

Zjawisko komputeryzacji i rozwoju cyfrowego państw Unii Europejskiej w dobie pandemii COVID-19

Piotr Mariusz Kozikowski 

Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki

e-mail: 80749@student.pb.edu.pl

Marzena Filipowicz-Chomko 

Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki

e-mail: m.filipowicz@pb.edu.pl

DOI: 10.24427/az-2024-0027

Streszczenie

Transformacja cyfrowa jest jednym z kluczowych elementów unijnego rozwoju gospodarczego oraz autonomii strategicznej. Pandemia COVID-19 stała się motorem do podjęcia prac mających na celu sprzyjanie cyfrowej przyszłości Europy, co znalazło odzwierciedlenie w komunikacie Komisji Europejskiej „Cyfrowy kompas na 2030 r.: europejska droga w cyfrowej dekadzie”. W tym kontekście niezwykle istotne wydaje się monitorowanie postępów krajów członkowskich w obszarze kompetencji cyfrowych. Celem artykułu jest ocena pozycji państw Unii Europejskiej w zakresie komputeryzacji i cyfryzacji w latach 2019 oraz 2021 z wykorzystaniem metody VIKOR oraz klasyfikacja krajów członkowskich ze względu na poziom analizowanego zjawiska. Wybór wskaźników wykorzystanych do badań wynikał zarówno z treści komunikatu KE, jak i tendencji obywateli UE do używania rozwiązań cyfrowych, dostrzeżonych przez innych badaczy oraz instytucje. Na ich podstawie oceniono dwadzieścia siedem państw UE w obecnym kształcie i stworzono ich rankingi stosując metodę VIKOR. Klasyfikacja krajów członkowskich do grup o podobnym poziomie komputeryzacji i rozwoju cyfrowego nastąpiła w oparciu o metodę odchyień standardowych. Uzyskane rezultaty wskazują na istotne dysproporcje między państwami Unii Europejskiej, które wraz z postępującą transformacją cyfrową powoli zanikają. Połączenie wielokryterialnej metody wspomagania decyzji wraz z metodą prowadzącą do klasyfikacji wariantów decyzyjnych stanowi skuteczne narzędzie przy ocenie tempa procesu transformacji cyfrowej wśród krajów członkowskich.

Słowa kluczowe

VIKOR, analiza wielokryterialna, komputeryzacja, społeczeństwo cyfrowe, Eurostat

Wstęp

Wraz z rozwojem technologicznym, postępującym coraz bardziej dynamicznie z roku na rok, idą w parze potrzeby modernizacji infrastruktury cyfrowej poszczególnych państw świata, chcących brać czynny udział w tym procesie. Próba dorównania krajom wyznaczającym standardy funkcjonowania w świecie cyfrowym i wiązania go ze światem rzeczywistym, takim jak Stany Zjednoczone, Korea Południowa czy Japonia, wymaga przeprowadzenia gruntownych zmian w finansowaniu odpowiednich sektorów gospodarki i kształcenia ekspertów zajmujących się infrastrukturą informatyczną.

Takie zmiany stały się konieczne w obliczu pandemii COVID-19 [<https://eur-lex.europa.eu>, 09.03.2021], która doprowadziła do uwidocznienia wyraźnych dysproporcji między państwami członkowskimi Unii Europejskiej (UE) w zakresie zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego. W wyniku wybuchu pandemii, Komisja Europejska (KE) opracowała strategię mającą na celu przyspieszenie tempa transformacji cyfrowej, prowadzącej do zwiększenia wyгоды obywateli wspólnoty europejskiej i umożliwiającej osiągnięcie suwerenności cyfrowej przez państwa zrzeszone w UE. Zasadne jest zatem zbadanie, jak ten proces postępował do momentu, gdy KE wydała swój ważny komunikat i jak wyglądała sytuacja poszczególnych krajów w chwili jego wydania.

Celem pracy jest ocena pozycji państw Unii Europejskiej pod kątem zjawiska komputeryzacji i cyfryzacji w latach 2019 oraz 2021 przy użyciu metody VIKOR (serb. *Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*) [Opricovic, 1998] na podstawie danych Europejskiego Urzędu Statystycznego (Eurostat) [<https://ec.europa.eu/eurostat>, 2019; 2021]. Wybrana wielokryterialna metoda wspomagania decyzji, przynależąca do rodziny metod wykorzystujących punkty referencyjne, pozwala na utworzenie trzech rankingów wariantów decyzyjnych poprzez wykorzystanie funkcji agregującej, a następnie wyłonienie rozwiązania kompromisowego na podstawie otrzymanych uporządkowań oraz warunków, które mają zostać spełnione przez te rankingi. Wykorzystanie tych samych wskaźników, będących kryteriami oceny krajów członkowskich, w obu rozpatrywanych latach umożliwia zbadanie tempa postępujących zmian w zakresie badanego zjawiska. Ponadto, podział państw na cztery grupy reprezentujące poziom komputeryzacji i rozwoju cyfrowego na terenie UE stanowi cenną informację o tym, jak wyraźne są różnice między krajami w obliczu zmian wywołanych pandemią koronawirusa. W odniesieniu do stanu komputeryzacji przed pojawieniem się wirusa COVID-19 na terenie Europy, wiedza dotycząca roku wydania komunikatu przez KE może być niezwykle istotna przy analizowaniu skuteczności realizowanej wizji transformacji cyfrowej

i możliwej poprawie kierunków, w których państwa członkowskie powinny podążać. Wykorzystana w niniejszym badaniu metoda VIKOR, odnalazła szereg zastosowań m.in. przy badaniu zrównoważonego rozwoju krajów UE [Piwowarski i in., 2018], czy też poszukiwaniu najlepszej uczelni wyższej [Perdana i Budiman, 2021]. Jest ona również często zamiennie stosowana lub/i porównywana z metodą pochodzącą z tej samej klasy, czyli metodą TOPSIS (ang. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) [Hwang i in., 2020].

Artykuł składa się z sześciu rozdziałów. W rozdziale pierwszym omówiono pojęcie zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego w ujęciu ogólnym oraz zgodnym z wytycznymi Komisji Europejskiej, odnosząc się również do wpływu pandemii COVID-19 na wzrost znaczenia tegoż zjawiska. Rozdział drugi zawiera metodologię badania, na którą składa się algorytm metody VIKOR oraz procedura grupowania metodą odchyłeń standardowych. W rozdziale trzecim zaprezentowano charakterystykę zbioru danych. W rozdziale czwartym wykorzystano metodę VIKOR dla wybranych wskaźników opisujących zjawisko komputeryzacji oraz rozwoju cyfrowego w latach 2019 oraz 2021, jak również dokonano oceny otrzymanych rezultatów. Rozdział piąty zawiera analizę różnic między otrzymanymi w wyniku klasyfikacji metodą odchyłeń standardowych grup krajów UE. Artykuł kończy podsumowanie.

1. Pojęcie zjawiska komputeryzacji oraz cyfryzacji

Rozwój technologiczny współczesnego świata postępuje coraz prężniej, aby zaspokoić ludzkie ambicje posiadania kontroli nad informacjami i ekspresowego przetwarzania ich w czasie rzeczywistym. Nikt nie ma wątpliwości, że obecny obraz otaczającej nas rzeczywistości byłby zupełnie inny, gdyby nie wprowadzenie Internetu do masowego użytku, a wraz z nim upowszechnienie zjawisk znanych jako komputeryzacja (ang. *computerization*) oraz cyfryzacja (ang. *digitalization*). Pierwsze z nich odnosi się do wprowadzania komputerów oraz powiązanych z nimi oprogramowań do przedsiębiorstw, urzędów czy też innych instytucji publicznych w celu zastąpienia dotychczasowych rozwiązań – rozwiązaniami cyfrowymi. Obecnie, pojęcie to zyskuje na znaczeniu ze względu na postępującą cyfryzację wielu obszarów życia stanowiących podstawę funkcjonowania nowoczesnego społeczeństwa, takich jak dokonywanie transakcji bankowych poprzez Internet, gromadzenie i przetwarzanie danych w chmurze czy też komunikowanie się poprzez media społecznościowe. Cyfryzacja jest zwykle definiowana jako adaptacja i wzrost wykorzystania technologii cyfrowych lub komputerowych przez organizacje, sektory gospodarki, kraje

[Gajewski i in, 2016, s. 12], a jego motorem napędowym są właśnie obywatele państw świata, uczestniczący czynnie i biernie w postępujących zmianach w zakresie użytkowania rozwiązań cyfrowych. Z tegoż powodu, terminem wywodzącym się z cyfryzacji jest społeczeństwo cyfrowe (ang. *digital society*) oraz gospodarka cyfrowa (ang. *digital economy*), określająca nowy model gospodarki funkcjonujący w oparciu o rozwiązania cyfrowe.

Proces transformacji cyfrowej całego świata trwa już od wielu lat, lecz jego wyraźne przyspieszenie nastąpiło dość niedawno za sprawą wybuchu pandemii COVID-19, która objęła cały świat i wymusiła na gospodarce światowej obranie nowego kierunku w celu przetrwania tego kryzysu. Wymóg przebywania w domu lub co najmniej ograniczenia kontaktu bezpośredniego do minimum sprawił, że nastąpił istotny wzrost zapotrzebowania na technologie zezwalające na pracę zdalną i kontrolę przemysłu bez potrzeby fizycznej obecności. Przyspieszenie rozwoju cyfrowego wymaga jednak posiadania wykwalifikowanej kadry w branży ICT (ang. *Information and Communication Technologies*), potrafiącej wdrożyć nowe technologie w życie i umiejącej sprawować nad nią pieczę, aby proces zmian przebiegał bez zakłóceń. Kolejnym czynnikiem, bez którego komputeryzacja i cyfryzacja nie mogą postępować płynnie, jest dostęp do nowoczesnej infrastruktury cyfrowej, stanowiącej fundament działalności firm z branży IT (ang. *Information Technology*). Tempo rozwoju cyfrowego w państwach współczesnego świata, również krajów Unii Europejskiej (UE), jest niestety zróżnicowane ze względu na wymienione powyżej aspekty, o czym świadczą wyniki ankiet przeprowadzonych przed wybuchem pandemii wirusa SARS-CoV-2. Według danych udostępnionych przez Eurostat, w roku 2019 zaledwie co czwarty obywatel UE posiadał przynajmniej podstawowe umiejętności cyfrowe, zaś w samej Polsce odsetek ten wynosił około 23 % [Eurostat, 2019]. Jeszcze mniej optymistyczny był średni procent osób zatrudnionych w sektorze ICT, który był równy 4 % na terenie UE oraz 3,2 % w Polsce [Eurostat, 2019]. Pomimo wysokiego odsetka dostępu do szerokopasmowego Internetu w skali całej wspólnoty europejskiej, wynoszącego 70,9 %, to udział takiego łącza w krajach członkowskich wahał się od 41,6 % w Grecji do 100 % na Malcie [Eurostat, 2019]. Dane te świadczyły o wyraźnych dysproporcjach wśród państw zrzeszonych w Unii Europejskiej, na co zareagowała Komisja Europejska (KE) w roku 2021, czyli rok po wybuchu pandemii COVID-19.

Reakcją na dostrzeżone wysokie zapotrzebowanie na technologie cyfrowe oraz potrzebę wykształcenia nowych specjalistów zajmujących się transformacją cyfrową było wydanie komunikatu „Cyfrowy kompas na 2030 r.: europejska droga w cyfrowej dekadzie” [<https://eur-lex.europa.eu, 09.03.2021>]. Zgodnie z treścią tego komunikatu, wszystkie państwa członkowskie zostały zobowiązane do realizacji

celu osiągnięcia suwerenności cyfrowej poprzez wspieranie procesu transformacji cyfrowej w czterech głównych kierunkach. Należały do nich potencjał cyfrowy w zakresie infrastruktury oraz edukacji i umiejętności, jak i również transformacja cyfrowa przedsiębiorstw i usług publicznych. Komisja dostrzegła potrzebę przeprowadzenia zmian w wyróżnionych kierunkach nie tylko z powodu konieczności wprowadzenia nowego trybu pracy obywateli UE, jaki został wymuszony w efekcie pojawienia się pandemii COVID-19, ale też dlatego, iż obnażyła ona nowe zjawisko, jakim jest „ubóstwo cyfrowe”. Samo pojęcie „ubóstwa cyfrowego” było już używane przed publikacją tego komunikatu i określane było jako „wykluczenie cyfrowe” [Federacja Konsumentów, 2021], co świadczy o wyraźnym problemie występującym na terenie UE. Polegał on w głównej mierze na przepaści między obszarami miejskimi o dobrej łączności a obszarami wiejskimi ze słabo funkcjonującymi łączami, jak i również między przedsiębiorstwami dobrze prosperującymi poprzez osiągnięcie pełnego stopnia cyfryzacji a tymi, które wciąż nie posiadały dostępu do nowych rozwiązań. Wizja Komisji Europejskiej na rok 2030 zakłada, że zarówno gospodarka cyfrowa, jak i społeczeństwo cyfrowe będą takimi, w których żaden podmiot ani osoba nie pozostaną w tyle względem siebie nawzajem oraz pozostałej części świata. Realizacja tej wizji, wymuszona kryzysem pandemicznym, oznacza więc wprowadzenie nowych rozwiązań prowadzących do zwiększenia kompetencji cyfrowych obywateli UE oraz zadbania o wydajne, szerokopasmowe łącze internetowe pozwalające na transfer ogromnej ilości informacji w krótkim czasie, np. do chmury obliczeniowej.

Poza wymienionymi przez KE elementami kształtującymi zjawisko komputeryzacji i rozwoju cyfrowego, można również wyróżnić wiele innych czynników, które istotnie wpływają na tempo transformacji cyfrowej współczesnego świata. Wśród nich znajduje się upowszechnienie bankowości internetowej, stanowiącej obecnie ważny fundament systemu finansowego na terenie UE. W roku poprzedzającym wybuch pandemii, aż 56,8 % osób w wieku 16 – 24 lat korzystało z tej formy zarządzania swoimi środkami pieniężnymi, a w przypadku grupy wiekowej 25 – 54 lata odsetek ten wyniósł 67 % [Madej-Kurzawa, 2020, s. 187]. Bezpośrednim powodem wzrostu popularności płatności elektronicznych były zakupy przez Internet, co było spowodowane przejściem na rynek e-commerce z powodu ograniczeń w handlu stacjonarnym nałożonych przez rządy krajów członkowskich UE. Przed pojawieniem się wirusa SARS-CoV-2 na terenie UE, zakupy przez Internet wykonywało średnio ok. 60 % obywateli tej wspólnoty, zaś zaledwie dwa lata później odsetek ten był już równy ok. 67 %, co stanowiło wzrost w stosunku do roku 2019 o 7 pp. Wartym uwagi czynnikiem związanym z cyfryzacją życia ludzkiego jest także regulowanie

spraw urzędowych poprzez Internet, co określa się mianem czynności e-administracyjnych (ang. *e-government activities*). Odsetek wykorzystania tych możliwości przez obywateli na terenie UE wyniósł w roku 2019 ok. 44%, zaś w roku 2021 r. był on równy ok. 47%. Oznacza to, że średnio ponad 50% mieszkańców krajów członkowskich nie załatwia spraw urzędowych w tej formie, pomimo podejmowanych przez instytucje państwowe działań informacyjno-promocyjnych [NIK, 2022 r.].

Dysproporcje w dostępie do infrastruktury cyfrowej na terenie Unii Europejskiej, widoczny trend w użyciu technologii cyfrowych, a także cele postawione przez Komisję Europejską w dążeniu do pełnej cyfrowej niezależności sygnalizują potrzebę monitorowania zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego.

2. Metodyka badań

Rozwiązywanie problemów decyzyjnych wymaga zwykle wykorzystania dodatkowych narzędzi prowadzących do otrzymania rankingu wariantów decyzyjnych. Pomocne wówczas stają się metody wielokryterialnej analizy decyzyjnej, stanowiące ważne i użyteczne narzędzia szeroko stosowane przy rozwiązywaniu złożonych problemów w różnych obszarach. Wśród najpopularniejszych metod znajdują się takie metody jak SAW (ang. *Simple Additive Weighing Method*) [Churchman I Ackoff, 1954, s. 172-187], SMART (ang. *Simple Multi-Attribute Ranking Technique*) [Edwards, 1971], AHP (ang. *Analitycal Hierarchy Process*) [Saaty, 1980], PROMETHEE (ang. *Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations*) [Brans, 1982], TOPSIS (ang. *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) [Hwang i Yoon, 1981] czy też VIKOR [Opricovic, 1998]. Różnią się one nie tylko podejściem do przekształcania danych w celu znalezienia rankingu wariantów, ale również kryteriami takimi jak złożoność obliczeniowa, łatwość w implementacji czy też interpretacja ostatecznych wyników. Dlatego też wybór odpowiedniej wielokryterialnej metody wspomagania decyzji jest często równie trudny jak sam problem decyzyjny.

Wyróżnić można dwie klasy metod, które są szeroko wykorzystywane przy badaniu różnych obszarów gospodarki, wliczając w to badanie rozwoju krajów UE [Piwowski i in., 2018] czy też wyborze projektów europejskich [Górecka, 2012]. Pierwszą z nich jest klasa metod opartych na relacji przewyższania, do których zalicza się m.in. metoda PROMETHEE II, która została wykorzystana w podobnym badaniu dotyczącym oceny rozwoju cyfryzacji w roku 2019 [Kozikowski i Filipowicz-Chomko, 2023]. Zastosowana metoda pozwoliła na uzyskanie całkowitego rankingu krajów UE, bez wykorzystania dodatkowych progów przewyższania czy też uwzględnienia wariantów idealnego i antyidealnego, będących elementami innych

metod z tej samej klasy, tj. ELECTRE oraz EXPROM [Trzaskalik, 2014a, s. 244-246].

Druga klasa metod wielokryterialnego wspomagania decyzji oparta jest na punktach referencyjnych, czyli ideale i antyideale. Reprezentantem tej klasy metod jest metoda VIKOR, cechująca się prostotą, zrozumiałością oraz łatwą implementacją przez decydenta, dzięki czemu jest ona stosowana w wielu problemach decyzyjnych, m.in. przy badaniu zrównoważonego rozwoju państw świata [Taşabat i Özkan, 2020] czy poszukiwaniu najlepszej uczelni wyższej [Perdana i Budiman, 2021]. Zasadniczą różnicą względem metody PROMETHEE II, ale też i innych metod opierających na punktach referencyjnych, jest liczba otrzymanych rankingów. Metoda VIKOR prowadzi do otrzymania trzech uporządkowań, z których ostatnie ma służyć do wyłonienia rozwiązania kompromisowego. W dalszej części tego rozdziału zostanie przedstawiony algorytm metody VIKOR oraz procedura klasyfikacji metodą odchyień standardowych.

2.1. Algorytm metody VIKOR

Założmy, że $A = \{a^1, a^2, \dots, a^m\}$ jest skończonym zbiorem wariantów decyzyjnych, zaś $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ stanowi zbiór maksymalizowalnych kryteriów oceny, czyli takich, których wzrost wartości oznacza wyższy poziom badanego zjawiska.

W oparciu o wartości tychże kryteriów, szukane są wartości maksymalne i minimalne każdego z badanych kryteriów w celu wyznaczenia ocen rozwiązania idealnego $f_k(a^*)$ oraz antyidealnego $f_k(a_*)$.

Następnie, w procedurze metody VIKOR obliczane są wartości dwóch parametrów: średniej ważonej odległości S_i od punktu idealnego i maksymalnej ważonej odległości R_i od tego samego punktu. Wyznaczenie tych parametrów wymaga obliczenia znormalizowanej odległości r_{ki} wariantu a^i od rozwiązania idealnego ze względu na k -te kryterium oceny ($i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, n$). Do tego celu należy się również posłużyć wagami poszczególnych kryteriów, których suma musi być równa jedności. Uzyskane parametry R_i i S_i oznaczają, odpowiednio, miarę użyteczności (ang. *utility measure*) oraz miarę sprzeciwu (ang. *regret measure*). Ich wartości powinny być jak najniższe, aby i -ty wariant decyzyjny w rozpatrywanym problemie był jak najbliższy rozwiązaniu idealnemu [Taşabat i Özkan, 2020].

W kolejnym kroku procedury metody VIKOR dokonuje się obliczenia wartości kompleksowego wskaźnika Q_i , będącego podstawą do wyznaczenia rankingu wykorzystywanego do wskazania rozwiązania kompromisowego. Wskaźnik ten obliczany jest za pomocą wartości parametrów otrzymanych w poprzednim etapie, czyli S_i oraz R_i , odpowiadających wybranemu wariantowi decyzyjnemu, a także stosując

współczynnik q , znany w literaturze jako miara wagi syntetycznej, bądź waga wielkości kryteriów [Mikutel, 2014]. Zmieniając jego wartość, ograniczoną do przedziału $[0, 1]$, można balansować pomiędzy odległością średnią a maksymalną od rozwiązania idealnego, gdzie $q = 0$ oznacza sytuację, w której uwzględnione są wyłącznie wartości średniej odległości, zaś $q = 1$ reprezentuje sytuację, gdy jedynie odległość maksymalna jest brana pod uwagę przez decydenta. Standardowo przyjmowaną wartością tego współczynnika jest $q = 0,5$, co oznacza sytuację pośrednią do omówionych powyżej [Trzaskalik, 2014b, s. 131].

Po wyznaczeniu wartości wcześniej wspomnianego wskaźnika otrzymuje się uszeregowanie wariantów zgodnie z odpowiadającymi im wartościami parametrów Q_i , R_i oraz S_i w kolejności rosnącej. Wówczas uzyskuje się trzy rankingi, odpowiednio, Q , R i S , dla których im mniejsza jest wartość odpowiedniego wskaźnika, tym wyższa jest pozycja danego wariantu decyzyjnego. Spośród wszystkich otrzymanych rankingów, najistotniejszym jest ranking Q , gdyż prowadzi on do wyłonienia rozwiązania kompromisowego zajmującego w nim najwyższe miejsce, jeżeli spełnione zostaną dwa określone warunki. Są nimi warunek akceptowalnej przewagi oraz akceptowalnej stabilności decyzji. Pierwszy z nich związany jest z różnicą między wartością wskaźnika $Q(a'')$ dla drugiego wariantu w rankingu Q a wartością $Q(a')$ dla pierwszego wariantu. Badana różnica ma być nie mniejsza niż odwrotność liczby wariantów pomniejszonej o jeden. Akceptowalna stabilność decyzji polega zaś na tym, że wariant a' powinien być najlepszy również w rankingach R i S .

W zależności od spełnienia powyższych warunków, można wyróżnić trzy następujące przypadki wyznaczania rozwiązań kompromisowych. W przypadku, gdy oba warunki są spełnione, jako rozwiązanie kompromisowe wybiera się wariant pierwszy we wszystkich rankingach. Jeśli jeden z warunków nie jest spełniony, wówczas decydent wyróżnia warianty a' i a'' jako rozwiązania kompromisowe. Ostatnim przypadkiem spośród możliwych do rozpatrzenia jest niespełnienie obu warunków, co prowadzi do wybierania kolejnych wariantów a' , a'' , ..., $a^{(p)}$ aż do momentu, gdy warunek akceptowalnej przewagi dla p -tego wariantu decyzyjnego w rankingu Q zostanie spełniony.

Etapy algorytmu metody VIKOR zostały zaprezentowane na rysunku 1.

ETAP 1. Określenie skończonego zbioru wariantów decyzyjnych: $A = \{a^1, a^2, \dots, a^m\}$ oraz skończonego zbioru kryteriów decyzyjnych: $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$.
ETAP 2 Przyjęcie danych wag kryteriów oceny w_k: $\sum_{k=1}^n w_k = 1$ dla $k = 1, 2, \dots, n$.
ETAP 3 Określenie wartości największych (punkt idealny) $f_k(a^*)$ i najmniejszych (punkt antyidealny) $f_k(a_-)$ dla wszystkich kryteriów oceny: $f_k(a^*) = \max_{a^i \in A} f_k(a^i), f_k(a_-) = \min_{a^i \in A} f_k(a^i) \text{ dla } k = 1, 2, \dots, n.$
ETAP 4 Obliczenie wartości parametrów S_i i R_i oraz r_{ki} dla każdego wariantu decyzyjnego: $S_i = \sum_{k=1}^n w_k r_{ki}, R_i = \max_k \{w_k r_{ki}\}, r_{ki} = \frac{ f_k(a^*) - f_k(a^i) }{ f_k(a^*) - f_k(a_-) }$ dla $k = 1, 2, \dots, n, i = 1, 2, \dots, m$.
ETAP 5 Obliczenie wartości wskaźnika Q_i dla każdego wariantu decyzyjnego: $Q_i = q \cdot \frac{S_i - S^+}{S^- - S^+} + (1 - q) \cdot \frac{R_i - R^+}{R^- - R^+}$ gdzie $S^+ = \min_i S_i, S^- = \max_i S_i, R^+ = \min_i R_i, R^- = \max_i R_i$.
ETAP 6 Utworzenie rankingów Q, R i S na podstawie uszeregowanych wariantów zgodnie ze wzrastającymi wartościami parametrów Q_i, R_i oraz S_i.
ETAP 7 Sprawdzenie warunków: <u>akceptowalnej przewagi</u>: $Q(a'') - Q(a') \geq DQ$, gdzie a'' jest drugim w kolejności wariantem w rankingu Q, a' jest pierwszym w kolejności wariantem w rankingu Q oraz $DQ = \frac{1}{m-1}$, <u>akceptowalnej stabilności decyzji</u>, według którego wariant a' powinien być również najlepszy w rankingach R i S.
ETAP 8 Podjęcie decyzji w oparciu o spełnienie określonych poprzednio warunków: Jeżeli obydwa warunki są spełnione, rozwiązaniem kompromisowym staje się wariant a'. Jeżeli spełniony jest wyłącznie jeden z warunków, rozwiązaniami kompromisowymi stają się obydwa warianty a' i a''. Jeżeli żaden z warunków nie jest spełniony, rozwiązaniami kompromisowymi stają się kolejne warianty $a', a'', \dots, a^{(p)}$ z rankingu Q, dopóki nie spełniony zostanie pierwszy warunek dla p-tego wariantu.

Rys. 1. Algorytm metody VIKOR

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Trzaskalik, 2014b, s. 130 – 131; Mikutel, 2014].

2.2. Grupowanie metodą odchyłeń standardowych

Metoda odchyłeń standardowych umożliwia klasyfikację wariantów w oparciu o badanie odchyłeń wartości zmiennej zagregowanej (w przypadku tej pracy wartości wskaźnika Q_i otrzymanego w etapie 5 algorytmu metody VIKOR) od średniej wartości tej zmiennej [Panek, 2009, s. 114]. W odróżnieniu od metod wielokryterialnych, w których rankingi powstają w wyniku porządkowania wartości wspomnianej zmiennej malejąco, wartości prowadzące do uzyskania rankingu Q są sortowane rosnąco. Z tego powodu przed zastosowaniem procedury grupowania należy dokonać stymulacji [Panek, 2009, s. 36] wskaźnika Q_i .

Stymulacja może być dokonywana według różnych przekształceń, wśród których wyróżniamy przekształcenie ilorazowe oraz różnicowe. Na potrzeby tej pracy wykorzystano drugie z przekształceń, które opisane jest następującym wzorem:

$$Q_i^* = a - b \cdot Q_i$$

gdzie a – stała przyjmowana w sposób arbitralny (w tym przypadku $a = \max_i\{Q_i\}$), b – stała dodatnia przyjmowana arbitralnie (w tym przypadku $b = 1$), $i = 1, 2, \dots, m$.

Wówczas, każdy z wariantów przyporządkowywany jest do jednej z czterech grup w następujący sposób:

- Grupa 1: $Q_i^* \in [\overline{Q^*} + S(Q^*); \max_i\{Q_i^*\}]$,
- Grupa 2: $Q_i^* \in [\overline{Q^*}; \overline{Q^*} + S(Q^*)]$,
- Grupa 3: $Q_i^* \in [\overline{Q^*} - S(Q^*); \overline{Q^*}]$,
- Grupa 4: $Q_i^* \in [\min_i\{Q_i^*\}; \overline{Q^*} - S(Q^*)]$.

gdzie Q_i^* oznacza wartość wskaźnika Q_i po stymulacji, zaś $\overline{Q^*}$ i $S(Q^*)$ oznaczają, odpowiednio, średnią wartość parametru Q_i^* oraz odchylenie standardowe nieobciążone tegoż wskaźnika.

Warianty przyporządkowane do Grupy 1 cechują się wysokim poziomem badanego zjawiska, zaś te, które znalazły się w Grupach 2 i 3 charakteryzują się, odpowiednio, średnio wysokim i średnio niskim poziomem tegoż zjawiska. Warianty, które trafiły do Grupy 4 natomiast reprezentują niski poziom badanego zjawiska.

3. Charakterystyka analizowanych danych

W celu dokonania oceny krajów Unii Europejskiej pod kątem zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego w wybranych latach, wykorzystano dane zebrane i udostępnione przez Europejski Urząd Statystyczny (Eurostat) w latach 2019 i 2021 [https://ec.europa.eu/eurostat, 2019; 2021]. Badanie zrealizowano w oparciu o sześć

wskaźników z obszaru cyfrowej gospodarki i społeczeństwa (ang. *digital economy and society*) (Tab. 1), zgodnie z wytycznymi Komisji Europejskiej na rok 2030.

Tab. 1. Wskaźniki wykorzystane przy badaniu zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego w latach 2019 i 2021

Nazwa wskaźnika w języku angielskim	Nazwa wskaźnika w języku polskim	Przyjęte oznaczenie	Jednostka
Broadband internet coverage by speed (over 100 Mb/s)	Występowanie łącza szerokopasmowego pod względem prędkości (powyżej 100 Mb/s) [w gospodarstwach domowych]	f_1	% wszystkich gospodarstw domowych
Employed ICT specialists - total	Zatrudnienie w sektorze ICT ogółem	f_2	% wszystkich osób zatrudnionych
Financial activities over the internet	Czynności finansowe wykonywane przez Internet	f_3	% osób wykonujących te czynności
E-government activities of individuals via websites	E-urzędowe czynności wykonane przez osoby fizyczne poprzez strony internetowe	f_4	% osób wykonujących te czynności
Internet purchases by individuals	Zakupy internetowe osób fizycznych	f_5	% osób kupujących przez Internet
Individuals' level of digital skills	Poziom umiejętności cyfrowych osób fizycznych	f_6	% osób posiadających podstawowe umiejętności cyfrowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Eurostat, 2019; 2021].

Dobór wskaźników przyjętych do badania wiązał się ze spełnieniem odpowiednich własności statystycznych, takich jak uniwersalność, porównywalność, słabe skorelowanie zmiennych ze sobą (odrzućeniu tych, dla których współczynniki na głównej przekątnej macierzy odwrotnej są większe od 10) [Malina, Zeliaś, 1997] i odpowiednie zróżnicowanie (współczynnik zmienności większy od 10 %) [Młodak, Józefowski, Wawrowski, 2016]. Istotnym czynnikiem wpływającym na wybór wskaźników była również dostępność i kompletność danych, co doprowadziło do zmniejszenia liczby wskaźników o jeden względem badania [Kozikowski, Filipowicz-Chomko, 2023], czyli wskaźnik dotyczący użycia usług w chmurze, którego najaktualniejsze wartości pochodzą wyłącznie z 2020 r.

Charakterystyki zebranych danych przedstawiają tabele 2 – 3.

Tab. 2. Charakterystyki opisowe wskaźników (kryteriów) $f_1 - f_6$ na rok 2019

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
Średnia	73,663	4,133	17,587	48,577	46,213	23,886
Odchylenie standardowe	16,256	1,273	14,245	19,233	16,155	4,548
Współczynnik zmienności	22,067	30,807	81,000	39,592	34,958	19,042

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 3. Charakterystyki opisowe wskaźników (kryteriów) $f_1 - f_6$ na rok 2021

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
Średnia	84,096	4,756	15,050	55,547	57,027	28,504
Odchylenie standardowe	11,906	1,370	9,424	19,239	15,683	3,680
Współczynnik zmienności	14,158	28,811	62,615	34,636	27,501	12,910

Źródło: opracowanie własne.

Analizując wartości współczynnika zmienności, zastosowanego do weryfikacji statystycznej wybranych wskaźników, można dostrzec wyraźny spadek poziomu zmienności tych zmiennych między latami 2019 i 2021, co stanowi podstawę do podejrzeń, iż postęp transformacji cyfrowej na terenie UE w określonych w komunikacie KE kierunkach jest znaczący, zaś zróżnicowanie państw pod względem wyróżnionych czynników – maleje. W większości przypadków średnie wartości wskaźników w roku 2021 wzrosły, zaś odchylenia standardowe zmalały, co też przełożyło się na niższe wartości współczynników zmienności. Wyjątkami są wskaźnik drugi f_2 , dotyczący zatrudnienia w sektorze ICT, którego średnia wzrosła względem roku 2019, lecz równocześnie wzrosło też nieznacznie odchylenie standardowe, oraz wskaźnik trzeci odnoszący się do wykonywania czynności finansowych przez Internet. Analogicznie do roku 2019, cechuje się on wciąż najwyższą wartością współczynnika zmienności, ale sam poziom zróżnicowania spadł o prawie 19 pp., a zatem użycie tej formy bankowości zaczyna być tak samo popularne we wszystkich państwach wspólnoty europejskiej.

Dodatkowo, wartości przyjętych wskaźników, które przy ocenie pozycji krajów Unii Europejskiej przyjmują nazwę ocen wariantów decyzyjnych, zostały poddane normalizacji liniowej (Tab. 4 – 5) opartej na maksimum, przy wykorzystaniu do tego celu poniższego wzoru:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i \{x_{ij}\}},$$

gdzie x_{ij} jest wartością i -tego wariantu (i -tego państwa UE) ze względu na j -te kryterium oceny (wskaźnik), dla $i = 1, 2, \dots, 27$, $j = 1, 2, \dots, 6$. Kolejność wariantów w poniższych tabelach wynika z porządku zastosowanego przez Europejski Urząd Statystyczny w ramach dostępnych zbiorów danych.

Tab. 4. Znormalizowane wartości kryteriów ocen (państw UE) ze względu na $f_1 - f_6$ na rok 2019

Wariant (a^i)		Kryteria					
Oznaczenie	Państwo	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
a^1	Belgia	0,965	0,714	0,238	0,505	0,739	0,734
a^2	Bułgaria	0,680	0,443	0,078	0,222	0,190	0,499
a^3	Czechy	0,750	0,571	0,313	0,576	0,576	1,000
a^4	Dania	0,943	0,729	0,501	1,000	1,000	0,591
a^5	Niemcy	0,818	0,571	0,419	0,644	0,961	0,863
a^6	Estonia	0,743	0,829	1,000	0,770	0,762	0,676
a^7	Irlandia	0,691	0,700	0,796	0,519	0,801	0,530
a^8	Grecja	0,416	0,286	0,106	0,552	0,439	0,749
a^9	Hiszpania	0,890	0,529	0,216	0,546	0,635	0,582
a^{10}	Francja	0,503	0,600	0,236	0,536	0,784	0,727
a^{11}	Chorwacja	0,436	0,457	0,102	0,328	0,473	0,496
a^{12}	Włochy	0,610	0,500	0,168	0,213	0,381	0,537
a^{13}	Cypr	0,710	0,386	0,064	0,540	0,421	0,545
a^{14}	Łotwa	0,896	0,429	0,602	0,645	0,458	0,510
a^{15}	Litwa	0,612	0,443	0,393	0,551	0,513	0,657
a^{16}	Luksemburg	0,946	0,871	0,270	0,361	0,849	0,794
a^{17}	Węgry	0,790	0,486	0,223	0,560	0,474	0,642
a^{18}	Malta	1	0,657	0,275	0,475	0,671	0,484
a^{19}	Holandia	0,958	0,800	0,860	0,846	0,946	0,821
a^{20}	Austria	0,652	0,614	0,175	0,665	0,737	0,725
a^{21}	Polska	0,513	0,443	0,131	0,278	0,560	0,638
a^{22}	Portugalia	0,766	0,500	0,199	0,389	0,382	0,542
a^{23}	Rumunia	0,777	0,329	0,042	0,097	0,197	0,569
a^{24}	Słowenia	0,809	0,557	0,163	0,503	0,606	0,663
a^{25}	Słowacja	0,573	0,529	0,209	0,528	0,633	0,738
a^{26}	Finlandia	0,62	0,971	0,793	0,935	0,747	0,727
a^{27}	Szwecja	0,822	1,000	0,999	0,880	0,951	0,727

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 5. Znormalizowane wartości kryteriów ocen (państw UE) ze względu na $f_1 - f_6$ na rok 2021

Wariant (a^i)		Kryteria					
Oznaczenie	Państwo	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
a^1	Belgia	0,972	0,700	0,325	0,646	0,794	0,783
a^2	Bułgaria	0,894	0,438	0,089	0,211	0,235	0,656
a^3	Czechy	0,892	0,575	0,243	0,640	0,754	1,000
a^4	Dania	0,963	0,700	0,889	1,000	0,991	0,878
a^5	Niemcy	0,896	0,613	0,356	0,511	0,829	0,844
a^6	Estonia	0,835	0,775	0,961	0,759	0,741	0,805
a^7	Irlandia	0,877	0,788	0,700	0,744	0,947	0,864
a^8	Grecja	0,546	0,300	0,299	0,577	0,562	0,864
a^9	Hiszpania	0,938	0,513	0,393	0,619	0,663	0,733
a^{10}	Francja	0,653	0,563	0,287	0,568	0,788	0,862
a^{11}	Chorwacja	0,621	0,450	0,177	0,469	0,549	0,903
a^{12}	Włochy	0,776	0,475	0,329	0,289	0,478	0,648
a^{13}	Cypr	0,829	0,488	0,260	0,617	0,526	0,821
a^{14}	Łotwa	0,907	0,475	0,994	0,748	0,607	0,758
a^{15}	Litwa	0,781	0,475	0,469	0,627	0,607	0,725
a^{16}	Luksemburg	0,994	0,838	0,520	0,534	0,838	0,898
a^{17}	Węgry	0,887	0,488	0,233	0,796	0,692	0,774
a^{18}	Malta	1,000	0,588	0,340	0,565	0,685	0,722
a^{19}	Holandia	0,985	0,838	0,903	0,904	1,000	0,763
a^{20}	Austria	0,828	0,563	0,363	0,692	0,650	0,843
a^{21}	Polska	0,692	0,438	0,171	0,324	0,580	0,625
a^{22}	Portugalia	0,928	0,588	0,348	0,461	0,486	0,751
a^{23}	Rumunia	0,886	0,325	0,063	0,119	0,277	0,536
a^{24}	Słowenia	0,855	0,600	0,507	0,671	0,707	0,841
a^{25}	Słowacja	0,754	0,538	0,301	0,572	0,830	0,964
a^{26}	Finlandia	0,650	0,925	1,000	0,947	0,744	0,871
a^{27}	Szwecja	0,867	1,000	0,920	0,943	0,935	0,868

Źródło: opracowanie własne.

4. Ocena pozycji krajów UE pod kątem rozwoju komputeryzacji i cyfryzacji

Metoda VIKOR, której algorytm został zaprezentowany w rozdziale 2.1 (rys. 1), została zaimplementowana i zastosowana w celu oceny pozycji dwudziestu siedmiu krajów UE ($a^1, \dots, a^{27}$) w obszarze komputeryzacji i rozwoju cyfrowego według

sześciu kryteriów ($f_1, \dots, f_6$) (tab. 1 – 2) w latach 2019 i 2021. Każde z uwzględnionych kryteriów było maksymalizowalne, zgodnie z założeniami wykorzystanej metody wielokryterialnej. Na potrzeby badania przyjęto, że wszystkie kryteria oceny są tak samo istotne, zatem zastosowano równe wagi $w_k = \frac{1}{6}$ ($k = 1, 2, \dots, 6$) w przypadku obu rozważanych lat.

Zgodnie z etapem 3 procedury VIKOR, określono punkt idealny $f_k(a^*)$ i antyidealny $f_k(a_*)$ poprzez znalezienie wartości maksymalnych i minimalnych dla wszystkich kryteriów oceny f_k ($k = 1, 2, \dots, 6$). W celu porównywalności wyników zdecydowano się na wyznaczenie wspólnego dla obu lat punktu idealnego i punktu antyidealnego. Ich wartości są zawarte w tabeli 6.

Tab. 6. Punkt idealny i antyidealny dla lat 2019 i 2021

k	1	2	3	4	5	6
$f_k(a^*)$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
$f_k(a_*)$	0,416	0,286	0,042	0,097	0,190	0,484

Źródło: opracowanie własne.

Tak wyznaczone punkty zostały wykorzystane do wyznaczenia znormalizowanej odległości r_{ki} od rozwiązania idealnego, a następnie do obliczenia wartości parametrów S_i i R_i (etap 4). Etap 5 sprowadzał się do obliczenia wskaźnika Q_i , co w rezultacie pozwoliło na otrzymanie wszystkich niezbędnych parametrów do uporządkowania wariantów decyzyjnych (krajów UE) w porządku rosnącym. Rankingi Q , R oraz S zostały przedstawione w tabelach 7 – 8.

Tab. 7. Rankingi krajów UE w 2019 r. otrzymane metodą VIKOR

Ranking Q			Ranking R			Ranking S		
Kraj	Q_i	Miejsce	Kraj	R_i	Miejsce	Kraj	S_i	Miejsce
Holandia	0,007	1	Holandia	0,058	1	Szwecja	0,171	1
Szwecja	0,140	2	Szwecja	0,088	2	Holandia	0,180	2
Estonia	0,315	3	Niemcy	0,101	3	Dania	0,298	3
Finlandia	0,329	4	Estonia	0,105	4	Finlandia	0,303	4
Niemcy	0,344	5	Finlandia	0,108	5	Estonia	0,309	5
Dania	0,433	6	Czechy	0,119	6	Niemcy	0,371	6
Luksemburg	0,476	7	Luksemburg	0,127	7	Luksemburg	0,388	7
Czechy	0,491	8	Litwa	0,130	8	Belgia	0,440	8
Belgia	0,539	9	Dania	0,132	9	Czechy	0,456	9
Hiszpania	0,652	10	Belgia	0,133	10	Irlandia	0,475	10
Irlandia	0,653	11	Węgry	0,135	11	Malta	0,537	11
Austria	0,661	12	Hiszpania	0,136	12	Austria	0,538	12
Litwa	0,673	13	Słowacja	0,138	13	Łotwa	0,567	13
Węgry	0,682	14	Francja	0,142	14	Hiszpania	0,572	14
Francja	0,688	15	Austria	0,144	15	Słowenia	0,585	15
Słowacja	0,691	16	Słowenia	0,146	16	Francja	0,586	16
Słowenia	0,705	17	Portugalia	0,148	17	Słowacja	0,617	17
Łotwa	0,750	18	Włochy	0,150	18	Węgry	0,620	18
Malta	0,767	19	Polska	0,151	19	Litwa	0,640	19
Portugalia	0,807	20	Irlandia	0,152	20	Portugalia	0,711	20
Polska	0,857	21	Łotwa	0,158	21	Cypr	0,740	21
Włochy	0,875	22	Chorwacja	0,163	22	Polska	0,761	22
Cypr	0,896	23	Cypr	0,163	23	Grecja	0,768	23
Grecja	0,934	24	Malta	0,167	24	Włochy	0,795	24
Chorwacja	0,968	25	Grecja	0,167	25	Chorwacja	0,839	25
Bułgaria	0,997	26	Bułgaria	0,167	26	Bułgaria	0,854	26
Rumunia	1,000	27	Rumunia	0,167	27	Rumunia	0,858	27

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 8. Rankingi krajów UE w 2021 r. otrzymane metodą VIKOR

Ranking Q			Ranking R			Ranking S		
Kraj	Q_i	Miejsce	Kraj	R_i	Miejsce	Kraj	S_i	Miejsce
Szwecja	0,000	1	Szwecja	0,043	1	Szwecja	0,118	1
Irlandia	0,126	2	Irlandia	0,052	2	Dania	0,141	2
Dania	0,130	3	Estonia	0,063	3	Holandia	0,154	3
Holandia	0,166	4	Dania	0,070	4	Finlandia	0,221	4
Estonia	0,190	5	Holandia	0,077	5	Irlandia	0,239	5
Luksemburg	0,293	6	Luksemburg	0,086	6	Estonia	0,267	6
Finlandia	0,311	7	Słowenia	0,093	7	Luksemburg	0,276	7
Słowenia	0,407	8	Finlandia	0,100	8	Łotwa	0,356	8
Belgia	0,492	9	Austria	0,111	9	Belgia	0,373	9
Niemcy	0,495	10	Niemcy	0,112	10	Czechy	0,379	10
Łotwa	0,501	11	Portugalia	0,113	11	Słowenia	0,393	11
Austria	0,514	12	Hiszpania	0,114	12	Niemcy	0,408	12
Malta	0,534	13	Malta	0,115	13	Słowacja	0,425	13
Hiszpania	0,542	14	Belgia	0,117	14	Austria	0,441	14
Słowacja	0,547	15	Słowacja	0,121	15	Malta	0,446	15
Czechy	0,556	16	Łotwa	0,123	16	Węgry	0,459	16
Portugalia	0,578	17	Litwa	0,123	17	Hiszpania	0,463	17
Francja	0,606	18	Francja	0,124	18	Francja	0,493	18
Litwa	0,616	19	Cypr	0,129	19	Litwa	0,516	19
Węgry	0,621	20	Włochy	0,131	20	Portugalia	0,516	20
Cypr	0,647	21	Czechy	0,132	21	Cypr	0,523	21
Włochy	0,753	22	Węgry	0,133	22	Chorwacja	0,602	22
Chorwacja	0,763	23	Chorwacja	0,143	23	Grecja	0,627	23
Polska	0,835	24	Polska	0,144	24	Włochy	0,655	24
Grecja	0,866	25	Bułgaria	0,158	25	Polska	0,695	25
Bułgaria	0,922	26	Rumunia	0,163	26	Bułgaria	0,734	26
Rumunia	0,998	27	Grecja	0,163	27	Rumunia	0,814	27

Źródło: opracowanie własne.

W etapie 7 sprawdzono warunki prowadzące do wyłonienia rozwiązania kompromisowego w oparciu o wcześniej wyznaczone rankingi państw członkowskich

Unii Europejskiej. Uporządkowania tychże państw w roku 2019 nie spełniły warunku akceptowalnej stabilności decyzji, gdyż zaburzył go ranking S ze względu na obecność Szwecji na pierwszym miejscu zamiast Holandii, tak jak w pozostałych rankingach, a zatem oba te państwa, odpowiednio, wariant 27 i 19, zostały wybrane jako rozwiązania kompromisowe. W przypadku roku 2021, wszystkie warunki zostały spełnione, zatem państwem stanowiącym rozwiązanie kompromisowe była Szwecja.

Dalsza interpretacja przeprowadzonych obliczeń została ograniczona do analizy wskaźnika Q_i . W oparciu o wartości parametru Q_i , zarówno w roku 2019, jak i 2021 występowały dysproporcje między badanymi państwami. Wartości te mieściły się w przedziałach $[0,007; 1,000]$ dla roku 2019 oraz $[0; 0,998]$ dla roku 2021. Najwyższą lokatę przed wybuchem pandemii COVID-19 zanotowała Holandia, zaś w roku wydania komunikatu KE – Szwecja, będąca poprzednio na drugim miejscu. Bardzo wysoki poziom komputeryzacji i rozwoju cyfrowego reprezentowały również takie kraje jak Estonia (trzecie miejsce), Finlandia (czwarte miejsce) oraz Niemcy i Dania (piąte i szóste miejsce) w roku 2019, zaś dwa lata później wśród pierwszych pięciu państw pojawiła się Irlandia (druga pozycja), podczas gdy Dania zastąpiła Estonię na pozycji trzeciej, a Niemcy spadły aż na pozycję dziesiątą. Umiejscowienie Polski w obu rankingach również uległo zmianie, z pozycji 21 w roku 2019 na pozycji 24 w roku 2021.

Aby dokonać pełnego porównania otrzymanych rankingów Q , wykorzystano korelację nieparametryczną rho Spearmana, której współczynnik był istotny statystycznie przy założeniu, że poziom ufności $\alpha = 0,05$ i wskazywał na wystąpienie wysokiego stopnia współzależności rang pomiędzy dwoma rozpatrywanymi rankingami krajów UE (Tab. 9).

Tab. 9. Macierz korelacji rang rho Spearmana dla rankingów Q otrzymanych metodą VIKOR dla lat 2019 i 2021

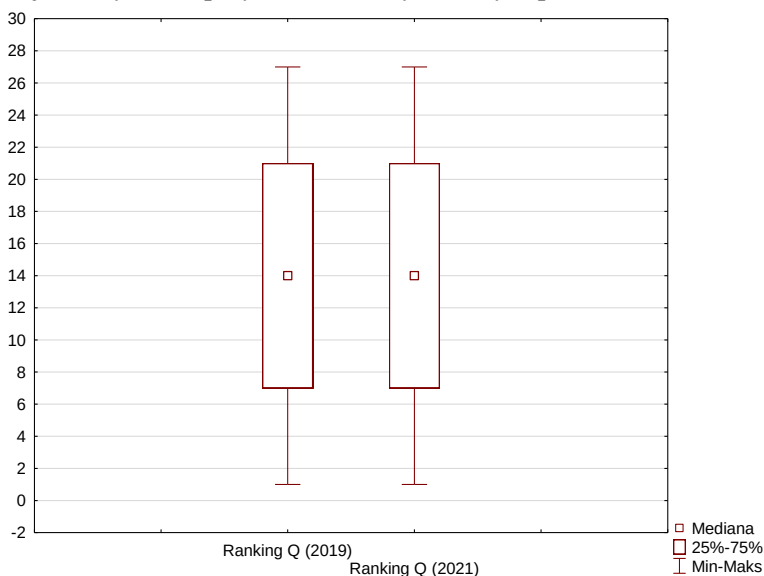
Rok rankingu	2019 r.	2021 r.
2019 r.	1,000	0,849*
2021 r.	0,849*	1,000

* $p < 0,05$

Źródło: opracowanie własne.

Wykonano również nieparametryczny test kolejności par Wilcozona, mający na celu zbadanie, czy istnieją różnice w medianach rang przypisanych poszczególnym krajom w rankingach otrzymanych metodą VIKOR w latach 2019 i 2021. Statystyka tego testu ($Z \approx 0,227$) nie znalazła się w obszarze krytycznym ($p \approx 0,820$),

wskazując na brak statystycznie istotnych różnic w rankingach. Potwierdził to również wykres ramka-wąsy, widoczny na rysunku 2, na którym mediany rang obu rankingów znajdowały się w przybliżeniu na tym samym poziomie.

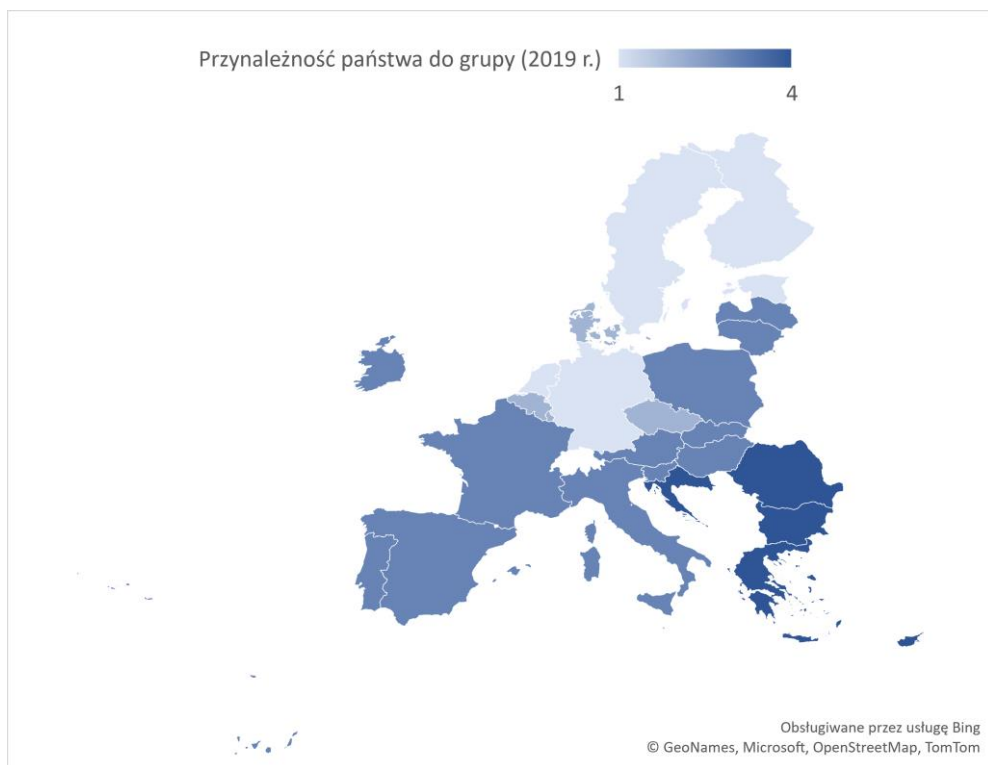


Rys. 2. Wykres ramka-wąsy dla rankingów Q otrzymanych dla lat 2019 i 2021

Źródło: opracowanie własne.

5. Analiza poziomu zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego w grupach państw członkowskich

Obliczone wartości wskaźnika Q_i posłużyły do przeprowadzenia głębszej analizy poziomu zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego w krajach UE poprzez dokonanie klasyfikacji państw do czterech grup, wykorzystując do tego celu metodę odchyłeń standardowych. Zgodnie z formułą przedstawioną w podrozdziale 2.2, dokonano stymulacji wskaźnika Q_i . Przekształcony wskaźnik Q_i^* stał się podstawą przyporządkowania krajów członkowskich do różnych klas typologicznych, zarówno dla roku 2019 (Rys. 3), jak i roku 2021 (Rys. 4).

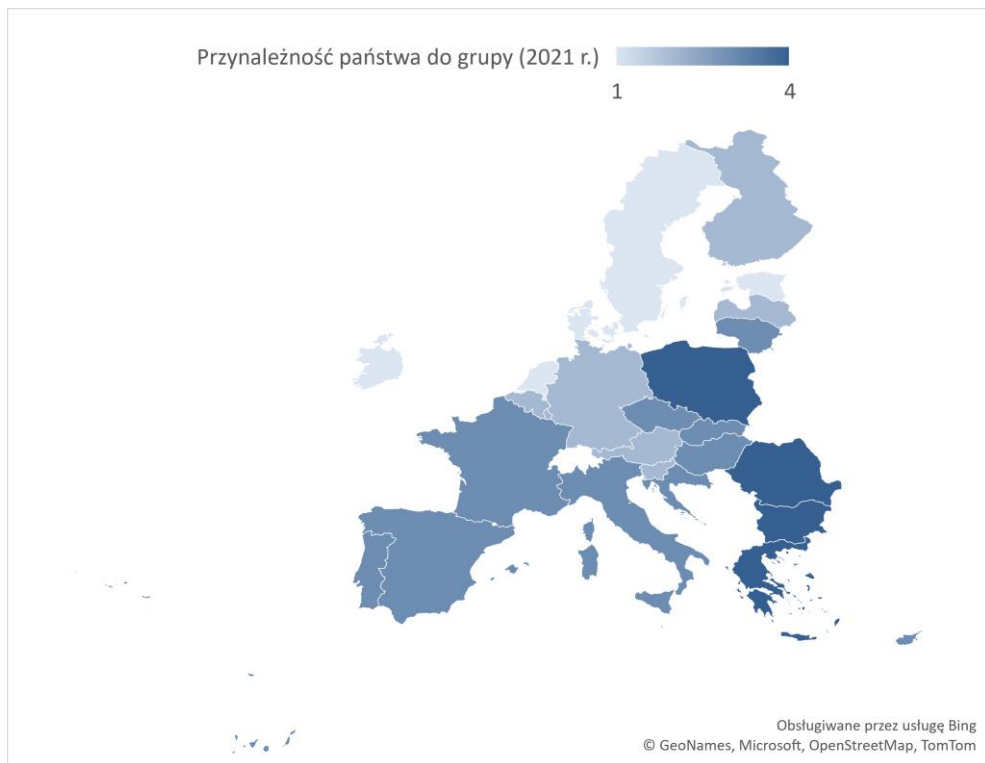


Oznaczenia:

1 – bardzo wysoki poziom zjawiska, **2** – średnio wysoki poziom zjawiska, **3** – średnio niski poziom zjawiska, **4** – bardzo niski poziom zjawiska

Rys. 3. Grupowanie państw UE metodą odchyłeń standardowych ze względu na poziom komputeryzacji i rozwoju cyfrowego w roku 2019

Źródło: opracowanie własne.



Oznaczenia:

1 – bardzo wysoki poziom zjawiska, 2 – średnio wysoki poziom zjawiska, 3 – średnio niski poziom zjawiska, 4 – bardzo niski poziom zjawiska

Rys. 4. Grupowanie państw UE metodą odchyłeń standardowych ze względu na poziom komputeryzacji i rozwoju cyfrowego w roku 2021

Źródło: opracowanie własne.

W obu rozpatrywanych latach, grupa 1, cechująca się najwyższym poziomem w obszarze komputeryzacji i rozwoju cyfrowego, zawierała pięć krajów, z których trzy zajmowały w niej stałe miejsce, czyli Szwecja, Holandia i Estonia. Obecność ostatniego z wymienionych państw nie jest zaskoczeniem, gdyż jest ono liderem wśród państw europejskich pod kątem rozwoju infrastruktury cyfrowej oraz edukacji w dziedzinie ICT [Spendel, 2016, s. 76 – 77; NASK, 2022]. Poszerzeniu o dodatkowe państwa uległy grupy 2 i 3, do których dołączyły takie kraje jak Chorwacja czy Cypr, wcześniej przynależące do grupy o bardzo niskim poziomie badanego zjawiska. Nastąpił też spadek do klas o niższym poziomie komputeryzacji i cyfryzacji niektórych państw członkowskich, np. Finlandii i Niemiec do grupy 2,

Czech do grupy 3 i Polski do grupy 4, co może świadczyć o wolniejszym tempie transformacji cyfrowej względem pozostałych państw realizujących założenia przedstawione przez KE. Zaskakującą obserwacją, biorąc pod uwagę wysokość dofinansowania, jakie otrzymują państwa, które najpóźniej dołączyły do Unii Europejskiej, jest fakt, iż kraje te cechują się podobnym poziomem zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego, co kraje założycielskie UE, mimo znacznie gorszej sytuacji gospodarczej przed wstąpieniem do wspólnoty. Sytuację tę można interpretować niejednoznacznie, gdyż część z państw wstępujących do Unii zaledwie 20 lat temu i mniej odniosła ogromny sukces we wprowadzaniu technologii cyfrowych i dopasowywaniu się do nowoczesnych standardów, zaś inne kraje wciąż znajdują się w gronie tych cechujących się niskim poziomem komputeryzacji i cyfryzacji. Szerokość klas typologicznych sugeruje jednak, że postępująca transformacja cyfrowa rzeczywiście prowadzi do coraz mniejszych dysproporcji na terenie UE.

Kolejnym etapem analizy poziomu badanego zjawiska było wyznaczenie średnich wartości każdego z rozpatrywanych kryteriów oceny ($f_1 - f_6$) oraz wartości testu Kruskala-Wallisa (K-W), zestawionych w tabelach 10 – 11. Statystycznie istotne różnice między uzyskanymi grupami krajów UE oznaczone zostały gwiazdką, przyjmując jako poziom istotności $\alpha = 0,05$.

Tab. 10. Średnie wartości kryteriów oceny w grupach oraz wartości testu Kruskala-Wallisa dla roku 2019

Kryterium / Grupa	1	2	3	4	K-W
f_1	79,220	90,100	71,577	60,380	7,550
f_2	5,840	5,050	3,762	2,660	18,195*
f_3	40,394	16,385	14,452	3,890	18,760*
f_4	72,900	54,613	44,084	31,108	11,018*
f_5	64,542	58,443	43,394	25,434	16,234*
f_6	27,692	28,310	22,267	20,750	10,598*

* $p < 0,05$

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 11. Średnie wartości kryteriów oceny w grupach oraz wartości testu Kruskala-Wallisa dla roku 2021

Kryterium / Grupa	1	2	3	4	K-W
f_1	90,540	87,171	82,355	75,450	2,753
f_2	6,560	5,386	4,173	3,000	19,009*
f_3	28,560	18,973	10,038	5,083	18,347*

Kryterium / Grupa	1	2	3	4	K-W
f_4	78,810	61,457	51,267	27,893	14,695*
f_5	76,818	61,477	53,419	34,423	14,910*
f_6	29,772	29,714	28,839	23,878	5,167

* $p < 0,05$

Źródło: opracowanie własne.

Pierwsze kryterium, dotyczące występowania łącza szerokopasmowego o prędkości powyżej 100 Mb/s w gospodarstwach domowych nie różnicowało państw członkowskich istotnie statystycznie, zarówno w roku 2019, jak i 2021, o czym mogą też świadczyć bardzo wysokie średnie we wszystkich uwzględnionych grupach. Zmianą względem roku przed wybuchem pandemii była kwestia średniego odsetka osób posiadających podstawowe umiejętności cyfrowe, który to nie różnił się pomiędzy klasami typologicznymi w sposób istotny statystycznie, a więc można podejrzewać, że obywatele UE rzeczywiście zaczynają dorównywać sobie nawzajem w tym zakresie.

Dopełnieniem przeprowadzonej analizy zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego w UE przed i w trakcie trwania pandemii COVID-19 było przeprowadzenie testu U Manna-Whitneya pomiędzy parami grup krajów przynależących do wspólnoty ze względu na każde z uwzględnionych kryteriów. W tabelach 12 – 13 przedstawiono wartości prawdopodobieństwa p dla statystyk U z wspomnianego testu, których istotność statystyczna została ponownie zaznaczona poprzez dodanie gwiazdki.

Tab. 12. Wartości prawdopodobieństwa p dla testu U Manna-Whitneya dla roku 2019

Kryterium / Grupa	G1 vs G2	G1 vs G3	G1 vs G4	G2 vs G3	G2 vs G4	G3 vs G4
f_1	0,270	0,278	0,095	0,062	0,037	0,278
f_2	0,325	0,006*	0,012*	0,015*	0,020*	0,008*
f_3	0,037*	0,004*	0,012*	0,157	0,020*	0,002*
f_4	0,270	0,003*	0,012*	0,610	0,178	0,278
f_5	0,540	0,006*	0,012*	0,062	0,020*	0,014*
f_6	0,903	0,009*	0,060	0,048*	0,066	0,490

* $p < 0,05$

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 13. Wartości prawdopodobieństwa p dla testu U Manna-Whitneya dla roku 2021

Kryterium / Grupa	G1 vs G2	G1 vs G3	G1 vs G4	G2 vs G3	G2 vs G4	G3 vs G4
f_1	0,871	0,257	0,391	0,415	0,219	0,473
f_2	0,142	0,002*	0,019*	0,020*	0,011*	0,005*
f_3	0,256	0,002*	0,020*	0,009*	0,011*	0,031*
f_4	0,051	0,005*	0,020*	0,103	0,030*	0,059
f_5	0,035*	0,007*	0,020*	0,124	0,011*	0,078
f_6	0,871	0,428	0,066	0,415	0,108	0,103

* $p < 0,05$

Źródło: opracowanie własne.

Otrzymane wyniki wskazują na wysoką istotność statystyczną różnic między grupami G1 a G3 oraz G1 a G4 ze względu na kryteria od f_2 do f_5 w obu latach. W przypadku grupy G2 i G4 oraz G3 i G4 również odnotowano statystycznie istotne różnice, lecz wyłącznie kryterium f_2 zawsze różnicowało te klasy państw w sposób istotny statystycznie.

Podsumowanie

W ramach niniejszej pracy zaprezentowano wyniki otrzymane metodą VIKOR, pozwalające na ocenę pozycji krajów członkowskich Unii Europejskiej w zakresie zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego w dobie pandemii COVID-19. Zaobserwowane dysproporcje w roku poprzedzającym pojawienie się wirusa SARS-CoV-2 oraz różnice między rezultatami otrzymanymi dla lat 2019 i 2021 potwierdziły zasadność przeprowadzonej analizy, uzupełnionej o podział państw UE na cztery klasy cechujące się podobnym poziomem rozwoju badanego zjawiska na podstawie kryterium statystycznego, wykorzystującego średnią arytmetyczną i odchylenie standardowe z wartości parametru Q_i^* . Wykonanie dodatkowych testów statystycznych dowiodło występowania różnic między grupami państw ze względu na zjawisko komputeryzacji i cyfryzacji, definiowane przez czynniki wymienione w komunikacie Komisji Europejskiej i wskazało potrzebę dalszego monitorowania procesu transformacji cyfrowej na terenie UE.

Zaproponowana wielokryterialna metoda wspomagania decyzji w połączeniu z klasyfikacją wariantów decyzyjnych stanowi kolejny zestaw narzędzi mogących posłużyć do analizy danego zjawiska i mu podobnych, tak jak użyta poprzednio metoda PROMETHEE II [Kozikowski i Filipowicz-Chomko, 2023]. Udostępniane

w kolejnych latach przez Eurostat dane mogą stanowić podstawę do wyciągania dalszych wniosków z tempa procesu transformacji cyfrowej, również w odniesieniu do wyników badań przeprowadzonych na potrzeby tej pracy.

Badania zostały sfinansowane z grantu Politechniki Białostockiej (WZ/WI-IIT/2/2022).

ORCID iD

Piotr Mariusz Kozikowski: <https://orcid.org/0009-0003-0276-3175>

Marzena Filipowicz-Chomko: <https://orcid.org/0000-0003-3041-4063>

Literatura

1. Brans J.P. (1982), *L'ingénierie de la décision: l'élaboration d'instruments d'aide*
2. *a la decision*, Université Laval, Québec.
3. Churchman C.W., Ackoff R.L., Smith N.M. (1954), *An Approximate Measure of Value*, Journal of the Operations Research Society of America, 2(2). <http://www.jstor.org/stable/166603>
4. Edwards W. (1971), *Social utilities*, Engineering Economist, Summer Symposium Series.
5. EUR-Lex, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0118> [09.03.2021].
6. Eurostat, „Digital economy and society”, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/digital-economy-and-society/data/database> [2019].
7. Eurostat, „Digital economy and society”, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/digital-economy-and-society/data/database> [2021].
8. *Federacja Konsumentów*, <https://www.federacja-konsumentow.org.pl/p,1689,dad1c,raport-fk--wykluczenie-cyfrowe.pdf> [01.01.2021].
9. Gajewski J., Paprocki W., Pieriegud J. (2016), *Cyfryzacja gospodarki i społeczeństwa – szanse i wyzwania dla sektorów infrastrukturalnych*, Gdańska Akademia Bankowa, Gdańsk. https://depot.ceon.pl/bitstream/handle/123456789/11162/Pieriegud_Cyfryzacja_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
10. Górecka D. (2012), *Wielokryterialne wspomaganie wyboru projektów europejskich*, Wydawnictwo Dom Organizatora, Toruń.
11. Hwang C.L., Yoon K. (1981), *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications: A State of the Art Survey*, Springer-Verlag, New York.

12. Kozikowski P.M., Filipowicz-Chomko M. (2023), *Zastosowanie metody PROMETHEE II do oceny zjawiska komputeryzacji i rozwoju cyfrowego Unii Europejskiej w roku 2019*, Akademia Zarządzania, 7(2), s. 228-247.
13. Madej-Kurzawa I., (2020), *Bankowość elektroniczna w Polsce i Unii Europejskiej*, <http://www.konferencja-eureka.pl/assets/docs/nauki-humanistyczne-i-spoeczne-2020-cz-2.pdf>
14. Malina A., Zeliaś A. (1997), *O budowie taksonomicznej miary jakości życia*, Taksonomia.
15. Mikutel T. (2014), *Wielokryterialna ocena samolotów transportowych dla Sił Powietrznych RP*, Politechnika Poznańska, Poznań.
16. Młodak A., Józefowski T., Wawrowski Ł. (2016), *Zastosowanie metod taksonomicznych w estymacji wskaźników ubóstwa*, Wiadomości Statystyczne nr 2/2016. <https://bibliotekanauki.pl/articles/543333.pdf>
17. Najwyższa Izba Kontroli, <https://www.nik.gov.pl/aktualnosci/kompetencje-cyfrowe.html> [29.03.2022].
18. NASK CyberPOLICY, <https://cyberpolicy.nask.pl/wplyw-pandemii-covid-19-na-rewolucje-cyfrowa-w-edukacji-i-na-rynku-pracy/> [16.03.2022].
19. Opricovic S. (1998), *Multicriteria optimization of civil engineering systems*, Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
20. Panek T. (2009), *Statystyczne metody wielowymiarowej analizy porównawczej*, SGH, Warszawa.
21. Perdana A., Budiman A. (2021), *College Ranking Analysis Using VIKOR Method*, Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing, 3(2), s. 241-248.
22. Piwowarski M., Miłaszewicz D., Łatuszyńska M., Borawski M., Nermend K. (2018), *TOPSIS and VIKOR methods in study of sustainable development in the EU countries*, Procedia Computer Science, 126, s. 1686-1691.
23. Saaty T. L. (1980), *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York.
24. Spendel M. (2016), *Europejski tygrys gospodarczy – Estonia jako wzorzec postkomunistycznej transformacji*.
25. Taşabat S. E., Özkan T. K. (2020), *TOPSIS vs. VIKOR: A Case Study for Determining Development Level of Countries*, Advances in Logistics, Operations and Management Science (ALOMS) Book Series.
26. Trzaskalik T. (2014a), *Wielokryterialne wspomaganie decyzji. Przegląd metod i zastosowań*, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Katowice.
27. Trzaskalik T. (2014b), *Wielokryterialne wspomaganie decyzji. Metody i zastosowania*, PWE, Warszawa.

The phenomenon of computerization and digital development of the European Union countries in the era of the COVID-19 pandemic

Abstract

Digital transformation is one of the key elements of the EU's economic development and strategic autonomy. The COVID-19 pandemic has become the driving force to foster Europe's digital future, as reflected in the European Commission's communication "2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade". In this context, it seems extremely important to monitor the progress of the member states in the area of digital competences. The aim of this work is to assess the position of the European Union countries in terms of computerization and digitalization in 2019 and 2021 using the VIKOR method and to classify the member countries by the level of the analyzed phenomenon. The choice of indicators used for the study resulted from both the content of the EC's communication and the tendency of EU citizens to use digital solutions, as perceived by other researchers and institutions. On the basis of these, twenty-seven EU countries in their current form were assessed and ranked using the VIKOR method. Classification of the member states into groups with similar levels of computerization and digital development was based on the method of standard deviations. The results show that there are significant disproportions between the EU countries, which are slowly disappearing with the digital transformation. The combination of a multi-criteria decision support method with a method leading to a classification of decision options is an effective tool when assessing the pace of the digital transformation process among the member states.

Key words

VIKOR, multi-criteria analysis, computerization, digital society, Eurostat