

JAKUB MISZTAL

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Polska / Krakow University of Economics, Poland

Poziom cyfryzacji polskich przedsiębiorstw: diagnoza i wyzwania

The Level of Digitization of Polish Enterprises: Diagnosis and Challenges

Streszczenie: Celem artykułu są identyfikacja oraz ocena stopnia zróżnicowania poziomu cyfryzacji polskich przedsiębiorstw na tle pozostałych państw Unii Europejskiej. W badaniach zastosowano analizę danych wtórnych (*desk research*). Do analizy wykorzystano wskaźnik Digital Intensity Index, którego metodyka została opracowana przez Eurostat do określenia poziomu cyfryzacji przedsiębiorstw. W procedurze badawczej posłużono się metodami statystycznej analizy wielowymiarowej. Oryginalnym podejściem badawczym było zastosowanie transformacji Centered Log-Ratio oraz standaryzacji Z-score w celu wyeliminowania problemów związanych z danymi kompozycyjnymi, a także zapewnienia porównywalności danych. Grupowanie państw przeprowadzono metodą Warda, liczbę skupień wyznaczono zaś zgodnie z regułą Mojeny. Wyniki badań wykazały różnice w strukturze poziomu cyfryzacji w zależności od wielkości przedsiębiorstw. Wśród małych i średnich przedsiębiorstw zidentyfikowano trzy skupienia. Polska została zakwalifikowana do grupy umiarkowanie cyfrowej, co oznacza, że jej profil cyfrowy jest zbliżony do średniej unijnej. Z kolei wśród dużych przedsiębiorstw zaobserwowano podział na dwa skupienia. Polskie przedsiębiorstwa, niezależnie od wielkości, stabilnie utrzymują się w zakresie średniej unijnej, jednak istnieją bariery rozwojowe utrudniające im przejście do grupy cyfrowych liderów. W artykule zaznaczono potrzebę ukierunkowania wsparcia instytucjonalnego w sektorze MŚP, dzięki czemu możliwe byłoby przełamanie opisanych barier.

Abstract: The primary objective of this article is to identify and assess the degree of variation in the digitalization levels of Polish enterprises in relation to their size, compared to other European Union member states. The study employs a secondary data analysis (*desk research*) approach. The analysis utilizes the Digital Intensity Index, a methodology developed by Eurostat to determine the level of corporate digitalization. The research procedure incorporates multivariate statistical analysis methods. A novel research approach was the application of Centered Log-Ratio (CLR) transformation followed by Z-score standardization to eliminate issues inherent in compositional data and to ensure data comparability. Country grouping was performed using Ward's method, while the optimal number of clusters was determined according to Mojena's rule. The research findings revealed significant structural differences in digitalization levels depending on enterprise size. For small and medium-sized enterprises (SMEs), three distinct clusters were identified; Poland was classified into the moderately digitalized group, exhibiting a digital profile closely aligned with the EU average. Conversely, a division into only two clusters was observed among large enterprises. Regardless of size, Polish enterprises consistently maintain a position within the EU average range. However, a developmental barrier remains, hindering the transition to the group of digital leaders. The article highlights the necessity of targeted institutional support for the SME sector to overcome these identified barriers.

Słowa kluczowe: analiza skupień; cyfryzacja; polskie przedsiębiorstwa; sektor MŚP; transformacja cyfrowa; wskaźnik intensywności cyfrowej; Unia Europejska

Keywords: cluster analysis; Digital Intensity Index; digital transformation; digitalization; European Union; Polish enterprises; SME sector

Otrzymano: 18 kwietnia 2026

Received: 18 April 2026

Zaakceptowano: 22 czerwca 2026

Accepted: 22 June 2026

Sugerowana cytacja / Suggested citation:

Miształ, J. (2026). Poziom cyfryzacji polskich przedsiębiorstw: diagnoza i wyzwania. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 40(2), 43–60. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.402.2>

WSTĘP

W kontekście postępującej globalizacji i pojawiających się wyzwań oraz zagrożeń dużego znaczenia nabiera transformacja cyfrowa (Cabańska, Czyżewska-Miształ, Perska, 2024). Może ona stanowić szansę na rozwój społeczno-gospodarczy krajów, a także pozwala sprostać wielu trudnościom (Śledziwska, Włoch, 2020), takim jak pandemia COVID-19, która przyspieszyła tempo cyfryzacji w przedsiębiorstwach (Mihu, Herciu, 2024). Jednocześnie transformacja cyfrowa może kreować nowe wyzwania i zagrożenia związane z budową modeli biznesowych, poufnością i bezpieczeństwem danych lub informacji (Harari, 2018; Kraus i in., 2021). W konsekwencji transformacja cyfrowa jest uważana za jedno z większych wyzwań trzeciej dekady XXI w., zwłaszcza w okresie post-pandemicznym (Głodowska, Maciejewski, Wach, 2023), który zmienił sposób myślenia o prowadzeniu działalności gospodarczej przez położenie większego nacisku na wymiar technologiczny oparty na transformacji cyfrowej (Banaszyk i in., 2021; Corvello i in., 2022; Żur, Wałęga, 2023). Transformacja cyfrowa jest postrzegana jako fundament nowoczesnych gospodarek, ponieważ wspiera ich konkurencyjność na arenie międzynarodowej (Britchenko, 2024) – ważną rolę odgrywają tu przedsiębiorstwa. Jednak cyfryzacja gospodarki jest zjawiskiem wieloetapowym. To z kolei implikuje wiele zmian, do których muszą dostosować się przedsiębiorstwa chcące pozostać konkurencyjne (Witczak-Roszkowska, 2021). Jednak mimo wielu barier transformacja cyfrowa jest postrzegana przez przedsiębiorstwa jako zadanie rozwojowe, a znaczenie przemysłu 4.0 cały czas rośnie, co warunkuje potrzebę rozwoju kompetencji cyfrowych (Noviello, 2026). Wobec tak przyjętego poglądu widoczna jest potrzeba zdiagnozowania poziomu cyfryzacji przedsiębiorstw i zidentyfikowania wyzwań, jakie stoją przed nimi w kontekście transformacji cyfrowej.

Celem niniejszej pracy są identyfikacja oraz ocena – z wykorzystaniem wskaźnika intensywności cyfrowej – stopnia zróżnicowania poziomu cyfryzacji polskich przedsiębiorstw w zależności od ich wielkości na tle pozostałych państw Unii Europejskiej (UE). W artykule zastosowano analizę danych wtórnych (*desk research*). Do analizy wykorzystano wskaźnik DII (*Digital Intensity Index*) z roku 2024, którego metodyka została opracowana przez Eurostat do określenia poziomu cyfryzacji przedsiębiorstw.

W artykule postawiono następujące pytania badawcze:

- PB1: Jaka jest pozycja polskich przedsiębiorstw w zakresie intensywności cyfrowej na tle przedsiębiorstw innych państw UE z uwzględnieniem wielkości przedsiębiorstw?

- PB2: Jakie są homogeniczne skupienia przedsiębiorstw państw UE wyodrębnione na podstawie struktury posiadanego wskaźnika DII i jak stabilna jest przynależność Polski do tych grup?
- PB3: Czy wielkość przedsiębiorstw determinuje strukturę i poziom polaryzacji skupień w zakresie intensywności cyfrowej?
- PB4: Jakie wyzwania w zakresie transformacji cyfrowej stoją przed polskimi przedsiębiorstwami?

ZNACZENIE TRANSFORMACJI CYFROWEJ W PRZEDSIĘBIORSTWACH

W literaturze przedmiotu transformacja cyfrowa w kontekście przedsiębiorstw jest definiowana jako fundamentalna zmiana struktury, procesów oraz funkcji w przedsiębiorstwach oraz całkowita redefinicja ich modeli biznesowych za pośrednictwem wdrażania oraz wykorzystywania różnych technologii cyfrowych i informatycznych (Głodowska, Maciejewski, Wach, 2023). Technologie te napędzają rozwój i znaczenie transformacji cyfrowej (Bombińska, 2025). Badacze wskazują na znaczenie tego zjawiska w kontekście napędzania wielowymiarowych zmian w biznesie, które mają również wpływ na pewne aspekty życia innych ludzi (Kraus i in., 2021; Van der Linden, Łasak, 2023). Zmianie uległ bowiem charakter prowadzonej przez przedsiębiorstwa działalności gospodarczej, co jest skutkiem dematerializacji i digitalizacji produktów oraz usług (Pereira i in., 2022). To zaś stanowi konsekwencję integracji nowych technologii cyfrowych z tradycyjnymi gałęziami przemysłu. W efekcie w przedsiębiorstwach zaczęły powstawać innowacyjne modele biznesowe (Jabłoński, Jabłoński, Szpitter, 2020; Luo, Liu, 2024; Vangjel, 2021). Aby ocenić rozwój oraz porównać poszczególne państwa, należy zastosować spójne i porównywalne zestawy miar dla danego regionu, a także zidentyfikować obszary związane z transformacją cyfrową. Wspomniane dwa kryteria prowadzą do wskazania kilku wskaźników związanych z cyfryzacją, które zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Powszechnie stosowane wskaźniki mierzące transformację cyfrową

Kryterium/ wskaźnik	Digital Economy and Society Index (DESI)	ASEAN Digital Integration Index (ADII)	Digital Intelligence Index (DII)	Digital Intensity Index (DII)
Region	Państwa członkowskie UE	Państwa należące do Stowarzyszenia Narodów Azji Południowo-Wschodniej (ASEAN)	Globalny (ok. 90 państw na świecie)	Państwa członkowskie UE (na poziomie przedsiębiorstw)
Cel	Podsumowanie wskaźników cyfrowej efektywności i monitorowanie postępów państw UE w realizacji celów Cyfrowej Dekady 2030	Pomiar postępów w integracji cyfrowej regionu ASEAN oraz identyfikacja barier w handlu cyfrowym	Analiza konkurencyjności cyfrowej, tempa rozwoju oraz poziomu zaufania do technologii	Pomiar stopnia wykorzystania technologii cyfrowych przez przedsiębiorstwo

Skład	Zmienne związane z kapitałem ludzkim, integracją technologii cyfrowych, e-administracją publiczną oraz łącznością	Zmienne obejmujące: handel cyfrowy, ochronę danych, płatności cyfrowe, umiejętności/talenty, innowacje, infrastrukturę	Zmienne związane z popytem, podażą, innowacjami i instytucjami	12 zmiennych (por. tabela 2)
Organizacja	UE	ASEAN	Tufts University (The Fletcher School)	UE
Publikacja	Corocznie	Nieregularnie	Co kilka lat: 2014, 2017, 2020	Corocznie (jako część badania wykorzystania technologii ICT w firmach)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Choczyńska, Rani, Tora (2024)

Jak można zauważyć, opisywane wskaźniki wyróżniają się zarówno podobnymi zmiennymi, jak i zmiennymi unikalnymi. DESI jest wskaźnikiem makroekonomicznym analizującym gospodarki państw członkowskich UE, podczas gdy Digital Intensity Index jest wskaźnikiem mikroekonomicznym obejmującym wybrane przedsiębiorstwa wewnątrz państw. Ponadto Digital Intensity Index stanowi jeden z elementów składowych wskaźnika DESI. Wskaźnik ADII z kolei analizuje, jak wybrane państwa współpracują ze sobą w zakresie cyfrowym, np. w ramach wspólnych standardów cyfrowych płatności. Ostatni z analizowanych wskaźników, czyli Digital Intelligence Index, bierze pod uwagę dynamikę zmian, dzieląc państwa na liderów, gospodarki zwalniające i gospodarki przyspieszające.

METODY BADAWCZE

Digital Intensity Index (DII) służy do ogólnej oceny poziomu intensywności korzystania z technologii cyfrowych w przedsiębiorstwach. Wskaźnik ten pochodzi z unijnego badania dotyczącego wykorzystania technologii informacyjno-komunikacyjnych i handlu elektronicznego w przedsiębiorstwach (Bałeczka, 2025). W tabeli 2 zaprezentowano kompozycję wskaźnika DII obejmującą zmienne wchodzące w jego skład zgodnie z warunkami przyjętymi w 2024 r.

Za każdy z powyższych warunków stanowiących pojedynczą zmienną przedsiębiorstwo otrzymuje 1 punkt, a zatem po spełnieniu wszystkich warunków przedsiębiorstwo może uzyskać 12 punktów (Eurostat, 2024). Na podstawie uzyskanych punktów Eurostat ocenia poziom intensywności cyfrowej przedsiębiorstw w UE. Skalę tę opisano w tabeli 3. Warto zaznaczyć, że w metodologii DII Eurostat wyróżnia ponadto tzw. poziom co najmniej podstawowy. Odnosi się on do procesu monitorowania celów Cyfrowej Dekady Europy. Poziom ten oznacza spełnienie co najmniej czterech z 12 zmiennych przyjętych w ocenie wskaźnika na dany rok. W praktyce oznacza to, że poziomem co najmniej podstawowym objęte są przedsiębiorstwa, które mają niski, wysoki i bardzo wysoki poziom DII (Eurostat, 2024).

Tabela 2. Kompozycja wskaźnika intensywności cyfrowej w 2024 r.

Przedsiębiorstwa, w których ponad 50% zatrudnionych ma dostęp do internetu w celach służbowych.	Maksymalna prędkość pobierania danych w ramach umowy najszybszego stacjonarnego łącza internetowego wynosi co najmniej 30 Mb/s.	Przedsiębiorstwa, których sprzedaż e-commerce stanowi co najmniej 1% obrotów.	Przedsiębiorstwa, w których sprzedaż przez stronę internetową stanowi ponad 1% całkowitego obrotu, a sprzedaż internetowa B2C stanowi ponad 10% sprzedaży przez stronę internetową.
Przedsiębiorstwa mają dokumenty dotyczące środków, praktyk lub procedur w zakresie bezpieczeństwa ICT.	Przedsiębiorstwa uświadamiają pracownikom ich obowiązki w zakresie bezpieczeństwa ICT.	Przedsiębiorstwa stosują co najmniej trzy środki bezpieczeństwa ICT.	Przedsiębiorstwa zapewniają pracownikom szkolenia w celu rozwoju ich umiejętności w zakresie technologii informacyjno-komunikacyjnych.
Przedsiębiorstwa zatrudniły specjalistów do spraw technologii informacyjno-komunikacyjnych.	Przedsiębiorstwa korzystają z dowolnej technologii sztucznej inteligencji.	Przedsiębiorstwa zapewniły pracownikom zdalny dostęp do firmowego systemu poczty elektronicznej, dokumentów lub aplikacji.	Przedsiębiorstwa przeprowadzały spotkania przez internet.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat (2024)

Tabela 3. Klasyfikacja skali pomiaru wskaźnika intensywności cyfrowej

Uzyskane punkty	Ocena poziomu intensywności cyfrowej
0–3	bardzo niska
4–6	niska
7–9	wysoka
10–12	bardzo wysoka

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat (2024)

Diagnoza intensywności cyfrowej przedsiębiorstw w UE została przeprowadzona na bazie wielowymiarowej analizy statystycznej, do której wykorzystano zagregowane dane wtórne pochodzące z bazy Eurostat (wskaźnik *Digital Intensity Index* – DII) z roku 2024. Zastosowano przy tym jedną z metod wielowymiarowej analizy statystycznej, a mianowicie analizę skupień (*cluster analysis*), określaną również jako klasteryzacja bądź grupowanie. Celem tej metody jest grupowanie badanych obiektów w taki sposób, aby obiekty w danym skupieniu były do siebie jak najbardziej homogeniczne. Z kolei obiekty w innych skupieniach powinny być jak najbardziej odmienne względem innych skupień. Dzięki zastosowaniu tej metody możliwe jest wyodrębnianie skupień oraz klasyfikowanie badanych obiektów (Migdał-Najman, Najman, 2013). Procedura badawcza zmierzała do wyodrębnienia homogenicznych grup wśród państw UE pod względem struktury poziomu intensywności cyfrowej przedsiębiorstw. Tym samym w badaniu wykorzystano cztery zmienne strukturalne reprezentujące odsetek przedsiębiorstw, które podzielono na cztery kategorie ocen zgodnie z wyznaczonymi przez Eurostat poziomami intensywności cyfrowej:

- *V_Low*: bardzo niski poziom intensywności cyfrowej,
- *Low*: niski poziom intensywności cyfrowej,
- *High*: wysoki poziom intensywności cyfrowej,

- *V_High*: bardzo wysoki poziom intensywności cyfrowej.

Powyższe zmienne obejmują 27 państw członkowskich UE i mają charakter danych kompozycyjnych (*compositional data*), który skutkuje tym, że suma tych czterech zmiennych dla każdego państwa wynosi 1 (100%). Ze względu na ograniczenie wynikające ze stałej sumy, a także na cechowanie się ujemną korelacją danych procentowych zastosowano transformację *Centered Log-Ratio* (CLR) Aitchisona (1982). Pozwoliło to uniknąć problemu pozornej korelacji oraz współliniowości zmiennych dzięki przeniesieniu danych z przestrzeni ograniczonej (sympleksu) do przestrzeni euklidesowej. Tym samym dla każdego państwa obliczono nowe wartości zmiennych zgodnie ze wzorem (Faith, 2015):

$$clr(x_i) = \ln\left(\frac{x_i}{g(x)}\right)$$

gdzie:

x_i – wartość poszczególnej zmiennej danej kategorii dla danego państwa,

$g(x)$ – średnia geometryczna wszystkich czterech kategorii dla danego państwa.

Następnie dla każdego państwa obliczono logarytm naturalny ilorazu danej zmiennej i średniej geometrycznej. Tym samym przekształcono zmienne w wartości logarytmiczne z zachowaniem relacji geometrycznych między zmiennymi. Kolejnym krokiem była standaryzacja zmiennych metodą Z-score w celu wyeliminowania wpływu różnej zmienności poszczególnych ocen wskaźnika DII na proces grupowania. W efekcie każda z czterech zmiennych uzyskała średnią równą 0 oraz odchylenie standardowe wynoszące 1, co świadczy na korzyść równego wpływu na wynik klasyfikacji. W przypadku standaryzacji zmiennych dla dużych przedsiębiorstw wskutek występowania wartości zerowych w pierwotnym zbiorze danych zastosowano procedurę substytucji zer (*zero replacement*), zastępując je stałą wartością 0,001 zgodnie z zaleceniami Aitchisona (1982).

Diagnoza podobieństw między państwami i identyfikacja homogenicznych grup została przeprowadzona z wykorzystaniem analizy skupień w programie Statistica. Aby zidentyfikować grupy homogeniczne, wykorzystano hierarchiczną analizę skupień (HCA) ze względu na relatywnie małą próbę ($N = 27$), a także możliwie najczytelniejszą strukturę powiązań między państwami w postaci dendrogramu. Jako procedurę klasyfikacji – ze względu na minimalizowanie sumy kwadratów odchyłeń wewnątrz skupień, opieranie się na analizie wariancji, tworzenie grup o dużej homogeniczności i liczebności, a także zbliżonej wielkości i wysokiej spójności – zastosowano metodę grupowania Warda. Jest ona uważana za jedną z lepszych metod w zakresie metod aglomeracyjnych (Gatnar, Walesiak, 2004). Z kolei jako miarę podobieństwa zastosowano kwadrat odległości euklidesowej, będący standardowym i rekomendowanym wyborem podczas stosowania metody Warda (Walesiak, 2011). Ostatnim etapem było wyznaczenie optymalnej liczby skupień na podstawie analizy dendrogramu oraz przebiegu wykresu aglomeracji. Aby wyeliminować subiektywny moment odcięcia i przypisania liczby skupień, zastosowano regułę R. Mojeny. Poziom odcięcia wyznaczono na podstawie średniej odległości wiązań oraz jej odchylenie standardowe ze stałym parametrem wynoszącym 1,25, zgodnie ze wzorem:

$$\text{krytyczna odległość wiązań} / \text{próg odcięcia} = \bar{d} + k \cdot S_d$$

gdzie:

\bar{d} i S_d – średnia arytmetyczna i odchylenie standardowe długości wiązań,

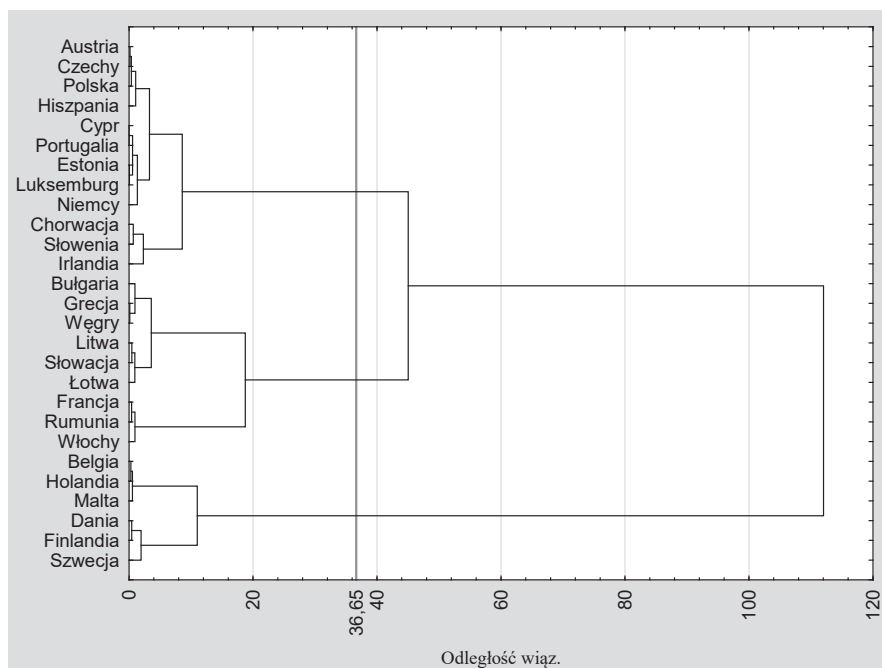
k – stała, której wartość zgodnie z regułą R. Mojeny powinna zawierać się w przedziale [2,5; 3,5] (Roszko- \bar{W} ójtowicz, 2014), choć autorzy zwracają uwagę, że optymalną wartość stanowi 1,25 (Miligan, Cooper, 1985; Stanisz, 2007).

W kolejnych etapach przeanalizowano statystyki deskryptywne wewnątrz grup poprzez utworzenie wykresów pudełkowych (*box plots*), co było kluczowe, aby zweryfikować poprawność ich podziału. Dzięki temu możliwe było również przypisanie poszczególnym klastrom cech, np. liderów cyfryzacji.

CHARAKTERYSTYKA POZIOMU WSKAŹNIKA DII POLSKICH PRZEDSIĘBIORSTW NA TLE INNYCH PAŃSTW UE – WYNIKI BADANIA

Prezentowane wyniki zostały podzielone na trzy części – zgodnie z segmentami wielkości przedsiębiorstw państw UE – wraz ze zbiorczym podsumowaniem ich profili cyfrowych.

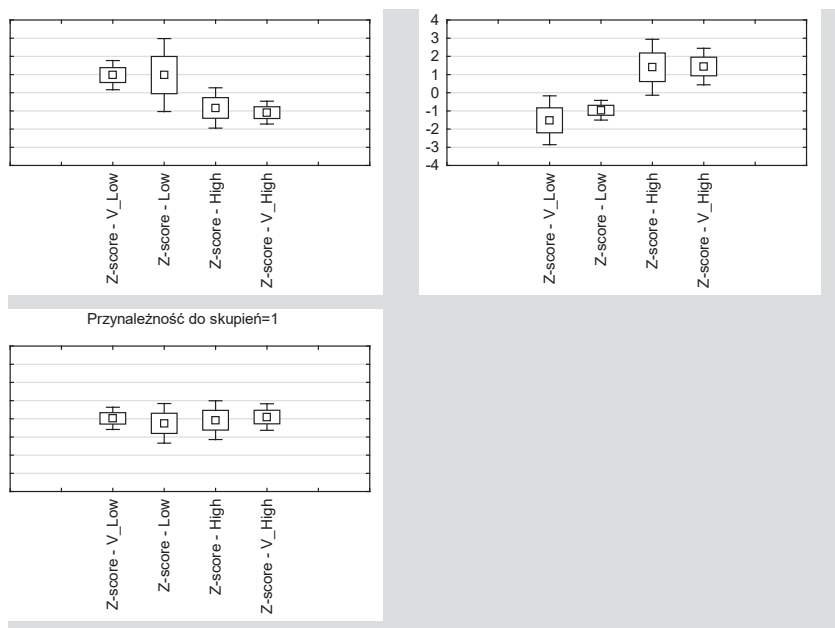
Rycina 1. Dendrogram klasyfikacji państw UE według poziomu intensywności cyfrowej małych przedsiębiorstw



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat [ISOC_E_DII]

Na rycinie 1 przedstawiono dendrogram obejmujący klasyfikację państw UE zgodnie z posiadaną strukturą wskaźnika DII przez małe przedsiębiorstwa (10–49 zatrudnionych). Za pomocą linii na poziomie ok. 36,65 odległości wiązań wyznaczono optymalny podział (reguła Mojeny), dzieląc państwa na trzy główne skupienia o podobnej strukturze cyfryzacji. Jak można zauważyć, Polska znalazła się w najliczniejszej grupie, w bezpośrednim sąsiedztwie takich państw jak Czechy i Austria, co wskazuje na bardzo zbliżoną strukturę wskaźnika DII w tych krajach. Drugie skupienie w dolnej części wykresu obejmuje cyfrowych liderów – m.in. Szwecję, Danię czy Finlandię. Trzecie skupienie obejmuje państwa takie jak Bułgaria, Grecja lub Węgry (por. tabela 4).

Rycina 2. Charakterystyka profilowa intensywności cyfrowej w wyodrębnionych skupieniach małych przedsiębiorstw państw UE

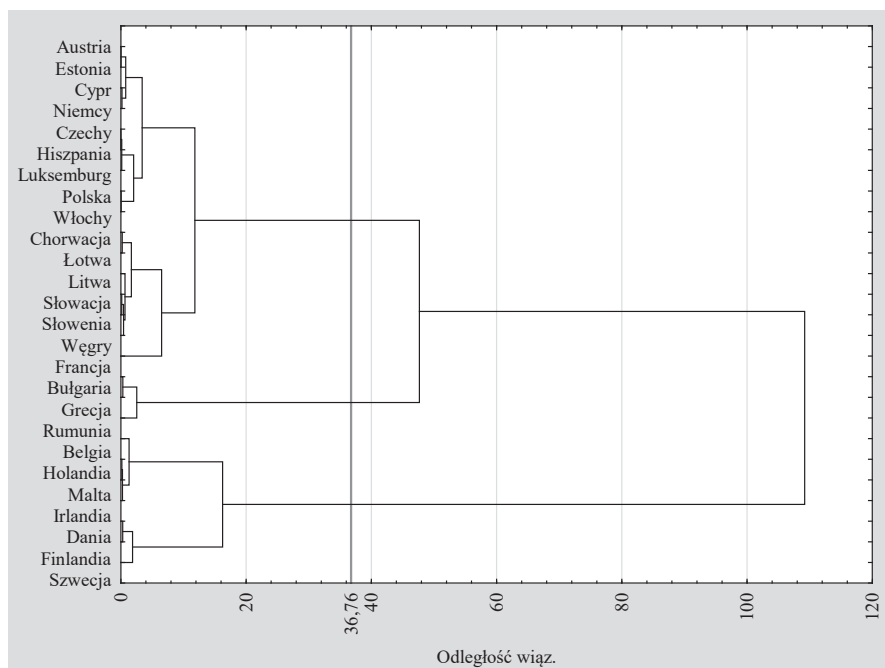


Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat [ISOC_E_DII]

Zaprezentowane wykresy pudełkowe (rycina 2) dla pierwszego skupienia znajdują się blisko wartości 0 (wystandaryzowana średnia unijna). Świadczy to, że państwa w tej grupie, takie jak Polska, mają strukturę wskaźnika DII bliską średniej całej UE. Co więcej, mały rozstęp międzykwartyłowy świadczy o dużej homogeniczności w tym skupieniu, co oznacza, że państwa te są do siebie bardzo podobne statystycznie. Z kolei w skupieniu 2 (liderów) można zaobserwować polaryzację. Mediana dla wartości *High* oraz *V_High* osiąga wartość powyżej 1, co świadczy o przewadze tych państw w intensywności cyfrowej na tle pozostałych członków UE. Jednocześnie zmienne *V_Low* oraz *Low* osiągają wartości ujemne, poniżej -1. Dowodzi to marginalnego odsetku przedsiębiorstw w tych państwach, które mają niską i najniższą intensywność cyfrową. Dłuższe wykresy świadczą jednak o tym, że w obrębie samej grupy widoczne jest zróżnicowanie, co może dowodzić tego, że niektórzy liderzy są lepsi od innych. Ostatnie, trzecie skupienie to swego rodzaju

odwrotność skupienia liderów. Przeważają tu dodatnie wartości zmiennej *Low*, a także ujemne wartości *High* oraz *V_High*. Również w tym skupieniu z uwagi na duży rozstęp zmiennej *Low* można zauważyć niejednorodność państw (państwa o faktycznym niskim DII oraz państwa aspirujące do skupienia umiarkowanego).

Rycina 3. Dendrogram klasyfikacji państw UE według poziomu intensywności cyfrowej średnich przedsiębiorstw



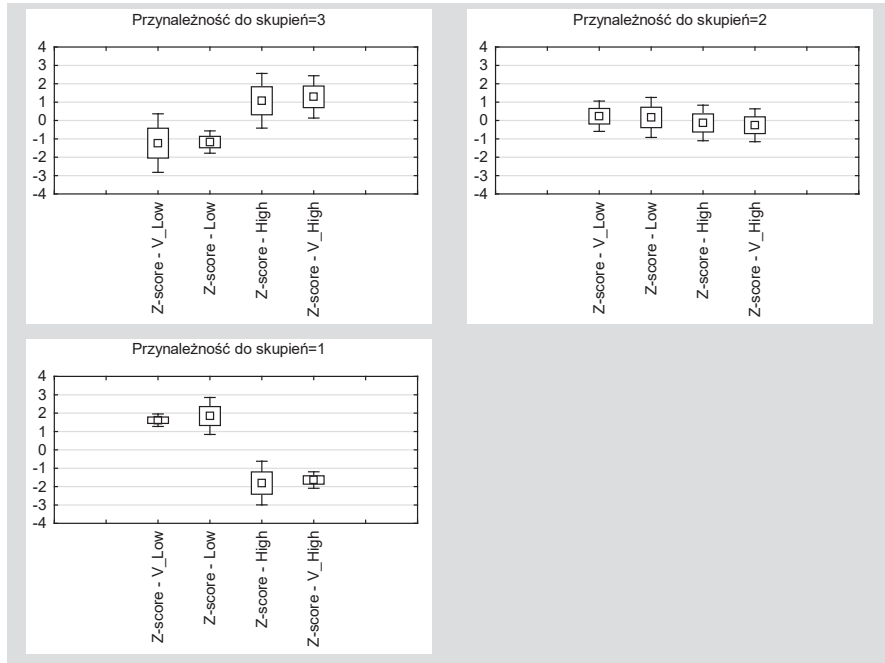
* Nieobecność Portugalii na wykresie wynika z braku dostępnych danych dla 2024 r. w niektórych ocenach wskaźnika DII dla średnich przedsiębiorstw.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat [ISOC_E_DII]

Na rycinie 3 przedstawiającej średnie przedsiębiorstwa wyznaczono linię cięcia na poziomie odległości wiązania 36,76 – zgodnie z regułą Mojeny. Podobnie jak przy małych przedsiębiorstwach tu również zidentyfikowano trzy wyraźne skupienia różniące się liczebnością państw oraz charakterystyką.

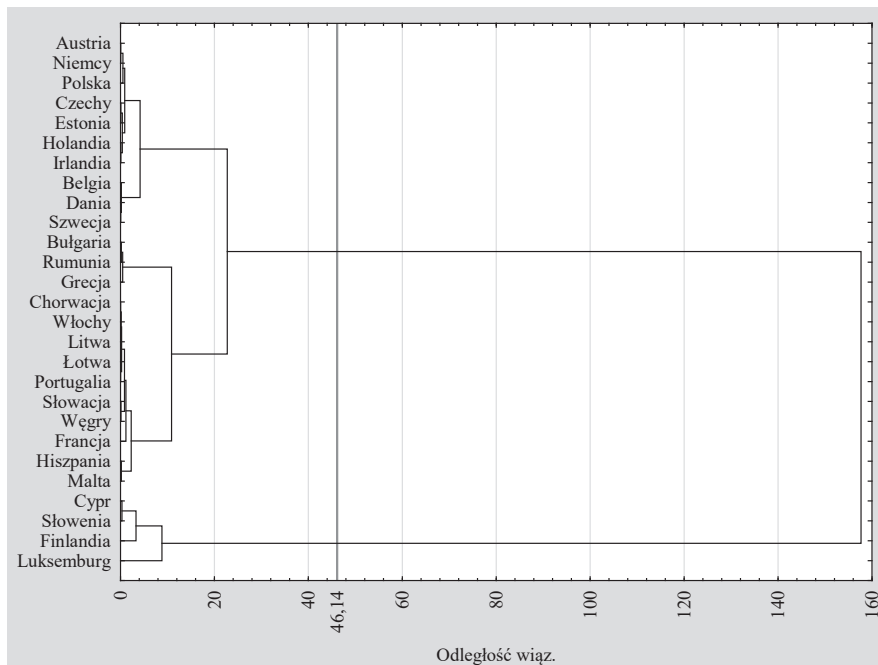
Pod względem wizualnym skupienia są bardzo zbliżone do skupień zaobserwowanych wśród małych przedsiębiorstw (por. rycina 4). W pierwszym skupieniu ponownie można zauważyć cyfrowych maruderów (np. Bułgaria, Grecja, Rumunia). Skupienie to wykazuje jednak dużo bardziej skrajne ujemne wartości *High* oraz *V_High*, a także dodatnie wysokie wartości *Low* oraz *V_Low*. Jest ono zatem zdominowane przez przedsiębiorstwa o bardzo niskiej i niskiej intensywności cyfrowej. Drugie skupienie tworzą państwa umiarkowanie stabilne cyfrowo, a wartości Z-score ocen intensywności cyfrowej oscylują w okolicach poziomu 0, reprezentującego średnią ujemną. Właśnie w tym skupieniu wśród średnich przedsiębiorstw znalazła się Polska. Trzecie skupienie w tym segmencie stanowią cyfrowi liderzy. Można tu zaobserwować większą zwartość niż wśród liderów małych przedsiębiorstw.

Rycina 4. Charakterystyka profilowa intensywności cyfrowej w wyodrębnionych skupieniach średnich przedsiębiorstw państw UE



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat [ISOC_E_DII]

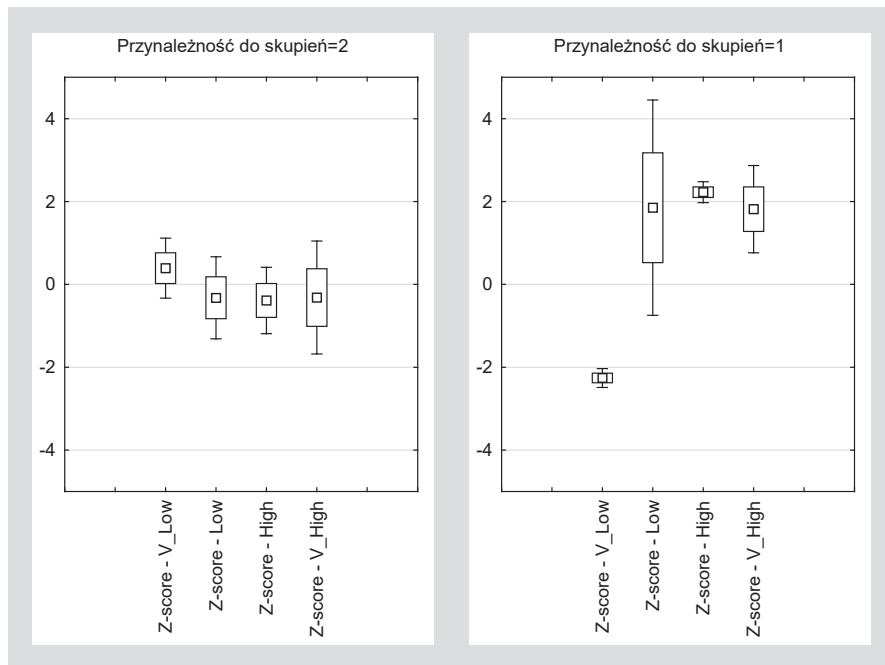
Rycina 5. Dendrogram klasyfikacji państw UE według poziomu intensywności cyfrowej dużych przedsiębiorstw



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat [ISOC_E_DII]

Ostatnia klasyfikacja znacząco różni się od wcześniejszych. Linia cięcia na poziomie 46,14 pogrupowała państwa jedynie na dwa skupienia (por. rycina 5). Pierwsze z nich obejmuje państwa, których profil jest bardziej specyficzny ze względu na całkowity brak odsetka przedsiębiorstw wykazujących bardzo niską intensywność cyfrową (por. rycina 6). Drugie skupienie obejmuje większość państw UE, w tym również Polskę oraz dotychczasowych liderów cyfrowych z pozostałych dwóch segmentów wielkości przedsiębiorstw (wyjątkiem jest Finlandia).

Rycina 6. Charakterystyka profilowa intensywności cyfrowej w wyodrębnionych skupieniach dużych przedsiębiorstw państw UE

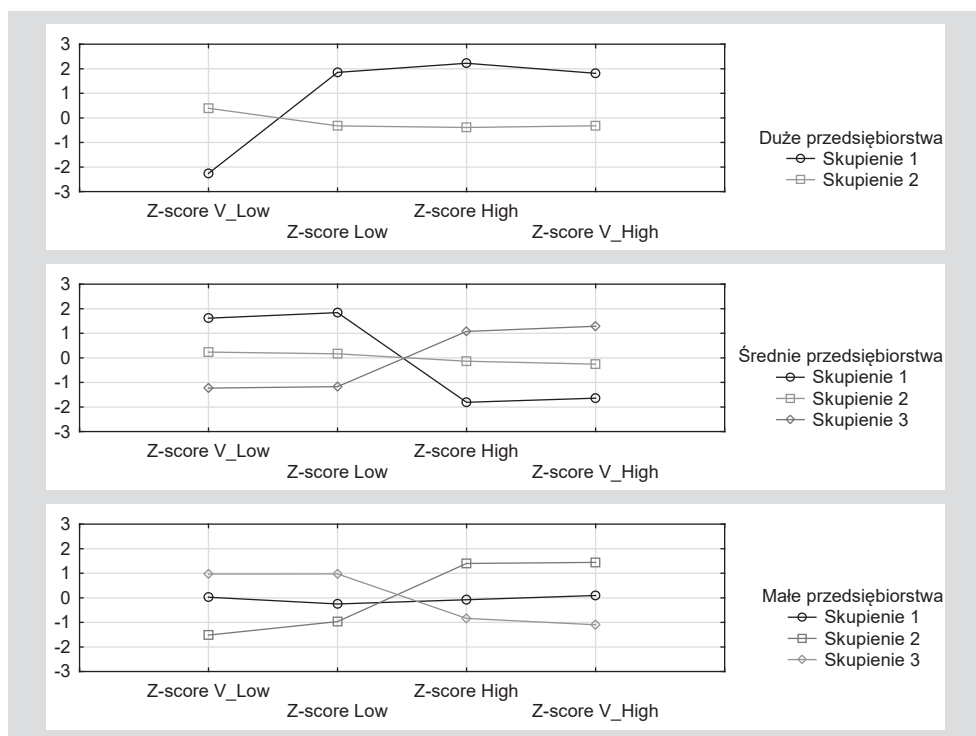


Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat [ISOC_E_DII]

Skupienie pierwsze obejmuje państwa, które wykazują ekstremalne odchylenia od średniej unijnej. Wysokie ujemne wartości Z-score V_{Low} potwierdzają, że odsetek przedsiębiorstw o bardzo niskiej cyfryzacji jest znikomy. Analogicznie bardzo wysokie dodatnie wartości Z-score $High$ oraz V_{High} wskazują na wysoki odsetek przedsiębiorstw posiadających wysoki oraz bardzo wysoki poziom wskaźnika DII. Profil państw w skupieniu drugim cechuje się stabilnością, czego dowodem są wartości Z-score wszystkich kategorii ocen oscylujących blisko średniej unijnej. Duże przedsiębiorstwa w państwach zebranych w tym skupieniu, także w Polsce, posiadają typowy dla UE poziom wskaźnika intensywności cyfrowej.

Wizualizację cyfrowych profili wyodrębnionych skupień zaprezentowano na rycinie 7. Zaczynając od dużych przedsiębiorstw, można dostrzec dwa skupienia: skupienie pionierów cyfrowych i skupienie zrównoważonych cyfrowo, którzy reprezentują uśredniony poziom cyfryzacji w UE. Polska, podobnie jak inne państwa będące w drugim skupieniu, nie odbiega od cyfrowych standardów UE. Widoczne przecięcie profili między poziomami

Rycina 7. Profile średnich wartości ocen intensywności cyfrowej w wyodrębnionych skupieniach z podziałem na wielkość przedsiębiorstw w państwach UE



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat [ISOC_E_DII]

Low oraz *High* w segmencie średnich i małych przedsiębiorstw stanowi granicę między liderami a maruderami. Polska w obu przypadkach przynależy do skupienia stabilnie cyfrowego, czego dowodem jest brak znacznych odchyłeń w stosunku do poziomu średniej unijnej (wartość 0 w skali Z-score).

Tabela 4. Charakterystyka podsumowująca oraz zestawiająca wyodrębnione skupienia wśród przedsiębiorstw państw UE

Skupienie	Charakterystyka	Państwa
1 – stabilnie cyfrowi (małe przedsiębiorstwa)	poziom wskaźnika zbliżony do średniej unijnej (Z-score bliski 0)	Austria, Chorwacja, Cypr, Czechy, Estonia, Hiszpania, Irlandia, Luksemburg, Niemcy, Polska, Portugalia, Słowenia
2 – cyfrowi liderzy (małe przedsiębiorstwa)	dominacja wysokiego i bardzo wysokiego wskaźnika DII (wysokie wartości Z-score dla <i>High</i> oraz <i>V_High</i>)	Belgia, Dania, Finlandia, Holandia, Malta, Szwecja
3 – cyfrowi maruderzy (małe przedsiębiorstwa)	przewaga niskiego i bardzo niskiego wskaźnika DII	Bułgaria, Francja, Grecja, Litwa, Łotwa, Rumunia, Słowacja, Węgry, Włochy
1 – cyfrowi maruderzy (średnie przedsiębiorstwa)	przewaga niskiego i bardzo niskiego wskaźnika DII	Bułgaria, Grecja, Rumunia

2 – stabilnie cyfrowi (średnie przedsiębiorstwa)	poziom wskaźnika zbliżony do średniej unijnej (Z-score bliski 0)	Austria, Chorwacja, Cypr, Czechy, Estonia, Francja, Hiszpania, Litwa, Luksemburg, Łotwa, Niemcy, Polska, Słowacja, Słowenia, Węgry, Włochy
3 – cyfrowi liderzy (średnie przedsiębiorstwa)	dominacja wysokiego i bardzo wysokiego wskaźnika DII (wysokie wartości Z-score dla <i>High</i> oraz <i>V_High</i>)	Belgia, Dania, Finlandia, Holandia, Irlandia, Malta, Szwecja
1 – cyfrowi czempioni (duże przedsiębiorstwa)	dominacja wysokiej i bardzo wysokiej oceny DII, brak bardzo niskiej oceny DII	Cypr, Finlandia, Luksemburg, Słowenia
2 – zrównoważeni cyfrowo (duże przedsiębiorstwa)	poziom wskaźnika zbliżony do średniej unijnej (Z-score bliski 0)	Austria, Belgia, Bułgaria, Chorwacja, Czechy, Dania, Estonia, Francja, Grecja, Hiszpania, Holandia, Irlandia, Litwa, Łotwa, Malta, Niemcy, Polska, Portugalia, Rumunia, Słowacja, Szwecja, Węgry, Włochy

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat [ISOC_E_DII]

W tabeli 4 znajduje się zbiorcze podsumowanie wyodrębnionych skupień wraz z przypisanymi do nich państwami. W obrębie małych i średnich przedsiębiorstw w UE istnieje polaryzacja cyfrowa, co skutkuje podziałem cyfrowym w Europie. Jak można zauważyć, wielkość przedsiębiorstwa może niwelować głębsze różnice cyfrowe między przedsiębiorstwami. Polskie przedsiębiorstwa we wszystkich trzech segmentach wielkości przedsiębiorstw trafiły do skupień umiarkowanie cyfrowych – oznacza to, że Polska na tle państw UE jest przeciętna, ani nie jest liderem lub pionierem, ani maruderem cyfrowym.

WYZWANIA W ZAKRESIE TRANSFORMACJI CYFROWEJ – Dyskusja

Przegląd danych Eurostatu potwierdził dotychczasowe wnioski dotyczące niskiego poziomu cyfryzacji wśród małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP; Szwajca, Rydzewska, 2022). Jak wskazuje tabela 4, stanowiąca podsumowanie wyników badań i wyodrębnionych skupień, wśród MŚP jest niewielu cyfrowych liderów w obu segmentach. Są nimi Belgia, Dania, Finlandia, Holandia, Malta, Szwecja, a wśród średnich przedsiębiorstw – Irlandia. Dotychczasowe badania przeprowadzone wśród polskich przedsiębiorstw wskazują, że transformacja cyfrowa MŚP, choć nieunikniona, w dużej mierze będzie zależała od dostrzeżonych barier. Te z kolei będą różnicować oraz warunkować tempo, zakres i efekty skutecznej transformacji cyfrowej. Zidentyfikowane w literaturze bariery obejmują przede wszystkim dostępność zasobów finansowych oraz technologicznych, kompetencje cyfrowe, otoczenie instytucjonalne, a także zdolność strategiczną do adaptowania modeli biznesowych. Na skuteczne hamowanie wdrażania technologii wpływają również obawa o bezpieczeństwo danych i utrudnienia w finansowaniu (Kania, 2025). W konsekwencji MŚP napotykają trudności w rozwoju, co przekłada się na ich konkurencyjność krajową oraz międzynarodową w stosunku do przedsiębiorstw funkcjonujących dłużej na danym rynku (Abubakar i in., 2019). Dzięki rozwiązaniom i technologiom cyfrowym oferowanym przez transformację cyfrową małe i średnie przedsiębiorstwa mogą lepiej radzić sobie na rynku. Badacze wskazują, że wdrożenie takich rozwiązań i technologii może polepszyć wyniki ekonomiczne małych i średnich przedsiębiorstw, a także przyczynić

się do uzyskania przez nie przewagi konkurencyjnej (Luo, Liu, 2024). Potwierdzają to również inne badania – przedsiębiorstwa podejmujące wysiłki w kierunku transformacji cyfrowej osiągają korzyści w postaci wzrostu produktywności, obniżenia kosztów operacyjnych czy wejścia na nowe rynki zbytu (Kania, 2025). Jednak sama implementacja narzędzi transformacji cyfrowej również może powodować wiele trudności. Przede wszystkim przedsiębiorcy powinni mieć świadomość, że wdrożenie cyfrowych rozwiązań jest czasochłonne. Należy mieć też na uwadze również to, że implementacja ta powinna odpowiadać potrzebom danego przedsiębiorstwa i uwzględniać jego otoczenie rynkowe (Horváth, 2023). Wyzwaniem w tym aspekcie – w kontekście długości wdrażania narzędzi transformacji cyfrowej – mogą być zmienne potrzeby przedsiębiorstwa i jego dynamiczne otoczenie rynkowe. Badacze podkreślają zwłaszcza brak zrozumienia znaczenia transformacji cyfrowej, brak kompetencji i umiejętności cyfrowych, a także niewystarczające zasoby finansowe (Mihu, Herciu, 2024). Podkreśla się też potrzebę rozwoju umiejętności cyfrowych wśród pracowników (Wach i in., 2023). Wspomniane wcześniej ograniczenia w zasobach finansowych i ludzkich mogą stanowić dużo większe wyzwanie dla MŚP w zakresie rozwijania nowoczesnych technologii. Autorzy wskazują, że zaawansowane technologie cechują się dynamicznym rozwojem i wysoką zmiennością, co z kolei wpływa na konieczność ciągłego rozwijania produktów czy usług. Konieczne jest zatem wdrażanie innowacji, aby stale podtrzymać konkurencyjność na rynku (Sabatini, Cucculelli, Gregori, 2022). Pomocne mogą się tu okazać posiadanie przez przedsiębiorstwo działu B+R oraz nakłady na badania i rozwój (Wach, Daszkiewicz, 2023). Innym rodzajem wyzwań, jakie stoją nie tylko przed małymi i średnimi, lecz przede wszystkim przed dużymi przedsiębiorstwami, które wdrożyły już wiele rozwiązań z zakresu transformacji cyfrowej, są kwestie etyczne. W ostatnich latach aby utrzymać konkurencyjną pozycję na rynkach konieczne staje się wdrażanie rozwiązań cyfrowych opartych na sztucznej inteligencji (Cao, Zhai, 2022; Fava, 2023). Równocześnie obserwuje się wiele zjawisk związanych z wykorzystywaniem jej do manipulacji. Obawy społeczeństwa dotyczą również inwigilacji w zakresie etyki, prywatności i bezpieczeństwa danych w środowisku cyfrowym (Sieja, Wach, 2023). Jednak wiele zależy od podjętych działań na szczeblu krajowym. Decydenci odpowiedzialni za uwarunkowania polityczne, gospodarcze oraz ekonomiczne powinni kreować polityki sprzyjające rozwojowi technologii, a tym samym – zachęcające przedsiębiorców do inwestowania w zaawansowane technologie. W konsekwencji konkurencyjność gospodarek na poziomie cyfrowym może wzrosnąć (Jabłoński, Kilar, 2024).

WNIOSKI

W tym miejscu można odpowiedzieć na postawione pytania badawcze:

- PB1: Polska ma stabilną pozycję względem struktury wskaźnika intensywności cyfrowej w UE, niezależnie od wielkości przedsiębiorstwa. Zaprezentowane profile cyfrowe skupień, do których należy Polska, wykazały, że polskie przedsiębiorstwa mają strukturę bliską średniej unijnej. Świadczy to o braku przynależności do maruderów, jak również do cyfrowych liderów.
- PB2: Przedstawione wyniki analizy z zastosowaniem reguły Mojeny wykazały istnienie trzech homogenicznych skupień dla MŚP oraz dwóch skupień dla dużych przedsiębiorstw. W przypadku Polski przynależność do skupień jest wysoce stabilna,

niezależnie od wielkości przedsiębiorstw. Polska wykazuje duże podobieństwa w zakresie struktury wskaźnika DII do takich państw jak Czechy i Austria.

- PB3: Wielkość przedsiębiorstwa stanowi kluczową determinantę w stosunku do struktury wskaźnika DII. Można to dostrzec zwłaszcza wśród MŚP (maruderzy, umiarkowani cyfrowo oraz liderzy). Z kolei wobec dużych przedsiębiorstw wykazano dużą polaryzację na dwa skupienia (liderów i grupę pościgową), co może dowodzić tego, że ta grupa przedsiębiorstw szybciej i łatwiej osiąga status lidera.
- PB4: Dla Polski największym wyzwaniem pozostaje kwestia rozwoju MŚP, które zmagają się z barierą wyjścia z grupy średniego rozwoju intensywności cyfrowej. Wyzwania dla tej grupy przedsiębiorstw obejmują przede wszystkim łatwiejszy dostęp do zasobów finansowych, technologicznych i ludzkich w połączeniu z kompetencjami cyfrowymi. To z kolei może pozwolić na wdrażanie zaawansowanych rozwiązań technologicznych.

Jak można wywnioskować z powyższych rozważań, w obrębie małych i średnich przedsiębiorstw Polskę dzieli znaczna odległość statystyczna zarówno od grupy maruderów, jak i od grupy liderów cyfrowych. Jednocześnie można wskazać barierę rozwojową dla polskich MŚP, która utrudnia przejście do grupy lepszej cyfrowo. Niemniej w kolejnych latach należałoby powtórzyć niniejszą analizę, aby zweryfikować, czy prezentowany podział państw i liczba skupień utrzymały się czy też doszło do przejścia któregoś państwa między skupieniami. Warto również rozważyć głębszą analizę profili cyfrowych na podstawie większej liczby skupień w segmencie dużych przedsiębiorstw. W tych przedsiębiorstwach, mimo wykazania wysokiej konwergencji cyfrowej, pojawiają się podmioty, które wypracowują unikalne profile cyfrowe eliminujące niskie oceny cyfryzacji (skupienie pierwsze w segmencie dużych przedsiębiorstw).

ZAKOŃCZENIE

Zaprezentowany podział państw UE względem homogenicznych cech na poszczególne klastry – liderów cyfryzacji, umiarkowanych cyfrowo, maruderów – przynosi szersze spojrzenie na cyfrowe profile przedsiębiorstw w zakresie zestawienia ze sobą konwergencji oraz polaryzacji członków Unii. W dłuższej perspektywie taka klasteryzacja pomoże zbadać, czy wyodrębnione skupienia stały się spójniejsze czy bardziej spolaryzowane. Może to mieć znaczenie dla unijnych programów ukierunkowanych na cyfryzację i zmniejszenie przepaści cyfrowej między państwami, a także wyznaczających cele takie jak *Cyfrowa Europa* czy *Drogi ku cyfrowej dekadzie*. Na podstawie ponownej analizy zestawionej z niniejszą pracą można zbadać, czy wybrane państwa osiągnęły status liderów, a UE stała się bardziej jednolita cyfrowo, czy też doszło do pogłębienia polaryzacji (*digital divide*) – luki cyfrowej między wybranymi państwami. Przeprowadzone badania mogą pomóc kształtować politykę wsparcia cyfrowego na szczeblach unijnym i krajowym. Ponadto w ramach przeprowadzonych badań pozwolą ocenić efektywność dotychczasowych programów wspierających cyfryzację przedsiębiorstw na podstawie awansu bądź spadku państw do danego skupienia. Zastosowana analiza skupień ma jednak pewne bariery. Wynikają one, po pierwsze, z ograniczonego publicznego dostępu do mikrodanych umożliwiających odtworzenie wartości DII na poziomie pojedynczych przedsiębiorstw oraz przeprowadzenie analizy na poziomie jednostkowym. Po drugie bariery te wiążą się z charakterem danych kompozycyjnych, a po trzecie – z konstrukcją opartą na ocenie binarnej oraz zmianach w składzie wskaźnika DII na przestrzeni lat,

co ogranicza porównywalność czasową. Zaleca się przy tym pogłębioną analizę skupień z podziałem na większą liczbę grup w obrębie dużych przedsiębiorstw. Zaprezentowane wyniki z podziałem na wielkość przedsiębiorstwa pozwoliły przejść od zwykłego rankingu do głębszej interpretacji strukturalnej z zastosowaniem klasteryzacji. W tym kontekście klasyfikacja danego państwa w skupieniu może zostać potraktowana jako zmienna objaśniająca w ramach zastosowania bardziej zaawansowanych metod, takich jak np. modele regresji.

Literatura

References

- Abubakar, Y.A., Hand, C., Smallbone, D., Saridakis, G. (2019). What specific modes of internationalization influence SME innovation in Sub-Saharan least developed countries (LDCs)? *Technovation*, 79(C), 56–70. doi: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2018.05.004>
- Aitchison, J. (1982). The Statistical Analysis of Compositional Data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 44(2), 139–177.
- Bałecka, W. (2025). Transformacja cyfrowa w sektorze małych i średnich przedsiębiorstw w Unii Europejskiej. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej. Zarządzanie*, 57, 7–23. <https://doi.org/10.17512/znpcz.2025.1.01>
- Banaszyk, P., Deszczyński, P., Gorynia, M., Malaga, K. (2021). The Covid-19 pandemic as a potential change agent for selected economic concepts. *Entrepreneurial Business and Economics Review*, 9(4), 35–50. <https://doi.org/10.15678/EBER.2021.090403>
- Bombińska, E. (2025). Międzynarodowa pozycja konkurencyjna Polski w handlu usługami ICT w latach 2010–2023: rynek UE versus rynki pozaunijne. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 39(1), 55–75. <https://doi.org/10.24917/20801653.391.4>
- Britchenko, I. (2024). Transformacja cyfrowa i tworzenie innowacyjnej gospodarki Unii Europejskiej. *Rocznik Administracji Publicznej*, 10, 311–332. <https://doi.org/10.4467/24497800RAP.24.019.20237>
- Cabańska, J., Czyżewska-Miształ, D., Perska, A. (2024). W stronę zrównoważonej i cyfrowej gospodarki – o wyzwaniach podwójnej transformacji w Unii Europejskiej. W: J. Cabańska, D. Czyżewska-Miształ, G. Mazur (red.), *Droga do zrównoważonej gospodarki światowej*. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, 19–30. <https://doi.org/10.18559/978-83-8211-245-0/1>
- Cao, Y., Zhai, J. (2022). A survey of AI in finance. *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 20(2), 125–137. <https://doi.org/10.1080/14765284.2022.2077632>
- Choczyńska, A., Rani, S., Tora, J. (2024). Comparison of international digitalisation indexes: A quantitative analysis perspective. *International Entrepreneurship Review*, 10(2), 25–42. <https://doi.org/10.15678/IER.2024.1002.02>
- Corvello, V., De Carolis, M., Verteramo, S., Steiber, A. (2022). The digital transformation of entrepreneurial work. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 28(5), 1167–1183. <https://doi.org/10.1108/IJEBR-01-2021-0067>
- Eurostat. (2024, 12 grudnia). Digital Intensity by size class of enterprise (isoc_e_dii). Pozyskano z: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/isoc_e_dii_esmsip2.htm (dostęp: 20.06.2026).
- Faith, M.K. (2015). Centered Log-Ratio (clr) Transformation and Robust Principal Component Analysis of Long-Term NDVI Data Reveal Vegetation Activity Linked to Climate Processes. *Climate*, 3(1), 135–149. <https://doi.org/10.3390/cli3010135>
- Fava, D. (2023). The Future of Tax Planning: Leveraging Generative AI in High-Net-Worth Contexts. *Journal of Financial Planning*, 36(10), 54–57.
- Gatnar, E., Walesiak, M. (red.). (2004). *Metody statystycznej analizy wielowymiarowej w badaniach marketingowych*. Wrocław: Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu.
- Głodowska, A., Maciejewski, M., Wach, K. (2023). Navigating the digital landscape: A conceptual framework for understanding digital entrepreneurship and business transfor-

- mation. *International Entrepreneurship Review*, 9(4), 7–20. <https://doi.org/10.15678/IER.2023.0904.01>
- Harari, Y.N. (2018). *21 lekcji na XXI wiek*. Kraków: Wydawnictwo Literackie.
- Horváth, Á.B. (2023). Different approach of the digital transformation at SME. *Acta Polytechnica Hungarica*, 20(9), 145–164. <https://doi.org/10.12700/APH.20.9.2023.9.9>
- Jabłoński, M., Jabłoński, A., Szpitter, A.A. (2020). Dynamika modeli biznesu przedsiębiorstw w gospodarce cyfrowej-perspektywa monetyzacji. W: S.Gregorczyk, G.Urbaneck (red.), *Zarządzanie strategiczne w dobie cyfrowej gospodarki sieciowej*. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, 295–314. <https://doi.org/10.18778/8220-335-6.18>
- Jabłoński, M., Kilar, W. (2024). Differentiation and dynamics of industrial activity in Poland from 2005 to 2020. *Studies of the Industrial Geography Commission of the Polish Geographical Society*, 38(2), 29–47. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.382.2>
- Kania, M. (2025). Cyfrowa transformacja sektora MŚP – bariery, korzyści i przyszłe scenariusze rozwoju. *Rozprawy Społeczne/Social Dissertations*, 19(1), 261–276. <https://doi.org/10.29316/rs/211185>
- Kraus, S., Jones, P., Kailer, N., Weinmann, A., Chaparro-Banegas, N., Roig-Tierno, N. (2021). Digital Transformation: An Overview of the Current State of the Art of Research. *SAGE Open*, 11(3). <https://doi.org/10.1177/21582440211047576>
- Luo, S., Liu, J. (2024). Enterprise service-oriented transformation and sustainable development driven by digital technology. *Scientific Reports*, 14(10047). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60922-w>
- Migdał-Najman, K., Najman, K. (2013). Analiza porównawcza wybranych metod analizy skupień w grupowaniu jednostek o złożonej strukturze grupowej. *Zarządzanie i Finanse*, 11(3), 179–194.
- Mihu, C., Herciu, M. (2024). Digital transformation: A quantitative analysis of Romanian SMEs. *Studies in Business and Economics*, 19(1), 137–166. <https://doi.org/10.2478/sbe-2024-0008>
- Milligan, G.W., Cooper, M.C. (1985). An examination of procedures for determining the number of groups in a data set. *Psychometrika*, 50(2), 159–179. <https://doi.org/10.1007/BF02294245>
- Noviello, M. (2026). Zastosowanie technologii Digital Twin w edukacji zawodowej jako odpowiedź na wyzwania Przemysłu 4.0. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 40(1), 73–90. <https://doi.org/10.24917/20801653.401.5>
- Pereira, C.S., Durão, N., Moreira, F., Veloso, B. (2022). The Importance of Digital Transformation in International Business. *Sustainability*, 14(2, 834), 1–26. <https://doi.org/10.3390/su14020834>
- Roszko-Wójtowicz, E. (2014). Analiza skupień w ocenie warunków pracy w krajach Unii Europejskiej. *Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician*, 11, 65–84.
- Sabatini, A., Cucculelli, M., Gregori, G.L. (2022). Business model innovation and digital technology: The perspective of incumbent Italian small and medium-sized firms. *Entrepreneurial Business and Economics Review*, 10(3), 23–35. <https://doi.org/10.15678/EBER.2022.100302>
- Sieja, M., Wach, K. (2023). Revolutionary artificial intelligence or rogue technology? The promises and pitfalls of ChatGPT. *International Entrepreneurship Review*, 9(4), 101–115. <https://doi.org/10.15678/IER.2023.0904.07>
- Stanisz, A. (2007). *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny*. T. 3: *Analizy wielowymiarowe*. Kraków: StatSoft Polska.
- Szwajca, D., Rydzewska, A. (2022). Digital transformation as a challenge for SMES in POLAND in the context of crisis relating to Covid-19 pandemic. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie / Politechnika Śląska*, 161, 289–305. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2022.161.20>
- Śledziwska, K., Włoch, R. (2020). *Gospodarka cyfrowa. Jak nowe technologie zmieniają świat*. Warszawa: Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego.
- Van der Linden, R.W., Łasak, P. (2023). *Financial interdependence, digitalization and technological rivalries*. Cham: Palgrave MacMillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-27845-7>
- Vangjel, X. (2021). New business models generated by technological innovation. *The Annals of the University of Oradea Economic Sciences*, 30(2), 26–34. [https://doi.org/10.47535/1991AUOES30\(2\)002](https://doi.org/10.47535/1991AUOES30(2)002)

- Wach, K., Daszkiewicz, N. (2023). Role of research and development in internationalization of high-tech firms: Empirical results from Poland. *Journal of International Studies*, 16(4), 245–256. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2023/16-4/16>
- Wach, K., Duong, C.D., Ejdy, J., Kazlauskaitė, R., Korzynski, P., Mazurek, G., Paliszkiwicz, J., Ziemia, E. (2023). The dark side of generative artificial intelligence: A critical analysis of controversies and risks of ChatGPT. *Entrepreneurial Business and Economics Review*, 11(2), 7–30. <https://doi.org/10.15678/EBER.2023.110201>
- Walesiak, M. (2011). Odległość GDM2 w analizie skupień dla danych porządkowych z wykorzystaniem programu R. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 176, 40–52.
- Witczak-Roszkowska, D. (2021). Cyfryzacja polskich przedsiębiorstw na tle wybranych krajów europejskich. *Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy*, 65, 90–108. <https://doi.org/10.15584/nsawg.2021.1.5>
- Żur, A., Wałęga, A. (2023). Internationalization and innovation orientation as factors of employee learning and development adaptation during Covid-19: Evidence from Polish SMEs. *Entrepreneurial Business and Economics Review*, 11(1), 77–91. <https://doi.org/10.15678/EBER.2023.110104>

Autor składa serdeczne podziękowania Panu prof. dr. hab. Krzysztofowi Wachowi oraz Pani prof. UEK, dr hab. Agnieszce Głodowskiej za cenne uwagi, inspirujące dyskusje oraz wsparcie merytoryczne na etapie przygotowywania niniejszego artykułu.

The author wishes to express his sincere gratitude to Professor Krzysztof Wach and Professor Agnieszka Głodowska for their valuable comments, inspiring discussions, and substantive support during the preparation of this article.

Publikacja prezentuje wyniki badań naukowych przeprowadzonych w ramach projektu nr 039/EEZ/2026/POT finansowanego ze środków subwencji przyznanej Uniwersytetowi Ekonomicznemu w Krakowie.

The publication/article presents the results of the project no. 039/EEZ/2026/POT financed from the subsidy granted to the Krakow University of Economics.

Jakub Misztal, mgr, doktorant w Szkole Doktorskiej Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie w dyscyplinie ekonomia i finanse oraz absolwent Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie. Laureat Studenckiego Nobla 2025 w kategorii nauki ekonomiczne, absolwent programu UEK Honours WISE, uczestnik II edycji programu Science-Up i programu Mistrzowie Dydaktyki. Posiadacz Europejskiego Certyfikatu Bankowca EFCB 3E, czterokrotny stypendysta stypendium Rektora UEK, laureat Nagrody Santander Universidades dla Najlepszego Studenta Instytutu Ekonomii Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie w roku akademickim 2022/2023, prelegent na kilkudziesięciu konferencjach naukowych o zasięgu ogólnopolskim lub międzynarodowym, a także autor lub współautor kilku publikacji naukowych. Jego zainteresowania naukowo-badawcze obejmują m.in. mikroekonomię, gospodarkę cyfrową, wykorzystanie technologii cyfrowych, strategię konkurencyjności oraz bankowość elektroniczną i e-commerce.

Jakub Misztal, MA, PhD student at the Doctoral School of Krakow University of Economics in the discipline of Economics and Finance, and a graduate of the Krakow University of Economics. Winner of the 2025 Student Nobel Prize in Economic Sciences, graduate of the UEK Honours WISE program, participant in the 2nd edition of the Science-Up program, and participant in the *Mistrzowie Dydaktyki* Program. Holder of a European Foundation Certificate in Banking (EFCB 3E). A four-time recipient of the Rector's Scholarship, and winner of the Santander Universidades Award for students from Krakow University of Economics in the 2022/2023 academic year. He presents his research at national and international scientific conferences and is the author or co-author of several academic publications. His research interests include microeconomics, the digital economy, the use of digital technologies, competitiveness strategies, electronic banking and e-commerce.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3337-9948>

Adres / Address:

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie
Szkoła Doktorska
ul. Rakowicka 27
31-510 Kraków, Polska
e-mail: 1002179@student.uek.krakow.pl