowy jako dodatkowy czynnik produkcji, należy uznać za podejście wartościowe z punktu widzenia analizy mechanizmów wzrostu regionalnego. Model ten pozwala na porównanie wpływu różnych kategorii kapitału na długookresowy poziom produktu oraz ocenę warunków konwergencji w ujęciu przestrzennym. Jego zaletą jest relatywna prostota struktury, możliwość kalibracji parametrów na podstawie dostępnych danych statystycznych oraz zgodność z kanonem empirycznych badań nad wzrostem gospodarczym. Umożliwia on również identyfikację tzw. stanów stacjonarnych, co pozwala na formułowanie wniosków o potencjalnych ścieżkach rozwoju poszczególnych regionów. Zastosowana metoda posiada również ograniczenia. Model zakłada jednorodność funkcji produkcji dla wszystkich regionów oraz stałość parametrów w czasie, co może prowadzić do nadmiernych uproszczeń i pomijać lokalne specyfiki strukturalne. Kalibracja parametrów na podstawie danych zagregowanych (na poziomie województw) czy sposób pomiaru kapitałów – wszystko to utrudnia uchwycenie subtelnych zależności przestrzennych i instytucjonalnych, które mogą mieć istotne znaczenie dla dynamiki wzrostu. Wreszcie model nie uwzględnia

bezpośrednio jakościowych determinant rozwoju, takich jak poziom innowacyjności, jakość zarządzania publicznego czy efektywność instytucji, które jak wskazują badania (Rodríguez-Pose, 2013), odgrywają niekiedy znaczącą rolę w procesach konwergencji i dywergencji regionalnej. Pomimo tych ograniczeń zastosowana metoda dostarcza wartościowych wniosków na temat zróżnicowania potencjału wzrostowego województw oraz roli poszczególnych czynników kapitałowych w kształtowaniu długookresowych ścieżek rozwoju.

Wartość dodana niniejszego badania dla nauki obejmuje cztery komplementarne komponenty. Po pierwsze, opracowano spójną, ugruntowaną ramę analityczną opartą na rozszerzonym modelu MRW z czterema czynnikami produkcji, uwzględniającą elastyczności wyprowadzone z warunków maksymalizacji zysku oraz jednolity koszt użytkowania kapitału, co zapewnia porównywalność wyników między województwami. Po drugie, przedstawiono zestaw porównywalnych stanów stacjonarnych PKB na osobę pracującą dla każdego regionu w trzech scenariuszach akumulacji kapitału: rzeczowego, transportowego oraz ludzkiego, umożliwiające ocenę warunkowej konwergencji regionalnej. Po trzecie, główne ustalenie empiryczne dla Polski wskazuje, że kapitał transportowy pełni funkcję wyrównującą – zmniejsza rozpiętość stanów stacjonarnych PKB i osłabia zjawisko klubowości w porównaniu z wariantem z samym kapitałem rzeczowym, co wzmacnia argumentację na rzecz inwestycji infrastrukturalnych w regionach peryferyjnych. Po czwarte, opracowano zintegrowane narzędzie analityczne, łączące dekompozycję wkładów czynników produkcji z analizą rozkładów gęstości (KDE), oparte na danych GUS BDL z roku 2023, które umożliwia wiarygodne mapowanie źródeł konwergencji i dywergencji w ramach jednej, porównywalnej procedury badawczej.

Dalsze badania warto ukierunkować na rozszerzenie analizy do badania panelowego, co umożliwi uchwycenie dynamiki wzrostu gospodarczego oraz zastosowanie jawnie modelowanych efektów przestrzennych, np. w ramach modeli SAR/SDM⁵, pozwalających na identyfikację mechanizmów dyfuzji oddziaływań między województwami. Równolegle zasadne jest porównanie podejścia „kapitał jako zasób” z metrykami dostępności, np. czasami dojazdu oraz wskaźnikami jakości infrastruktury transportowej, rozpatrywanymi osobno dla dróg i kolei. Wskazane jest również rozbięcie kapitału transportowego na podsektory w celu identyfikacji jego najbardziej konwergencyjnych komponentów. Istotnym obszarem badawczym pozostaje analiza komplementarności między kapitałem transportowym a kapitałem ludzkim i rzeczowym, umożliwiająca określenie warunków, w których infrastruktura wzmacnia absorpcję wiedzy oraz sprzyja akumulacji zasobów rzeczowych.

Bibliografia

- Aschauer, D.A. (1989). Is public expenditure productive? *Journal of Monetary Economics*, 23(2), 177–200.
- Barro, R.J., Sala-i-Martin, X. (1992). Convergence. *Journal of Political Economy*, 100(2), 223–251.
- Barro, R.J., Sala-i-Martin, X. (2004). *Economic Growth* (wyd. 2). MIT Press.
- Banister, D., Berechman, J. (2001a). *Transport Investment and Economic Development*. Routledge.
- Banister, D., Berechman, Y. (2001b). Transport investment and the promotion of economic growth. *Journal of Transport Geography*, 9(3), 209–218.
- Boldrin, M., Canova, F. (2001). Inequality and convergence in Europe's regions: Reconsidering European regional policies. *Economic Policy*, 16(32), 205–253.
- Brodzicki, T. (2012). Augmented Solow model with Mincerian education and transport infrastructure externalities. *Czech Economic Review*, 6(2), 155–170.
- Brodzicki, T. (2015). Shallow determinants of growth of Polish regions. *Collegium of Economic Analysis Annals*, 39, 25–40.
- Bröcker, J., Korzhenevych, A., Schürmann, C. (2010). Assessing spatial equity and efficiency impacts of transport infrastructure projects. *Transport Policy*, 17(6), 382–389.
- Brons, M., Kalantzis, F., Maincent, E., Arnoldus, P. (2014). Infrastructure in the EU: Developments and impact on growth, *Occasional Paper*, 203. Directorate-General for Economic and Financial Affairs, European Commission.
- Canning, D. (1999). Infrastructure's contribution to aggregate output. *World Bank Policy Research Working Paper*, 2246.

⁵ SAR – *Spatial Autoregressive Model*, SDM – *Spatial Durbin Model*.

- Canning, D., Pedroni, P. (2008). *Infrastructure and Long-run Economic Growth*. Cornell University.
- Cantos, P., Gumbau-Albert, M., Maudos, J. (2005). Transport infrastructures, spillover effects and regional growth: Evidence of the Spanish case. *Transport Reviews*, 25(1), 25–50.
- Cieślak, A., Rokicki, B. (2013). Rola sieci transportowej w rozwoju polskich regionów. *Acta Universitatis Nicolai Copernici. Oeconomia*, 44(1), 113–127.
- Ciołek, D., Brodzicki, T. (2016). Determinanty produktywności polskich powiatów. *Bank i Kredyt*, 47(5), 463–494.
- Ciołek, D., Brodzicki, T. (2017). Spatial dependence structure of total factor productivity in Polish local administrative districts. *Acta Universitatis Lodzianensis. Folia Oeconomica*, 3(329), 73–92.
- Crescenzi, R., Giua, M. (2016). The EU cohesion policy in context: Does a bottom-up approach work in all regions? *Environment and Planning A*, 48(2), 234–258.
- Crescenzi, R., Rodríguez-Pose, A. (2012). Infrastructure and regional growth in the European Union. *Papers in Regional Science*, 91(3), 487–513.
- Durlauf, S.N., Johnson, P.A., Temple, J.R.W. (2005). Growth econometrics. W: P. Aghion, S.N. Durlauf (red.), *Handbook of Economic Growth* (t. 1A, s. 555–677). Elsevier.
- Esteban, J., Gradin, C., Ray, D. (2007). An extension of a measure of polarization, with an application to the income distribution of five OECD countries. *Journal of Economic Inequality*, 5(1), 1–19.
- Eurostat (2013). *European System of Accounts (ESA 2010)*. Publications Office of the European Union.
- Fischer, M.M. (2011). A spatial Mankiw–Romer–Weil model: Theory and evidence. *Annals of Regional Science*, 47(2), 419–436.
- Fischer, M.M., Stirböck, C. (2004). Regional income convergence in the Enlarged Europe, 1995–2000: A spatial econometric perspective, *Discussion Paper No. 04-42*, ZEW – Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim.
- García-Milà, T., McGuire, T.J. (1992). The contribution of publicly provided inputs to states' economies. *Regional Science and Urban Economics*, 22(2), 229–241.
- Gawlikowska-Hueckel, K. (2002). Konwergencja regionalna w Unii Europejskiej. *Gospodarka Narodowa. The Polish Journal of Economics*, 179(10), 91–113.
- Hall, R.E., Jorgenson, D.W. (1967). Tax policy and investment behavior. *The American Economic Review*, 57(3), 391–414.
- Henderson, D.J., Parmeter, C.F. (2015). *Applied Nonparametric Econometrics*. Cambridge University Press.
- Islam, N. (1995). Growth empirics: A panel data approach. *Quarterly Journal of Economics*, 110(4), 1127–1170.
- Judson, R. (2002). Measuring human capital like physical capital: What does it tell us? *Bulletin of Economic Research*, 54(3), 209–231.
- Kendrick, J.W. (1976). *The Formation and Stocks of Total Capital*. National Bureau of Economic Research.
- Kisiała, W., Bajerski, A., Stępiński, B. (2016). Realizacja regionalnych programów operacyjnych: Analiza profili absorpcji funduszy unijnych w układzie centrum–peryferie. *Studia Oeconomica Posnaniensia*, 3(8), 113–130.
- Kliber, P., Maćkowiak, P., Malaga, K. (2004). Application of neoclassical growth models to analysis of regional inequalities in Poland. *The Poznań University of Economics Review*, 4(2), 46–66.
- Komornicki, T., Goliszek, S. (2023). New Transport Infrastructure and Regional Development of Central and Eastern Europe. *Sustainability*, 15(6), 5263.
- Kosmański, R. (2016). Konwergencja gospodarcza w Polsce w ujęciu sektorowym. *Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician*, 61(2), 47–61.
- Kosmański, R. (2022). Wykorzystanie zagregowanej funkcji produkcji do określenia źródeł konwergencji gospodarczej. *Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician*, 67(7), 20–34.
- Kruszka M., Puźniak, M. (2012). Konwergencja i rozkłady dochodu w regionach Unii Europejskiej. W: M. Kokocińska (red.), *Etapy konwergencji w rozwiniętych krajach Unii Europejskiej* (s. 40–67). Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego.
- Lakshmanan, T.R. (2011). The broader economic consequences of transport infrastructure investments. *Journal of Transport Geography*, 19(1), 1–12.
- Le, T., Gibson, J., Oxley, L. (2005). Measures of human capital: A review of the literature. *New Zealand Treasury Working Paper*, 05(10).
- Łaźniewska, E., Górecki, T., Chmielewski, R. (2011). *Konwergencja regionalna*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu.

- Malaga, K., Kliber, P. (2007). *Konwergencja i nierówności regionalne w Polsce w świetle neoklasycznych modeli wzrostu*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu.
- Mankiw, N.G., Romer, D., Weil, D.N. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407–437.
- Munnell, A.H. (1990). Why has productivity growth declined? Productivity and public investment. *New England Economic Review*, January/February, 3–22.
- OECD (2009). *Measuring Capital: OECD Manual 2009*. OECD Publishing.
- Paas, T., Schlitte, F. (2007). Regional income inequality and convergence processes in the EU-25. *HWWI Research Paper*, 1–11, 1–28.
- Quah, D. (1993). Empirical cross-section dynamics in economic growth. *European Economic Review*, 37(2–3), 426–434.
- Quah, D. (1997). Empirics for growth and distribution: Stratification, polarization, and convergence clubs. *Journal of Economic Growth*, 2(1), 27–59.
- Rodríguez-Pose, A. (2013). Do institutions matter for regional development? *Regional Studies*, 47(7), 1034–1047.
- Rodríguez-Pose, A., Fratesi, U. (2004). Between development and social policies: The impact of European Structural Funds in objective 1 regions. *Regional Studies*, 38(1), 97–113.
- Rokicki, B., Haddad, E.A., Horridge, J.M., Stępnia, M. (2021). Accessibility in the regional CGE framework: The effects of major transport infrastructure investments in Poland. *Transportation*, 48(2), 747–772.
- Rokicki, B., Stępnia, M. (2018). Major transport infrastructure investment and regional economic development: An accessibility-based approach. *Journal of Transport Geography*, 72, 36–49.
- Rosik, P., Wójcik, J. (2023). Transport infrastructure and regional development: A survey of literature on wider economic and spatial impacts. *Sustainability*, 15(1), 548.
- Sala-i-Martin, X. (1996). The classical approach to convergence analysis. *The Economic Journal*, 106(437), 1019–1036.
- Silverman, B.W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Chapman and Hall.
- Solow, R.M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94.
- Swan, T.W. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, 32(2), 334–361.
- Tokarski, T. (2007). Teoretyczne podstawy przyczyn zróżnicowania rozwoju gospodarczego. W: R. Piasecki (red.), *Ekonomia rozwoju* (s. 32–54). Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.
- Tokarski, T. (2009). *Matematyczne modele wzrostu gospodarczego. Ujęcie neoklasyczne*. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Tokarski, T. (2010). Przestrzenne zróżnicowanie łącznej produktywności czynników produkcji w Polsce. *Gospodarka Narodowa. The Polish Journal of Economics*, 238(3), 23–39.
- Wójcik, P. (2008). Dywergencja czy konwergencja: dynamika rozwoju polskich regionów. *Studia Regionalne i Lokalne*, (2), 41–60.
- Wójcik, P. (2021). Parallel regional convergence in Poland before and after EU accession. *Miscellanea Geographica*, 25(2), 83–92.