

Karolina Magdalena Kluth

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

e-mail: kkluth@ukw.edu.pl

ORCID: 0000-0001-7617-4398

DOI: 10.15290/oes.2026.01.123.11

ANALIZA Γ -KONWERGENCJI GOSPODARCZEJ I SPOŁECZNEJ WYBRANYCH KRAJÓW EUROPEJSKICH W KONTEKŚCIE CYFROWEJ TRANSFORMACJI¹

Streszczenie

Cel | Określenie poziomu zbieżności społecznej i gospodarczej w kontekście transformacji cyfrowej wybranych krajów europejskich i jego zmian w czasie poprzez stworzenie rankingów państw.

Metoda badań | Obliczono syntetyczny miernik rozwoju, wykorzystując różne metody normalizacji danych oraz dokonano oceny jakości przeprowadzonej klasyfikacji za pomocą współczynnika konkordancji rang Kendalla, co umożliwiło analizę występowania procesu konwergencji gamma wśród państw europejskich. Analizę przeprowadzono dla wybranych lat z okresu 2004–2024, co pozwoliło na identyfikację zmian w czasie.

Wnioski | W analizowanym okresie zaobserwowano statystycznie istotną konwergencję gamma w badanej grupie krajów. Proces konwergencji uległ jednak osłabieniu w 2016 roku w wyniku kryzysu bankowego w Europie oraz rozpoczęcia fazy reflacji po wcześniejszym okresie deflacji. Warto podkreślić, że pandemia COVID-19 przyczyniła się do przyspieszenia cyfryzacji, co miało istotne znaczenie dla dynamiki procesu konwergencji gamma w analizowanej grupie państw, podobnie jak intensywny rozwój technologii generatywnej sztucznej inteligencji.

Oryginalność / wartość / implikacje / rekomendacje | Skonstruowanie syntetycznego miernika rozwoju społecznego i gospodarczego w kontekście cyfrowej transformacji pozwala na rangowanie krajów według przyjętych wskaźników, które spełniają warunki uniwersalności, zmienności, ważności i stabilności.

Słowa kluczowe: konwergencja, cyfrowa transformacja, syntetyczna miara rozwoju, ranking

¹ Artykuł zaakceptowano do druku 12.01.2026.

THE ANALYSIS OF THE ECONOMIC AND SOCIAL Γ -CONVERGENCE OF SELECTED EUROPEAN COUNTRIES IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION

Summary

Purpose | Determining the level of social and economic convergence in the context of digital transformation in selected European countries and its changes over time through the creation of country rankings.

Research method | A composite development measure was calculated using various data normalisation methods. Additionally, the quality of the resulting classification was assessed using Kendall's rank concordance coefficient, which enabled the analysis of gamma convergence among European countries. The study was conducted for selected years within the 2004–2024 period, allowing for the evaluation of temporal changes.

Results | Throughout the entire period under analysis, a statistically significant gamma convergence was observed among the examined group of countries. However, the convergence process weakened in 2016, as a result of the European banking crisis and the onset of a reflation phase following a prior period of deflation. It is worth emphasising that the COVID-19 pandemic accelerated digitalisation, which had a substantial impact on the dynamics of the gamma convergence process within the analysed group of countries. Similarly, the rapid advancement of generative artificial intelligence technologies has also significantly influenced this process.

Originality/value/implications/recommendations | The construction of a composite indicator of social and economic development in the context of digital transformation enables the ranking of countries based on selected metrics that meet the criteria of universality, variability, relevance, and stability.

Keywords: convergence, digital transformation, composite measure of development, ranking

JEL classification: C1, C4, C43, F63, O11, O47

1. Wstęp

Współczesna gospodarka światowa dynamicznie ewoluuje pod wpływem procesów cyfrowej transformacji, które kształtują zarówno rozwój ekonomiczny, jak i zmiany społeczne. Nowe technologie, automatyzacja procesów

oraz narzędzia cyfrowe takie jak chmura, sztuczna inteligencja (AI), *big data* czy Internet rzeczy (IoT) wpływają na tempo i charakter konwergencji gospodarczej oraz społecznej w Europie i na całym świecie. Różnice w poziomie zaawansowania cyfryzacji mogą sprzyjać wyrównywaniu szans rozwojowych bądź pogłębiać istniejące dysproporcje. Analiza konwergencji gospodarczej i społecznej krajów europejskich w latach 2004–2024 pomoże ocenić wpływ cyfrowej transformacji na proces gamma konwergencji wśród wybranych krajów. Do badania procesu zbieżności przyjęto różne mierniki konwergencji, między innymi wskaźniki makroekonomiczne związane z cyfryzacją. Ze względu na ograniczenia związane z jednolitością oraz dostępnością danych statystycznych właściwy zakres analizy obejmuje lata 2004–2024. Proces konwergencji ma charakter wieloletni, jednak warto zauważyć, że zachodzące obecnie dynamicznie zmiany społeczne i gospodarcze skracają długookresową perspektywę badania zbieżności.

2. Ewolucja pojęcia konwergencji w erze cyfrowej

Pojęcie konwergencji w erze cyfrowej zyskało nowe znaczenie i wymiar w porównaniu do swojego pierwotnego, ekonomicznego ujęcia z połowy XX wieku. Choć koncepcja konwergencji była rozwijana od lat 50., a w latach 90. XX wieku na stałe wpisała się w teorię wzrostu gospodarczego, to dopiero postępująca cyfryzacja nadała jej szerszy, wielowymiarowy charakter. Współczesne rozumienie konwergencji obejmuje nie tylko wyrównywanie poziomów rozwoju gospodarczego, lecz także zbliżanie się struktur społecznych, technologicznych i instytucjonalnych, w szczególności poprzez adaptację technologii cyfrowych. W kontekście Unii Europejskiej konwergencja cyfrowa stała się jednym z kluczowych elementów spójności regionalnej, dążącej do niwelowania cyfrowych nierówności między państwami członkowskimi. Pojęcia konwergencji nominalnej, realnej i społecznej uległy rozszerzeniu – obecnie odnoszą się także do kwestii takich jak dostęp do Internetu, umiejętności cyfrowe czy cyfrowa transformacja administracji publicznej. W erze cyfrowej konwergencja nie jest już wyłącznie kwestią ekonomiczną, ale złożonym procesem integrującym gospodarkę i społeczeństwa poprzez technologię i innowacje.

Na podstawie dotychczasowych klasyfikacji pojęcia konwergencji [Barro, Sala-i-Martin, 1992; Islam, 2003; Kluth, 2016] możliwe jest dostosowanie tego terminu do kontekstu transformacji cyfrowej, co pozwala na zaproponowanie następującego podziału i definicji:

1. Konwergencja nominalna – dostosowanie regulacji prawnych i standardów do wymogów gospodarki cyfrowej. Obejmuje wdrażanie norm dotyczących cyfryzacji, cyberbezpieczeństwa oraz interoperacyjności systemów informatycznych [Komisja Europejska, 2021].
2. Konwergencja realna – stopniowe wyrównywanie poziomu rozwoju technologicznego oraz adaptacja nowoczesnych rozwiązań cyfrowych w różnych gospodarkach. Można wyróżnić:
 - a) Konwergencję wewnątrz gospodarki:
 - konwergencję regionalną – zmniejszanie różnic w dostępie do technologii cyfrowych między regionami poprzez inwestycje w infrastrukturę ICT;
 - konwergencję technologiczną (TFP) – wyrównywanie zdolności innowacyjnych oraz poziomu automatyzacji i sztucznej inteligencji w różnych sektorach gospodarki.
 - b) Konwergencję między gospodarkami:
 - konwergencję stochastyczną – stabilność i przewidywalność transformacji cyfrowej w różnych krajach:
 - ▶ konwergencja typu sigma (σ) – zmniejszanie luki cyfrowej i różnic w dostępie do nowoczesnych technologii,
 - ▶ konwergencja typu gamma (γ) – proces polegający na analizie tempa i kierunku rozwoju technologii cyfrowych w różnych gospodarkach;
 - konwergencję poziomu dojrzałości cyfrowej – wyrównywanie stopnia wdrożenia nowoczesnych technologii w przedsiębiorstwach i sektorze publicznym;
 - konwergencję tempa innowacji – zmniejszanie różnic w tempie adaptacji nowych technologii:
 - ▶ beta (β) konwergencja – szybsza adaptacja technologii cyfrowych w krajach, które początkowo były mniej rozwinięte cyfrowo,
 - ▶ beta (β) konwergencja absolutna – wyrównywanie tempa rozwoju technologii niezależnie od kontekstu gospodarczego,

- beta (β) konwergencja warunkowa – osiągnięcie podobnego poziomu cyfryzacji przy spełnieniu określonych warunków,
 - konwergencja klubowa – grupowanie się krajów i firm o podobnym poziomie transformacji cyfrowej, co prowadzi do powstawania cyfrowych liderów i naśladowców.
3. Konwergencja społeczna – cyfryzacja wpływająca na zmiany społeczne, w tym poprawę jakości życia, wyrównywanie szans w edukacji i rynku pracy oraz redukcję wykluczenia cyfrowego [van Dijk, 2020; Europejski Instytut ds. Równości Kobiet i Mężczyzn, 2021].

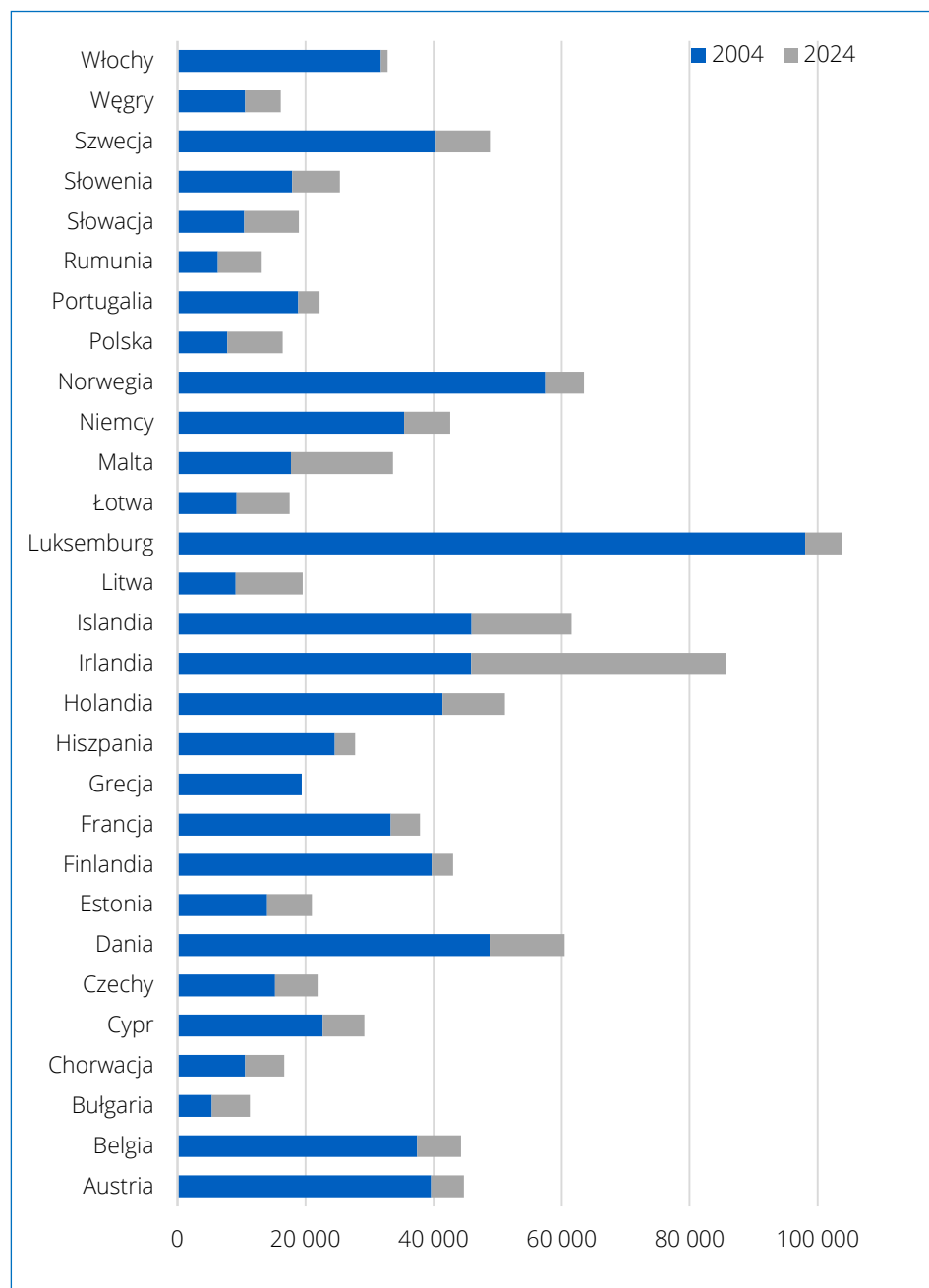
Punktem wyjścia do analizy zależności między krajami są różnice pod względem dochodu *per capita*, które zostały przedstawione na wykresie 1, oraz odsetek użytkowników bankowości internetowej, ujawniony na wykresie 2.

Ponad PKB *per capita* i odsetka osób korzystających z bankowości internetowej istnieje również szereg innych wskaźników mogących służyć do oceny poziomu zbieżności gospodarek, które zostaną opisane w niniejszym artykule (zob. tabela 1).

W erze cyfrowej, charakteryzującej się dynamicznymi zmianami technologicznymi i transformacją modeli gospodarczych, szczególnego znaczenia nabiera analiza konwergencji między gospodarkami narodowymi. W klasycznym ujęciu wyróżnia się β - i σ -konwergencję. β -konwergencja zakłada, że kraje o niższym poziomie dochodu początkowego rozwijają się szybciej niż kraje zamożniejsze, co prowadzi do stopniowego wyrównania dochodów *per capita* [Baumol, 1986; Sala-i-Martin, 1996; Barro, Sala-i-Martin, 2004]. Z kolei σ -konwergencja polega na zmniejszaniu się dyspersji dochodów – mierzonej wariancją logarytmu PKB *per capita* – w grupie państw w czasie [Sala-i-Martin, 1996]. Jednak w warunkach cyfrowej rewolucji, gdy istotne stają się nie tylko poziomy dochodów, lecz także relatywna pozycja gospodarek w globalnym układzie, coraz większą wagę zyskuje γ -konwergencja. Odnosi się ona do zmian pozycji poszczególnych krajów w rankingu opartym na danej zmiennej ekonomicznej, takiej jak PKB *per capita*, co pozwala uchwycić zbieżność poziomów i dynamikę relatywnego awansu lub spadku w układzie porównawczym [Boyle, McCarthy, 1997a; Boyle, McCarthy, 1997b; Dittmann, 2014; Kluth, 2016]. Taka perspektywa staje się szczególnie przydatna w analizie wpływu cyfryzacji na układ sił gospodarczych, gdzie kraje niejednokrotnie wykorzystują i wdrażają nowe technologie.

WYKRES 1

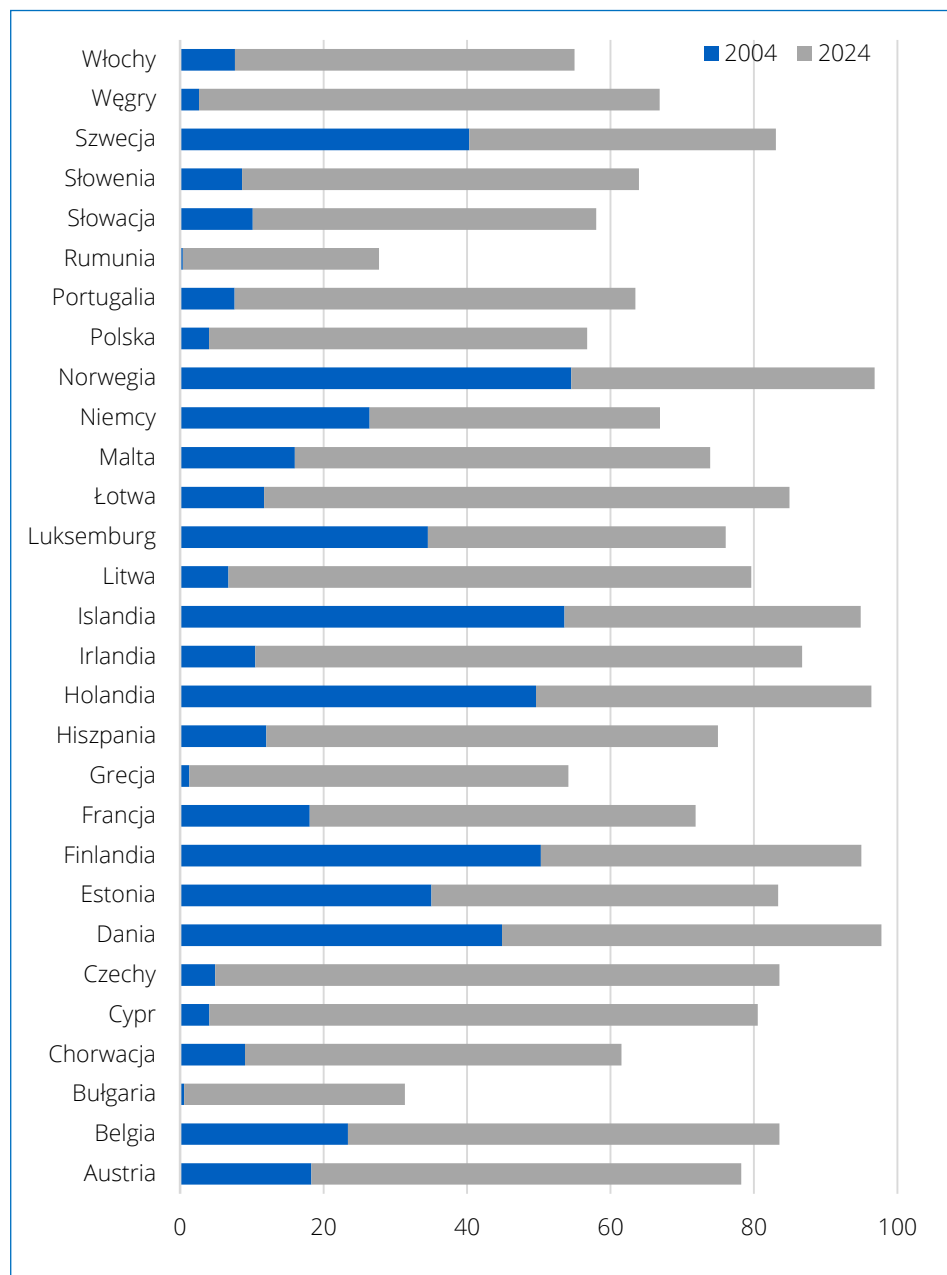
Poziom PKB *per capita* (w €) w krajach UE oraz Islandii i Norwegii w 2004 i 2024 roku



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ze strony Eurostat.

WYKRES 2

Odsetek użytkowników bankowości internetowej w krajach UE oraz Islandii i Norwegii w 2004 i 2024 roku



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ze strony Eurostat.

W warunkach postępującej transformacji cyfrowej konwergencja społeczna nabiera nowego wymiaru, wychodząc poza tradycyjne ramy poprawy jakości życia i redukcji nierówności społecznych. Obejmuje ona obecnie także niwelowanie barier w dostępie do technologii informacyjno-komunikacyjnych oraz kształtowanie kompetencji cyfrowych niezbędnych w społeczeństwie opartym na wiedzy [van Dijk, 2020; Europejski Instytut ds. Równości Kobiet i Mężczyzn, 2021].

Na poziomie UE koncepcja społecznej konwergencji cyfrowej stanowi integralny element polityki spójności społeczno-gospodarczej. Implementowane instrumenty wsparcia, zarówno finansowe, jak i programowe, koncentrują się na eliminowaniu zjawiska cyfrowego wykluczenia, szczególnie w regionach peryferyjnych oraz w państwach członkowskich o niższym poziomie rozwoju infrastruktury cyfrowej i edukacji technologicznej.

W analizach międzynarodowych coraz częściej wykorzystuje się nowoczesne wskaźniki pomiaru stopnia zaawansowania cyfryzacji społeczeństw i gospodarek. Jednym z najważniejszych jest Digital Economy and Society Index (DESI), opracowany przez Komisję Europejską, który kompleksowo ocenia postępy krajów UE w zakresie cyfryzacji. Drugim istotnym miernikiem stosowanym w skali globalnej jest Network Readiness Index (NRI), który mierzy zdolność państw do wykorzystania technologii informacyjnych i komunikacyjnych w celu osiągnięcia konkurencyjności i dobrobytu społecznego.

Problematyka konwergencji społecznej, przez długi czas marginalizowana w kontekście analiz różnicowań rozwojowych pomiędzy gospodarkami, zyskuje obecnie coraz większe uznanie w literaturze przedmiotu [Kluth, 2016]. Wzrost znaczenia technologii cyfrowych jako determinanty rozwoju społecznego wymusza konieczność interdyscyplinarnego podejścia do badań nad konwergencją, uwzględniającego uwarunkowania zarówno technologiczne, jak i społeczne.

3. Syntetyczny miernik rozwoju w kontekście transformacji cyfrowej

Kraje wchodzące w struktury Unii Europejskiej oraz Islandia i Norwegia różnią się od siebie pod względem ekonomicznym i społecznym. Porównanie

obiektów wielocechowych, jakimi niewątpliwie są wybrane kraje europejskie, stwarza możliwość badania konwergencji w kontekście cyfrowej transformacji.

Uwzględniając zmienne zarówno gospodarcze, jak i społeczne, za pomocą syntetycznej miernika rozwoju (SMR), można pokazać, jak zmieniają się pozycje w rankingu państw pod względem badanych mierników. Ponadto po sklasyfikowaniu państw zastosowano współczynnik konkordancji rang Kendalla, który pozwala ocenić, czy w krajach zachodzi proces konwergencji typu gamma. Na podstawie uzyskanych wyników można dokonać identyfikacji zmian zachodzących w poziomie rozwoju społeczno-gospodarczym krajów UE oraz Islandii i Norwegii w latach 2004–2024, a także ich porównania oraz klasyfikacji w kontekście cyfrowej transformacji.

Zestaw wskaźników wybranych do badania podyktowany jest możliwością zapewnienia porównywalności przestrzennej i czasowej danych związanych z omawianą problematyką. Zakres przestrzenny obejmuje 29 państw, 27 krajów UE oraz Islandię i Norwegię. Do badania dokonano wyboru siedmiu reprezentatywnych lat, które miały w ostatnim czasie istotny wpływ dla osiągnięcia pełnej transformacji cyfrowej i dostosowania organizacji do wymagań nowoczesnego rynku. Uzasadnienie wyboru lat przyjętych do badania jest następujące:

- 2004 – rok bazowy badania, w którym powstał Facebook i zapoczątkował erę mediów społecznościowych,
- 2007 – rok premiery iPhone’a – początek trendu, w którym mobilność jest kluczowa,
- 2010 – rok, w którym widoczny jest rozwój *big data* i uczenia maszynowego,
- 2013 – rok, w którym następuje rozkwit kryptowalut i blockchaina,
- 2016 – rok, w którym powstały pierwsze rozwiązania oparte na sztucznej inteligencji dla biznesu – chatboty
- 2020 – rok, w którym ogłoszono pandemię COVID-19, powodującą przyspieszenie cyfryzacji w firmach i sektorze publicznym,
- 2024 – rok, w którym następuje dynamiczny rozwój generatywnej AI.

Ze względu na ograniczenie dostępności porównywalnych mierników dla wszystkich krajów Unii Europejskiej oraz Islandii i Norwegii wybrano zestaw danych do badania zbieżności rozwoju społeczno-gospodarczego, który obej-

muje 18 wskaźników (zob. tabela 1). Przyjęty zestaw mierników ma charakter arbitralny, jednakże pokrywa się z obszarami uwzględnionymi do konstrukcji europejskich, jak również światowych wskaźników gospodarczych i społecznych, takich jak: OECD Better Life Index, Canadian Index of Wellbeing [Michalos i in., 2011], Human Development Index czy Digital Economy and Society Index [Komisja Europejska, 2020].

TABELA 1

Mierniki wybrane do badania konwergencji gospodarczej i społecznej w kontekście cyfrowej transformacji wybranych państw europejskich dla wybranych lat w okresie 2004–2024

Nazwa miernika	
1.	Produkt Krajowy Brutto (PKB) <i>per capita</i> (w euro)
2.	Wzrost PKB <i>per capita</i> (%)
3.	Wzrost PKB (%)
4.	GNI <i>per capita</i>
5.	Eksport najnowszych technologii (high-tech) (%)
6.	Eksport towarów ICT (%)
7.	Wydatki przedsiębiorstw na badania i rozwój (euro na mieszkańca)
8.	Wydatki przedsiębiorstw na badania i rozwój (% PKB)
9.	Wydatki na badania i rozwój <i>per capita</i> (w euro)
10.	Liczba naukowców (na mln osób)
11.	Liczba aplikacji o patenty
12.	Liczba artykułów w czasopismach naukowych
13.	Odsetek użytkowników bankowości elektronicznej (%)
14.	Odsetek gospodarstw domowych z dostępem do Internetu (%)
15.	Odsetek gospodarstw domowych z dostępem do Internetu w mieście (%)
16.	Odsetek gospodarstw domowych z dostępem do Internetu na wsi (%)
17.	Liczba bezpiecznych serwerów internetowych (na mln osób)
18.	Liczba bezpiecznych serwerów internetowych

Źródło: opracowanie własne.

Dokonano klasyfikacji 29 państw, z uwzględnieniem zarówno zmiennych gospodarczych, jak i społecznych w kontekście cyfrowej transformacji, za pomocą syntetycznej miary rozwoju z wykorzystaniem różnych sposobów normalizacji. Zastosowanie kilku metod pozwoliło ocenić stabilność i wiarygodność klasyfikacji, a także zwiększyć rzetelność i porównywalność uzyskanych wyników. Ponadto sprawdzono jakość klasyfikacji przeprowadzonej za pomocą syntetycznej miary rozwoju przy użyciu współczynnika konkordancji rang Kendalla, który umożliwił ocenę, czy pomiędzy krajami europejskimi zachodzi proces gamma konwergencji. Badanie zostało przeprowadzone dla wybranych 7 lat z okresu 2004–2024, co umożliwiło ocenę zmian procesu gamma konwergencji w czasie.

Do porównania stopnia zaawansowania transformacji cyfrowej w wybranych krajach oraz określenia ich pozycji w globalnym rankingu zastosowano kryteria pozwalające ocenić zarówno rozwój gospodarczy, jak i cyfrowy postęp społeczny. Aby stworzyć ranking i określić pozycję jednych krajów względem pozostałych, należy uporządkować je ze względu na wszystkie obserwowane cechy, dokonując ich porównania. Funkcję takiej klasyfikacji bardzo dobrze spełnia porządkowanie liniowe, do którego zalicza się syntetyczny miernik rozwoju społeczno-gospodarczego.

Punktem wyjścia przy konstruowaniu syntetycznego miernika rozwoju społeczno-gospodarczego jest następująca macierz:

$$\left[\begin{array}{cccc} y_{11}^{1t} & \cdots & y_{1m}^{1t}; y_{11}^{2t} & \cdots & y_{1n}^{2t} \\ & y_{kj}^{1t}; & & y_{kl}^{2t} & \\ y_{K1}^{1t} & \cdots & y_{Km}^{1t}; y_{K1}^{2t} & \cdots & y_{Kn}^{2t} \end{array} \right]_{(m+n) \times KT} \quad \left(\begin{array}{l} t = 1, \dots, T \\ j = 1, \dots, m \\ l = 1, \dots, n \\ k = 1, \dots, K \end{array} \right) \quad (1)$$

gdzie:

y_{kj}^{1t} – wartość j-tej cechy w k-tym obiekcie badania w momencie t, opisującej rozwój gospodarczy,

y_{kl}^{2t} – wartość l-tej cechy w k-tym obiekcie w momencie t, opisującej rozwój społeczny [Strahl, 1990].

Kolejnym kluczowym etapem w procesie budowy syntetycznego miernika rozwoju, umożliwiającego uporządkowanie badanych krajów, jest szczegółowa analiza cech charakteryzujących badane obiekty. Szczegółne znaczenie dla rzetelności i trafności procesu rangowania ma klasyfikacja zmiennych na stymulanty, destymulanty oraz nominanty, a następnie ich odpowiednia transformacja do postaci stymulant [Kolenda, 2006; Walesiak, 2014; Kluth, 2016]. Przyjęte mierniki spełniają kryteria uniwersalności, zmienności, trafności oraz stabilności, zgodnie z podejściem zaproponowanym przez Ostasiewicza [1999], a po dokonanej transformacji wszystkie przyjmują charakter stymulant.

W celu konstrukcji syntetycznego miernika rozwoju wybór procedury agregacji oparto na formułach przedstawionych przez Ostasiewicza [1999] oraz Walesiaka [2014]. Do porównywania badanych obiektów zastosowano bezwzorcowe metody porządkowania [Borys, 1978], wykorzystując takie techniki transformacji danych, jak unitaryzacja zerowana (U) (2), przekształcenie ilorazowe z podstawą normalizacyjną równą wartości maksimum (PI) (3) oraz normalizacja zaproponowana przez Walesiaka [2014] (N) (4).

$$U \quad z_{ij} := \frac{\frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}}{i} \quad (2)$$

$$PL \quad z_{ij} := \frac{x_{ij}}{\max x_{ij}} \quad (3)$$

$$N \quad z_{ij} := \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{i} \right)^2}} \quad (4)$$

Po zakończeniu normalizacji obliczono złożone wskaźniki rozwoju dla każdego kraju i roku, co stanowiło podstawę do sporządzenia rankingu i analizy porównawczej. Wyniki klasyfikacji przedstawione w tabeli 2 ilustrują względną pozycję krajów Unii Europejskiej pod względem rozwoju gospodarczego, społecznego i technologicznego w kontekście transformacji cyfrowej.

TABELA 2

Ranking państw według miar syntetycznych z wykorzystaniem różnych sposobów normalizacji

Kraj	Metoda	2004	2007	2010	2013	2016	2020	2024	Zmiana 2004 do 2024
Austria	N	13	11	11	12	12	14	9	4
	PI	11	10	9	10	8	14	9	2
	U	11	10	10	10	10	12	9	2
Belgia	N	15	15	15	15	16	13	11	4
	PI	14	14	11	15	14	10	6	8
	U	14	14	13	14	14	11	11	3
Bułgaria	N	29	29	29	28	29	29	29	0
	PI	29	29	27	28	28	24	26	3
	U	29	29	29	29	29	29	28	1
Chorwacja	N	20	25	27	23	23	27	27	-7
	PI	20	24	26	23	23	25	18	2
	U	20	23	26	24	23	25	27	-7
Cypr	N	18	23	21	29	22	23	21	-3
	PI	17	23	21	29	20	22	24	-7
	U	17	24	23	28	22	22	20	-3
Czechy	N	21	21	19	20	18	18	12	9
	PI	21	20	18	20	17	20	13	8
	U	22	20	18	18	17	17	14	8
Dania	N	6	6	6	3	2	1	3	3
	PI	5	7	4	4	1	2	3	2
	U	5	6	4	3	1	1	2	3
Estonia	N	12	13	14	13	14	15	19	-7
	PI	13	13	13	12	13	13	23	-10
	U	13	13	14	13	12	14	18	-5

Kraj	Metoda	2004	2007	2010	2013	2016	2020	2024	Zmiana 2004 do 2024
Finlandia	N	3	3	3	6	6	6	6	-3
	PI	3	3	2	8	5	4	8	-5
	U	3	3	2	5	7	5	6	-3
Francja	N	5	4	1	1	1	2	2	3
	PI	6	5	3	1	2	5	2	4
	U	6	7	3	2	4	3	3	3
Grecja	N	24	24	25	24	24	24	20	4
	PI	25	28	29	27	29	29	21	4
	U	26	28	28	27	28	28	29	-3
Hiszpania	N	8	8	7	7	7	7	5	3
	PI	19	21	23	22	22	27	16	3
	U	19	21	20	22	20	20	17	2
Holandia	N	7	9	12	9	9	4	14	-7
	PI	7	6	7	5	6	6	7	0
	U	7	5	6	4	5	6	4	3
Irlandia	N	10	12	13	11	11	3	13	-3
	PI	9	11	14	9	10	1	15	-6
	U	9	11	12	11	11	4	12	-3
Islandia	N	1	2	9	8	3	8	1	0
	PI	1	1	12	7	3	11	1	0
	U	1	1	9	8	2	7	1	0
Litwa	N	27	20	22	21	25	22	26	1
	PI	27	19	22	19	24	16	29	-2
	U	27	19	22	21	24	23	25	2
Luksemburg	N	4	1	4	5	5	10	10	-6
	PI	4	2	5	6	7	8	14	-10
	U	4	2	5	6	6	10	10	-6

Kraj	Metoda	2004	2007	2010	2013	2016	2020	2024	Zmiana 2004 do 2024
Łotwa	N	19	18	24	19	21	20	22	-3
	PI	18	16	25	17	21	21	22	-4
	U	18	16	24	19	21	19	21	-3
Malta	N	9	7	5	4	13	12	4	5
	PI	10	8	6	3	12	12	4	6
	U	10	8	7	7	13	13	7	3
Niemcy	N	14	14	8	14	8	11	15	-1
	PI	12	12	8	13	9	9	11	1
	U	12	12	11	12	8	9	13	-1
Norwegia	N	11	10	10	10	10	9	8	3
	PI	8	9	10	11	11	7	10	-2
	U	8	9	8	9	9	8	8	0
Polska	N	25	22	20	22	20	19	18	7
	PI	26	22	19	21	19	17	20	6
	U	25	22	19	20	19	18	19	6
Portugalia	N	28	27	26	27	28	28	28	0
	PI	28	26	24	26	26	28	25	3
	U	28	26	25	25	27	27	26	2
Rumunia	N	23	28	28	26	27	25	25	-2
	PI	23	27	28	25	27	23	28	-5
	U	23	27	27	26	26	26	24	-1
Słowacja	N	22	19	17	17	19	21	23	-1
	PI	22	18	15	16	18	19	19	3
	U	21	18	16	17	18	21	22	-1
Słowenia	N	17	16	18	18	17	17	17	0
	PI	16	15	17	18	16	18	12	4
	U	16	15	17	16	16	16	16	0

Kraj	Metoda	2004	2007	2010	2013	2016	2020	2024	Zmiana 2004 do 2024
Szwecja	N	2	5	2	2	4	5	7	-5
	PI	2	4	1	2	4	3	5	-3
	U	2	4	1	1	3	2	5	-3
Węgry	N	16	17	16	16	15	16	16	0
	PI	15	17	16	14	15	15	17	-2
	U	15	17	15	15	15	15	15	0
Włochy	N	26	26	23	25	26	26	24	2
	PI	24	25	20	24	25	26	27	-3
	U	24	25	21	23	25	24	23	1

Źródło: opracowanie własne.

Ranking przedstawiony w tabeli 1 wskazuje, że niezależnie od zastosowanej metody standaryzacji zmiennych w czołówce krajów wysoko rozwiniętych pod względem postępów w transformacji cyfrowej konsekwentnie plasują się Islandia, Francja oraz Dania. Z kolei w grupie państw o najniższym poziomie rozwoju cyfrowego występują pewne różnice w zależności od zastosowanej metody normalizacji danych. W przypadku normalizacji liniowej są to: Bułgaria, Portugalia oraz Chorwacja; przy zastosowaniu unitaryzacji zerowanej – Grecja, Bułgaria oraz Chorwacja; natomiast według przekształcenia ilorazowego – Litwa, Rumunia oraz Włochy. Analizując zmiany pozycji państw w rankingu w latach 2004–2024, można stwierdzić, że największy awans, niezależnie od przyjętej metody standaryzacji, osiągnęły Czechy (poprawa o 8–9 miejsc) oraz Polska (poprawa o 6–7 miejsc). Natomiast największy spadek według przekształcenia ilorazowego odnotowały Estonia i Luksemburg (pozycja niżej o 10 miejsc), Cypr (spadek o 7 miejsc) oraz Irlandia (spadek o 6 pozycji). Warto podkreślić, że niezależnie od przyjętej metody istotny regres w rankingu zanotował Luksemburg – kraj o najwyższym PKB *per capita* w Europie. Przyczyną tego zjawiska były relatywnie niższe wartości wskaźników poziomu cyfryzacji przedsiębiorstw, które ograniczyły końcowy wynik tego państwa. W Estonii, która odnotowała równie duży spadek w rankingu, występuje względnie niski poziom w zakresie łączności

i cyfryzacji przedsiębiorstw. Podobne rezultaty możemy znaleźć w publikacji Komisji Europejskiej *Digital Economy and Society Index (DESI) 2020*. Za punkt zwrotny w analizowanym okresie należy uznać rok 2020, w którym pandemia COVID-19 znacząco przyspieszyła procesy cyfryzacji. Wyniki zawarte w tabeli 1 wskazują, że w ciągu ostatnich czterech lat najszybszy wzrost w rankingu odnotowały Islandia oraz Malta, co jest bezpośrednią konsekwencją intensyfikacji procesów cyfryzacyjnych w sektorze prywatnym oraz publicznym.

Wyniki klasyfikacji potwierdzają, że najwyższą pozycję w rankingu zajmuje Islandia, natomiast najniższą – Bułgaria. Analiza porównawcza wyników uzyskanych przy zastosowaniu różnych metod normalizacji danych (unitaryzacja zerowana, przekształcenie ilorazowe, normalizacja liniowa) sugeruje istnienie procesu realnej konwergencji pomiędzy wybranymi krajami europejskimi, co można także interpretować jako przejaw konwergencji typu gamma.

W celu zweryfikowania, czy państwa zajmujące początkowo niższe pozycje w rankingu zdołały wyprzedzić kraje o wyższej pozycji wyjściowej, Boyle i McCarthy [1997a; 1997b] zaproponowali metodę analizy porównawczej układów rankingowych w różnych momentach badania. Procedura ta zakłada uporządkowanie państw według analizowanej cechy w porządku rosnącym lub malejącym, a następnie ocenę, czy w badanym przedziale czasowym doszło do przemieszczeń w pozycjach poszczególnych krajów w rankingu. Do oceny zmian w porządku rang autorzy rekomendują zastosowanie współczynnika zgodności rang Kendalla [Siegel, 1956], który przyjmuje następującą postać:

$$RC_t = \frac{\text{Wariancja} \sum_{t=0}^T AR(Y)_{it}}{\text{Wariancja}((T+1) * AR(Y)_{i0})} \quad (5)$$

gdzie:

$AR(Y)_{it}$ – pozycja w rankingu badanego kraju i pod względem poziomu badanej cechy (*per capita*) w roku t ,

$AR(Y)_{i0}$ – pozycja w rankingu badanego kraju i pod względem poziomu badanej cechy (*per capita*) w roku początkowym $t=0$,

$T + 1$ – liczba lat ujętych w badaniu.

Alternatywnie współczynnik można zapisać w postaci binarnej, kiedy do badania użyto tylko skrajnych okresów: pierwszego i ostatniego:

$$RCa_t = \frac{Wariancja\left(AR(Y)_{it} + AR(Y)_{i0}\right)}{Wariancja\left(2 \cdot AR(Y)_{i0}\right)} \quad (6)$$

Współczynnik (5) i (6) mierzy zgodność rang w przedziale (0,1). Im wartość współczynnika konkordancji jest bliższa zero, tym zmiany wewnątrz rozkładu są większe – występuje konwergencja. Jeśli współczynnik przyjmuje wartość 1, oznacza to brak jakichkolwiek zmian i brak konwergencji [por. Boyle, McCarthy, 1997a; Batóg, 2010]. Wyniki obliczeń wykonanych dla miar syntetycznych z wykorzystaniem obserwacji dla 29 wybranych krajów zaprezentowano w tabeli 3.

TABELA 3

Współczynnik konkordancji dla miar syntetycznych z wykorzystaniem różnych sposobów normalizacji

Współczynnik	Okres (T, t)					
	2007	2010	2013	2016	2020	2024
RCa_t dla przekształcenia ilorazowego	0,828	0,759	0,759	0,798	0,754	0,507
RCa_t dla unitaryzacji zerowanej	0,833	0,818	0,901	0,852	0,872	0,798
RCa_t dla normalizacji	0,837	0,833	0,837	0,833	0,828	0,724

Źródło: opracowanie własne. Istotność współczynników na poziomie p-value < 0,001.

Wyniki rankingów potwierdzają istnienie konwergencji typu gamma w UE, wskazując na zmiany we względnych pozycjach krajów w czasie. Konwergencja nie była jednolita, ale dynamiczna i wielowymiarowa, kształtowana przez różnice w dojrzałości cyfrowej, zdolnościach innowacyjnych i adopcji technologii. Współczynnik zgodności rang Kendalla potwierdził konwergencję typu γ , ale ujawnił również wahania jej siły, odzwierciedlające nierównomierne tempo transformacji wśród państw członkowskich.

4. Podsumowanie

Głównym celem niniejszej pracy było określenie poziomu oraz dynamiki zbieżności społecznej i gospodarczej wybranych państw europejskich w kontekście transformacji cyfrowej poprzez konstrukcję rankingów krajów oraz analizę zmian ich pozycji w czasie. Na podstawie przeprowadzonej analizy rankingów, opracowanych przy wykorzystaniu syntetycznej miary rozwoju dla krajów Unii Europejskiej oraz Islandii i Norwegii, można stwierdzić, iż w badanej grupie 29 państw występowała konwergencja typu gamma w wybranych latach okresu 2004–2024. Zmiany wartości współczynnika konkordancji rang, zwłaszcza w przypadku przekształcenia ilorazowego oraz unitaryzacji zerowanej, jednoznacznie potwierdzają obecność tego zjawiska. Warto również podkreślić, że pandemia COVID-19 przyspieszyła procesy cyfryzacji zarówno w sektorze przedsiębiorstw, jak i w administracji publicznej, co istotnie wpłynęło na dynamikę procesu konwergencji typu gamma w badanej grupie państw. Podobnie znaczący wpływ na przebieg tego procesu wywarł dynamiczny rozwój sztucznej inteligencji (AI), który przyczynił się do intensyfikacji transformacji cyfrowej. Szybki rozwój pracy zdalnej, *e-commerce* i automatyzacji zintensyfikował rozpowszechnianie technologii i zmienił równowagę konkurencyjną gospodarek w Europie.

Literatura

- Barro R., Sala-i-Martin X., 1992, *Convergence*, "Journal of Political Economy", vol. 100(2), s. 223–251.
- Barro R., Sala-i-Martin X., 2004, *Economic Growth*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts–London.
- Batóg J., 2010, *Konwergencja dochodowa w krajach Unii Europejskiej. Analiza ekonometryczna*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin.
- Baumol W.J., 1986, *Productivity Growth, Convergence and Welfare*, "American Economic Review", vol. 76, s. 1072–1085.
- Borys T., 1978, *Metody normowania cech w statystycznych badaniach porównawczych*, „Przegląd Statystyczny”, t. 25(2), s. 227–239.
- Boyle G.E., McCarthy T.G., 1997a, *A Simple Measure of β -convergence*, "Oxford Bulletin of Economics and Statistics", vol. 59(2), s. 257–264.

- Boyle G.E., McCarthy T.G., 1997b, *Simple Measures of Convergence in Per Capita GDP: A Note on Some Further International Evidence*, Economics, Finance and Accounting Department Working Paper Series, Ireland.
- Dittmann I., 2014, *Gamma konwergencja cen na lokalnych rynkach mieszkaniowych w Polsce*, „Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach”, nr 181, s. 195–207.
- Europejski Instytut ds. Równości Kobiet i Mężczyzn (EIGE), 2021, *Digital Agenda and Gender Equality in the Eu*. Publications Office of the European Union.
- Islam I., 2003, *What Have We Learnt From Convergence Debate*, „Journal of Economic Surveys”, nr 17(3), s. 309–362.
- Kluth K., 2016, *Statystyczna i ekonometryczna analiza konwergencji gospodarczej i społecznej państw Unii Europejskiej*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Kolenda M., 2006, *Klasyfikacja, porządkowanie i analiza obiektów wielocechowych, Taksonomia numeryczna*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław.
- Komisja Europejska, 2020, *Digital Economy and Society Index (DESI) 2020. Thematic Chapters*, <https://eufordigital.eu/wp-content/uploads/2020/06/DESI2020Thematicchapters-FullEuropeanAnalysis.pdf> [data dostępu: 18.03.2026].
- Komisja Europejska, 2021, *Rolling Plan for ICT Standardisation 2021*, <https://interoperable-europe.ec.europa.eu/collection/rolling-plan-ict-standardisation/rolling-plan-2021> [data dostępu: 22.02.2026].
- Michalos A.C., Smale B., Labonté R. i in., 2011, *The Canadian Index of Wellbeing. Technical Report 1.0.*, https://uwaterloo.ca/canadian-index-wellbeing/sites/default/files/uploads/documents/Canadian_Index_of_Wellbeing-TechnicalPaper-FINAL.pdf [data dostępu: 13.02.2026].
- Ostasiewicz W., 1999, *Statystyczne metody analiz danych*, wyd. 2, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław.
- Sala-i-Martin X., 1996, *Regional Cohesion: Evidence and Theories of Regional Growth and Convergence*, „European Economic Review”, vol. 40(6), s. 1325–1352.
- Siegel S., 1956, *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, McGraw-Hill, New York.
- Strahl D., 1990, *Metody programowania rozwoju społeczno-gospodarczego*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- van Dijk J., 2020, *The Digital Divide*, Polity Press, Cambridge.
- Walesiak M., 2014, *Przegląd formuł normalizacji wartości zmiennych oraz ich własności w statystycznej analizie wielowymiarowej*, „Przegląd Statystyczny”, R. LXI, z. 4, s. 363–372.