INGA KAWKA

ELŻBIETA SZCZYGIEŁ

RENATA ŚLIWA

Transformacja cyfrowa na rzecz zrównoważonego rozwoju w Unii Europejskiej

Digital Transformation for Sustainable Development in the European Union



Co-funded by the European Union

eEconEU+

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the granting authority. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them."

“Transformacja cyfrowa na rzecz zrównoważonego rozwoju w Unii Europejskiej” / “Digital Transformation for Sustainable Development in the European Union” Krakow Jean Monnet Research Papers 5/2026

Autorzy: Inga Kawka, Elżbieta Szczygieł, Renata Śliwa

Recenzent: prof. PRz, dr hab. Teresa Piecuch, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza

Ta publikacja powstała jako rezultat projektu “Transformacja cyfrowa na rzecz zrównoważonego rozwoju w Unii Europejskiej. Digital Transformation for Sustainable Development in the European Union” (eEconEU+)

Numer projektu: 101126789 ERASMUS-JMO-2023-HEI-TCH-RSCH

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie

ul. Podchorążych 2

30-084 Kraków

Kraków 2026

e-ISBN: 978-83-68260-99-1

Spis treści

Wprowadzenie 4
Rozdział I. Koncepcja transformacji cyfrowej 8
Rozdział II. Determinanty transformacji cyfrowej 13
Rozdział III. Transformacja cyfrowa w UE i krajach partnerskich 18
Rozdział IV. Transformacja cyfrowa a zrównoważenie środowiskowe 24
Rozdział V. Metodyka badania 35
Rozdział VI. Audyt wskaźników transformacji cyfrowej i zrównoważonego rozwoju dla UE-27 w latach 2018-2025 40
Rozdział VII. Ustalenie przekrojów i zakresu porównywalnych szeregów 43
Rozdział VIII. Statystyka opisowa, analiza zmian i profili cyfryzacji 46
Rozdział IX. Analiza korelacji i skupień - porównanie wyników procesów cyfryzacyjnych i środowiskowych 71
Rozdział X. Podsumowanie uzyskanych wyników 84
Zakończenie 91
Literatura 94
Akty prawne 97
Dokumenty 99
Narzędzia cyfrowe 102
Spis tabel 102
Spis wykresów 103

Wprowadzenie

Transformacja cyfrowa zmienia sposób wytwarzania i dostarczania dóbr i usług, organizację pracy, funkcjonowanie przedsiębiorstw i administracji publicznej, a także relacje między obywatelami, przedsiębiorstwami i państwem. Jej znaczenie dla zrównoważonego rozwoju wiąże się przede wszystkim z możliwościami lepszego rozpoznawania potrzeb, przetwarzania informacji, koordynowania działań oraz bardziej efektywnego gospodarowania zasobami. Technologie cyfrowe mogą wspierać optymalizację procesów produkcyjnych, energetycznych i transportowych, ograniczać część przepływów materialnych oraz zwiększać możliwości monitorowania stanu środowiska.

Jednocześnie sama transformacja cyfrowa generuje obciążenia środowiskowe. Produkcja urządzeń elektronicznych, budowa i utrzymanie infrastruktury teleinformatycznej, funkcjonowanie centrów danych oraz rosnąca skala przetwarzania i przesyłania danych wymagają energii, surowców i wody. Dodatkowym problemem pozostaje cykl życia urządzeń cyfrowych, w tym wydobycie surowców krytycznych oraz powstawanie elektroodpadów. Ocena środowiskowych skutków transformacji cyfrowej wymaga zatem uwzględnienia zarówno korzyści wynikających z zastosowania technologii cyfrowych w innych sektorach gospodarki, jak i bezpośredniego śladu środowiskowego samego sektora cyfrowego. Problem ten ujmuje raport UNCTAD z 2024 r., który łączy analizę gospodarki cyfrowej z oceną jej materialnego zaplecza i nierównego podziału obciążeń między krajami (UNCTAD, 2024).

W polityce Unii Europejskiej współzależność przemian cyfrowych i ekologicznych została ujęta w koncepcji podwójnej transformacji (*twin transition*). Zakłada ona możliwość wzajemnego wzmacniania transformacji cyfrowej i zielonej, jednak zależność ta nie ma charakteru automatycznego. Stefan Muench z zespołem (Muench et al., 2022) wskazują, że osiąganie synergii między tymi procesami wymaga odpowiedniego kształtowania technologii, modeli działalności, infrastruktury oraz polityk publicznych. Kluczowe staje

się zatem pytanie o warunki, w których wykorzystanie technologii cyfrowych prowadzi do rzeczywistego ograniczenia presji gospodarki na środowisko.

Z tej perspektywy transformacja cyfrowa może być traktowana jako proces wielowymiarowy. Jej przebieg zależy nie tylko od dostępności infrastruktury i technologii, lecz także od poziomu umiejętności cyfrowych, zdolności przedsiębiorstw do reorganizacji procesów, rozwoju cyfrowych usług publicznych oraz jakości otoczenia instytucjonalnego. Poszczególne elementy tworzą układ komplementarny: rozwój infrastruktury bez odpowiednich kompetencji, zdolności organizacyjnych i możliwości wykorzystania technologii może nie prowadzić do oczekiwanych efektów gospodarczych, społecznych ani środowiskowych.

W przypadku Unii Europejskiej szczególnego znaczenia nabiera także instytucjonalny wymiar transformacji. Rozwój jednolitego rynku cyfrowego, programy finansowania inwestycji cyfrowych, program polityki „Droga ku cyfrowej dekadzie" do 2030 r. oraz regulacje dotyczące funkcjonowania przestrzeni cyfrowej tworzą ramy, w których technologie są wdrażane i wykorzystywane. Jednocześnie integracja europejska zwiększa możliwości koordynowania transformacji cyfrowej z polityką klimatyczną, energetyczną, transportową i przemysłową oraz przenoszenia wypracowanych rozwiązań na relacje z krajami partnerskimi.

Powstaje wobec tego pytanie, czy wraz ze wzrostem poziomu cyfryzacji gospodarek UE rośnie również ich zdolność do bardziej efektywnego wykorzystywania zasobów i ograniczania negatywnego oddziaływania na środowisko. Odpowiedź wymaga uwzględnienia zarówno potencjalnych mechanizmów pozytywnych – takich jak inteligentne zarządzanie energią, transportem i miastami, dematerializacja części procesów czy zwiększenie efektywności przedsiębiorstw – jak i czynników mogących osłabiać te korzyści. Należą do nich przede wszystkim emisyjność wykorzystywanej energii, rosnące zapotrzebowanie na dane i moc obliczeniową, cykl życia urządzeń oraz efekty odbicia, w ramach których wzrost efektywności może prowadzić do zwiększenia skali konsumpcji.

Scharakteryzowanie istoty i determinant transformacji cyfrowej, przedstawienie jej zaawansowania w Unii Europejskiej oraz rozpoznanie warunków, w których może wspierać realizację celów środowiskowych stanowi pierwszy etap prezentowanych

analiz. Szczególną uwagę poświęcono komplementarności infrastruktury i łączności, umiejętności cyfrowych, cyfryzacji przedsiębiorstw oraz cyfrowych usług publicznych. Rozważania dotyczące krajów partnerskich uzupełniają analizę europejską o problem odporności instytucji i transgranicznego podziału korzyści oraz kosztów.

Przedmiotem badań są procesy transformacji cyfrowej gospodarki i administracji publicznej oraz ich potencjalne konsekwencje środowiskowe. Podstawowy zakres przestrzenny obejmuje państwa członkowskie UE. Przykłady krajów partnerskich, zwłaszcza Ukrainy, a także odniesienia do Norwegii, Finlandii, Szwecji i globalnych łańcuchów dostaw, mają charakter porównawczy i ilustracyjny. Podstawowy zakres czasowy opisu przemian obejmuje lata 2018–2025. Analizę dokumentów strategicznych, regulacji i literatury zaktualizowano według stanu na 14 października 2026 r. Wykorzystano najnowsze dostępne w tym dniu dane, wskazując osobno rok obserwacji, rok publikacji i status informacji. Dane wstępne za 2025 r. oraz projekcje na kolejne lata nie są traktowane jako wyniki ostateczne.

Treści pierwszej części opracowania mają charakter teoretyczny i przeglądowo-analityczny. Łączą one syntezę literatury z analizą dokumentów strategicznych i programowych UE, podstaw prawnych oraz wybranych danych Eurostatu, OECD, ITU, UNCTAD i IEA. Na tej podstawie identyfikuje się mechanizmy oddziaływania i ograniczenia pomiaru.

Analizę porządkują następujące pytania badawcze:

Q1. Jak należy rozumieć transformację cyfrową gospodarki i sektora publicznego?

Q1.1. Jak odróżnić digitalizację informacji, cyfryzację procesów oraz transformację cyfrową organizacji i gospodarki?

Q1.2. Jakie znaczenie dla przebiegu transformacji cyfrowej mają zmiany organizacyjne, instytucjonalne i społeczne oraz wieloetapowy charakter tego procesu?

Q2. Jakie czynniki determinują przebieg i skalę transformacji cyfrowej?

Q2.1. Jaką rolę odgrywają infrastruktura i łączność cyfrowa, umiejętności cyfrowe, transformacja przedsiębiorstw oraz rozwój cyfrowych usług publicznych?

Q2.2. W jaki sposób finansowanie, jakość instytucji, zdolności organizacyjne oraz zaufanie społeczne warunkują wykorzystanie zasobów i technologii cyfrowych?

Q3. Jaki jest stopień zaawansowania transformacji cyfrowej w Unii Europejskiej?

Q3.1. Jakie uwarunkowania polityczne, programowe i prawne kształtowały transformację cyfrową UE w latach 2018–2025 oraz jakie znaczenie mają zmiany wprowadzone do 14 października 2026 r.?

Q3.2. Jakie zróżnicowania występują między państwami członkowskimi oraz poszczególnymi obszarami transformacji cyfrowej i jak na tym tle przedstawia się pozycja UE względem innych regionów?

Q3.3. W jakim stopniu rozwój rozwiązań cyfrowych znajduje odzwierciedlenie w cyfrowym zarządzaniu publicznym oraz we wzmacnianiu możliwości uczestnictwa i sprawczości obywateli?

Q4. Za pośrednictwem jakich mechanizmów i w jakich warunkach transformacja cyfrowa może wspierać realizację celów środowiskowych w państwach UE?

Q4.1. W jaki sposób integracja europejska oraz współpraca z krajami partnerskimi sprzyjają łączeniu celów transformacji cyfrowej i środowiskowej?

Q4.2. Jaką rolę w kształtowaniu środowiskowych efektów transformacji cyfrowej odgrywają fundusze unijne, cyfryzacja przedsiębiorstw oraz właściwości infrastruktury cyfrowej?

Q4.3. Za pośrednictwem jakich mechanizmów cyfrowe zarządzanie miastami może wspierać efektywne gospodarowanie zasobami i ograniczanie presji na środowisko?

Q4.4. W jakich warunkach cyfryzacja sektora transportu może przyczyniać się do ograniczania zużycia energii i emisji CO_2?

Q4.5. W jaki sposób miks energetyczny, energochłonność infrastruktury cyfrowej, cykl życia urządzeń oraz efekty odbicia wpływają na ostateczny bilans środowiskowy transformacji cyfrowej?

Rozdział I. Koncepcja transformacji cyfrowej

Istota i zakres pojęcia

Transformację cyfrową można rozumieć jako proces zmian w sposobach tworzenia wartości, organizowania działalności oraz koordynowania relacji między podmiotami, dokonujący się przy wykorzystaniu technologii i danych. W ujęciu Gregory'ego Viala (2019) technologie cyfrowe inicjują zmiany wymagające odpowiedzi strategicznych, przekształcenia struktur organizacyjnych i przezwyciężania barier wdrożeniowych (Vial, 2019; Vial, 2021). Transformacja obejmuje więc także decyzje, kompetencje i zdolności adaptacyjne podmiotów wykorzystujących technologie. Dla zachowania przejrzystości terminologicznej należy rozróżnić digitalizację informacji, cyfryzację procesów oraz transformację cyfrową. Digitalizacja informacji (*digitization*) oznacza przekształcanie treści analogowych w postać cyfrową, czego przykładem jest skanowanie dokumentacji. Cyfryzacja procesów (*digitalization*) polega na wykorzystaniu technologii do wykonywania i usprawniania czynności, takich jak składanie wniosków elektronicznych, rejestrowanie zużycia energii czy obsługa transakcji. Transformacja cyfrowa (*digital transformation*) ma szerszy zakres: obejmuje przebudowę procesów, procedur, modeli biznesowych, kompetencji i relacji z otoczeniem. Rozróżnienie odpowiada ujęciu Petera C. Verhoefa i współautorów (2021), przy czym polskie odpowiedniki tych terminów nie są stosowane jednolicie (Verhoef et al., 2021). Różnicę dobrze obrazuje cyfryzacja usług publicznych. Przeniesienie formularza do Internetu może usprawnić określoną czynność. Głębsze przekształcenie następuje wówczas, gdy instytucja reorganizuje obieg danych, eliminuje zbędne obowiązki informacyjne, zapewnia interoperacyjność systemów i pozwala przeprowadzić całą sprawę cyfrowo. Podobnie instalacja czujników w przedsiębiorstwie zwiększa zasób informacji, natomiast dopiero ich wykorzystanie do zmiany harmonogramów produkcji, utrzymania urządzeń lub gospodarowania energią może poprawiać efektywność. W perspektywie strategicznej narzędzia cyfrowe zmieniają

także sposób tworzenia i przejmowania wartości oraz organizację innowacji. Takie ujęcie rozwijają prace Anandhi Bharadwaj (Bharadwaj et al., 2013) oraz Satisha Nambisana (Nambisan et al., 2019). Dostępność technologii jest zatem warunkiem przekształceń, podczas gdy ich rezultaty zależą od sposobu jej wykorzystania.

W skali gospodarki transformacja cyfrowa obejmuje współzależne zmiany zachodzące w przedsiębiorstwach, gospodarstwach domowych, administracji publicznej oraz innych organizacjach. Jej przebieg zależy nie tylko od wyposażenia poszczególnych podmiotów w technologie, lecz również od możliwości wymiany danych, interoperacyjności systemów i współpracy między uczestnikami gospodarki. Rozwój usług cyfrowych w jednej instytucji może być ograniczany przez brak dostępu do rejestrów prowadzonych przez inne podmioty albo niezgodność stosowanych standardów. Z kolei upowszechnienie platform cyfrowych może wywoływać zmiany wykraczające poza pojedyncze przedsiębiorstwo, wpływając na organizację całych łańcuchów dostaw, sposoby docierania do klientów oraz podział funkcji między producentami, pośrednikami i odbiorcami. Transformację cyfrową należy ujmować jako proces technologiczny, organizacyjny, gospodarczy i instytucjonalny. Technologie tworzą możliwości przekształceń, ale ich wykorzystanie zależy od zdolności do reorganizacji działania, uczenia się i współpracy. Znaczenie wzajemnego dostosowywania elementów technicznych i społecznych akcentują Kalle Lyytinen i Michael Newman (2008). Takie ujęcie uzasadnia rozpatrywanie infrastruktury, umiejętności, cyfryzacji przedsiębiorstw i usług publicznych jako elementów komplementarnych.

Transformacja cyfrowa jako proces organizacyjny i wielofazowy

Organizacyjne ujęcie transformacji cyfrowej eksponuje zdolność do ciągłego dostosowywania strategii, struktur, procesów i kompetencji do możliwości technologicznych oraz warunków otoczenia. André Hanelt z zespołem (2021) wiążą ją z szerszym procesem zmian organizacyjnych i przeobrażeniami relacji organizacji z otoczeniem[1]. Powodzenie transformacji zależy więc również od przywództwa, podziału odpowiedzialności, współpracy jednostek organizacyjnych, zdolności uczenia się i gotowości do modyfikowania utrwalonych sposobów działania.

[1] Rok 2021 oznacza publikację w tomie czasopisma; artykuł udostępniono online wcześniej.

Procesowy charakter transformacji rozwijają Solmaz Filiz Karabag (Karabag et al., 2026), analizując zmiany w wielobranżowym przedsiębiorstwie przemysłowym. Wyróżniają fazy eksperymentowania, konsolidacji i przyspieszenia. Wskazują zarazem na napięcia między strategią centrali a dostosowaniami jednostek biznesowych, trudności w komercjalizacji innowacji i niedopasowanie tempa wdrażania technologii do gotowości klientów. Wyróżnione fazy pozostają powiązane rekurencyjnie; nie tworzą sztywnej, jednokierunkowej sekwencji.

Wyniki pojedynczego studium przypadku nie pozwalają traktować wskazanej sekwencji jako uniwersalnego modelu transformacji przedsiębiorstw, a tym bardziej całych gospodarek. Zwracają jednak uwagę na istotną właściwość procesu transformacji cyfrowej: jego nieliniowy i iteracyjny charakter. Wdrażaniu technologii mogą towarzyszyć okresy eksperymentowania, korekty wcześniejszych decyzji, czasowe spowolnienia oraz powroty do rozwiązań, które na wcześniejszych etapach zostały odrzucone. Transformacja nie powinna być zatem interpretowana jako jednorazowe przejście od określonego stanu technologicznego do kolejnego, lecz jako sekwencja wzajemnie powiązanych dostosowań.

Perspektywa wielofazowa ma znaczenie także dla oceny gospodarczych, społecznych i środowiskowych rezultatów cyfryzacji. Moment ponoszenia nakładów nie musi pokrywać się z momentem wystąpienia oczekiwanych korzyści. Wprowadzenie nowego systemu może wymagać zakupu urządzeń, rozbudowy infrastruktury, integracji danych oraz przeszkolenia użytkowników, podczas gdy wzrost produktywności lub zmniejszenie zużycia energii pojawiają się dopiero po zmianie procesów organizacyjnych i sposobów korzystania z technologii.

Z perspektywy środowiskowej rozłożenie efektów w czasie ma szczególne znaczenie. Początkowej fazie transformacji mogą towarzyszyć dodatkowe nakłady materiałowe i energetyczne związane z produkcją sprzętu, tworzeniem infrastruktury oraz migracją danych. Potencjalne oszczędności zasobów mogą ujawnić się dopiero później, wraz z optymalizacją procesów i zmianą zachowań użytkowników. Ocena ograniczona do jednego roku może więc rejestrować przede wszystkim koszty wdrożenia albo przeciwnie – jedynie część późniejszych korzyści, pomijając obciążenia poniesione we wcześniejszych fazach procesu.

Platformy cyfrowe i podział korzyści z tworzenia wartości

Platformy cyfrowe stanowią szczególną formę organizacji działalności gospodarczej i wymiany. Łączą różne grupy użytkowników, ułatwiają nawiązywanie interakcji i zawieranie transakcji, a jednocześnie ustanawiają zasady dostępu do infrastruktury, danych i usług. Mogą zmniejszać koszty wyszukiwania informacji i kontrahentów, ułatwiać przedsiębiorstwom dostęp do nowych rynków oraz umożliwiać małym podmiotom dotarcie do odbiorców bez konieczności samodzielnego tworzenia rozbudowanej infrastruktury dystrybucyjnej.

Rozwój platform ujawnia jednak także napięcia dotyczące podziału korzyści wynikających z transformacji cyfrowej. Uzależnienie uczestników od infrastruktury, standardów, algorytmów oraz zasad ustalanych przez operatora platformy może ograniczać ich autonomię i zdolność wpływania na warunki wymiany. Analiza transformacji cyfrowej wymaga zatem uwzględnienia nie tylko tego, w jaki sposób technologie umożliwiają tworzenie nowej wartości, lecz również tego, jak wartość ta jest dzielona między uczestników cyfrowego ekosystemu.

Anna Ząbkowicz (2022), analizując koncepcję kapitalizmu inwigilacji Shoshany Zuboff (2020), zwraca uwagę na asymetrię wiedzy i kontroli w gospodarce opartej na danych. Użytkownicy mogą uczestniczyć w cyfrowej wymianie, dysponując ograniczoną wiedzą o gromadzeniu, łączeniu i wykorzystywaniu informacji dotyczących ich zachowań. Problem wynika z określonych modeli biznesowych i reguł instytucjonalnych. Nie ma podstaw do utożsamiania każdej formy cyfryzacji z kapitalizmem inwigilacji.

Inny wymiar tego problemu dotyczy nierównych możliwości wykorzystywania technologii. Michał Kleiber (2025) zwraca uwagę na utrwalanie nierówności mimo upowszechniania narzędzi cyfrowych. Dostęp nie przesądza o zdolności do czerpania korzyści, która zależy również od wiedzy, sytuacji ekonomicznej i możliwości uczestnictwa. Kompetencje oraz sprawczość użytkowników powinny zatem uzupełniać ocenę dostępności infrastruktury.

W badaniach nad nierównościami cyfrowymi rozróżnia się bariery dostępu oraz zróżnicowanie umiejętności i sposobów korzystania z technologii. Eszter Hargittai (2002) ujmuje nierówności kompetencji jako drugi poziom podziału cyfrowego, a Alexander van Deursen i Jan van Dijk (2014) analizują różnice w sposobach wykorzystania Internetu.

Osiąganych rezultatów nie należy utożsamiać z samymi kompetencjami lub aktywnością online: podobny dostęp i podobne umiejętności mogą przynosić odmienne korzyści społeczne i gospodarcze.

Analogiczne napięcia dotyczą środowiska. Platformy mogą ułatwiać naprawę, współdzielenie i ponowne wykorzystanie produktów, wydłużając ich cykl życia. Mogą również obniżać koszty zakupu, zwiększać częstotliwość transakcji i stymulować konsumpcję. Systemy personalizacji mogą wspierać wybór mniej energochłonnych rozwiązań, ale także zwiększać skuteczność reklamy i skalę popytu (Meshulam et al., 2023; EEA, 2023a; Satinet et al., 2025).

Kierunek oraz skala oddziaływania technologii cyfrowych zależą zatem od sposobu ich zastosowania, modelu działalności, otoczenia instytucjonalnego oraz zachowań użytkowników. Technologiczna sprawność nie może być traktowana jako wystarczająca miara ani rzeczywistego cyfrowego wzmocnienia podmiotów, ani zrównoważonego charakteru transformacji. Konstatacja ta stanowi punkt wyjścia do analizy determinant transformacji cyfrowej oraz późniejszej oceny jej możliwych konsekwencji środowiskowych.

Leanne Chang i Xinzhi Zhang (2024), przedstawiając badania dotyczące Chin kontynentalnych i Hongkongu, podkreślają, że zdolność platform do wspierania dobra społecznego zależy od relacji między rynkiem, państwem i społeczeństwem obywatelskim. Wniosku tego nie można automatycznie przenosić na każdy system instytucjonalny. Pozwala on jednak wskazać znaczenie reguł dostępu, modeli biznesowych i ochrony praw użytkowników dla oceny podziału korzyści.

Przykładem debaty nad tym podziałem jest wystąpienie Trygve Slagsvolda Veduma, ówczesnego ministra finansów Norwegii, z 24 lipca 2024 r. Vedum rozważał możliwość społecznego udziału w nadzwyczajnych zyskach przedsiębiorstw technologicznych, odwołując się do koncepcji renty gruntowej Henry'ego George'a (Vedum, 2024). Było to stanowisko w debacie publicznej, a nie ustanowienie podatku od danych. Dochody podatkowe mogą finansować cele publiczne, lecz samo opodatkowanie nie dowodzi ograniczenia śladu środowiskowego gospodarki cyfrowej.

Rozdział II. Determinanty transformacji cyfrowej

Główne obszary przemian cyfrowych gospodarki

Podstawę analizy stanowią cztery powiązane obszary: infrastruktura i łączność, umiejętności cyfrowe, cyfryzacja przedsiębiorstw oraz cyfrowe usługi publiczne. Podział pozwala powiązać rozważania teoretyczne z europejskim systemem monitorowania transformacji (Komisja Europejska, 2021; decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2022/2481, s. 4-26, w szczególności art. 4). Wymaga jednak rozróżnienia zasobów umożliwiających zmianę, sposobów ich wykorzystania i osiąganych rezultatów. Infrastruktura oraz umiejętności tworzą warunki wdrożeń, natomiast przemiany przedsiębiorstw i administracji dotyczą także zastosowań technologii i reorganizacji działania.

Obszary te pełnią odmienne funkcje w procesie transformacji i pozostają ze sobą w relacjach komplementarności oraz wzajemnego oddziaływania. Zapotrzebowanie przedsiębiorstw na usługi cyfrowe może pobudzać inwestycje w infrastrukturę, a rozwój elektronicznych usług publicznych zwiększać motywację do nabywania umiejętności. Z kolei niedobór kompetencji może ograniczać wykorzystanie dostępnych zasobów technicznych.

Infrastruktura cyfrowa i łączność

Łączność internetowa stanowi podstawowy warunek dostępu do usług cyfrowych i utrzymania ciągłości działania wielu organizacji. Shane Greenstein (2021) wiąże znaczenie infrastruktury cyfrowej z jej wdrażaniem, rozwojem i wykorzystaniem przez gospodarstwa domowe oraz przedsiębiorstwa. Łączność umożliwia komunikację, pracę zdalną i korzystanie z zasobów obliczeniowych. Doświadczenia pandemii uwidoczniły zarówno ten potencjał, jak i bariery nierównego dostępu. Nowszą perspektywę rozwoju

łączności, kompetencji i zaufania przedstawia OECD Digital Economy Outlook 2024 (OECD, 2024b).

Infrastruktura cyfrowa obejmuje sieci stacjonarne i mobilne, centra danych, zasoby chmurowe, urządzenia końcowe oraz rozwiązania służące bezpiecznemu przetwarzaniu i wymianie informacji. Jej ocena powinna uwzględniać zasięg, jakość i niezawodność usług, a także ich przystępność cenową. Objęcie danego obszaru zasięgiem sieci nie jest równoznaczne z faktycznym korzystaniem z połączeń o parametrach odpowiadających potrzebom mieszkańców i przedsiębiorstw.

W analizach środowiskowych ważna jest charakterystyka infrastruktury, w tym zapotrzebowanie na energię, źródła zasilania oraz trwałość i cykl życia urządzeń. Sieci o wysokiej przepustowości mogą wspierać monitorowanie i racjonalizację zużycia zasobów, jednak ich budowa i eksploatacja również wiążą się z obciążeniami środowiskowymi. Odporność techniczna, dostępność ekonomiczna i efektywność środowiskowa stanowią zatem odrębne wymiary oceny, których nie odzwierciedla pojedynczy wskaźnik zasięgu sieci.

Umiejętności cyfrowe i zdolności organizacyjne

Umiejętności cyfrowe warunkują celowe i bezpieczne korzystanie z technologii. Obejmują wyszukiwanie i ocenę informacji, komunikowanie się, tworzenie treści, rozwiązywanie problemów oraz ochronę danych. W przedsiębiorstwach istotne są również kompetencje specjalistyczne i menedżerskie, umożliwiające powiązanie rozwiązań technologicznych ze strategią działania. Administracja publiczna potrzebuje natomiast pracowników zdolnych do określania wymagań wobec systemów informatycznych, nadzorowania ich wdrażania oraz interpretowania danych.

Znaczenie kompetencji ujawnia się szczególnie na etapie przekładania informacji na decyzje. Zidentyfikowanie przez system nadmiernego zużycia energii nie prowadzi do oszczędności, jeżeli pracownicy nie mają wiedzy lub uprawnień niezbędnych do zmiany procesu. Skuteczne wykorzystanie technologii wymaga połączenia kompetencji technicznych z odpowiednim podziałem odpowiedzialności. Zależności między przywództwem, zwinnością organizacyjną i strategią cyfrową analizują Bader K. AlNuaimi z zespołem (2022). Anna Horlacher, Patricia Klarner i Thomas Hess (2016),

a także Anna Singh i Thomas Hess (2017) oraz Jahangir Karimi i Zhiping Walter (2015), wskazują na znaczenie organizacji odpowiedzialności za transformację oraz zdolności dostosowawczych przedsiębiorstw. Wdrożenia wymagają powiązania decyzji technologicznych ze strategią, współpracy jednostek organizacyjnych i rozwoju kompetencji pracowników. Wyznaczenie osoby odpowiedzialnej za cyfryzację samo w sobie nie usuwa barier utrwalonych w procedurach i strukturze organizacji.

Niedobory kompetencji mogą utrwalać różnice w wykorzystaniu technologii między przedsiębiorstwami, regionami i grupami społecznymi. Polityka rozwoju umiejętności powinna zatem uwzględniać potrzeby osób starszych, mieszkańców obszarów o ograniczonym dostępie do infrastruktury cyfrowej oraz podmiotów dysponujących niewielkimi zasobami na szkolenia. W kontekście środowiskowym znaczenie ma zdolność interpretowania informacji o zużyciu energii, trwałości i naprawialności sprzętu oraz oceny wiarygodności deklarowanych korzyści ekologicznych.

Cyfryzacja przedsiębiorstw

Cyfryzacja przedsiębiorstw obejmuje wykorzystanie danych w zarządzaniu, automatyzację i integrację procesów oraz rozwój produktów i modeli biznesowych opartych na technologiach cyfrowych (Vial, 2019; Vial 2021; Verhoef et al., 2021). Zakres i charakter wdrożeń zależą od specyfiki sektora (OECD, 2021b). W działalności produkcyjnej istotne mogą być predykcyjne utrzymanie ruchu i kontrola jakości, w usługach zarządzanie relacjami z odbiorcami, a w logistyce planowanie przepływów towarów (Zonta et al., 2020; Ullah et al., 2020; Feng & Ye, 2021). Znaczenie gospodarcze tych rozwiązań zależy od ich dopasowania do potrzeb przedsiębiorstwa i problemów wymagających rozwiązania (Rad et al., 2022; OECD, 2021a).

Możliwości wdrażania technologii zależą od finansowania, zarządzania, kompetencji i gotowości partnerów do wymiany danych. Usługi chmurowe pozwalają korzystać z zasobów obliczeniowych bez budowy własnej infrastruktury, jednak ich wybór wymaga uwzględnienia kosztów utrzymania, przenoszenia danych i zmiany dostawcy. Akt w sprawie danych, stosowany zasadniczo od 12 września 2025 r., ustanawia reguły dostępu do danych z produktów skomunikowanych i ułatwiania zmiany dostawcy usług przetwarzania danych (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE,

2023/2854, art. 3 i 50)[2]. Poszerzenie uprawnień użytkownika może ograniczać zależność od dostawcy, lecz skuteczność rozwiązania zależy od wykonania tych obowiązków i technicznej możliwości wykorzystania danych.

W analizie oddziaływania na środowisko należy odróżnić ogólny poziom cyfryzacji przedsiębiorstwa od zastosowań ukierunkowanych na ograniczanie zużycia zasobów. Sprzedaż internetowa, automatyzacja reklamy i monitorowanie energochłonności zwiększają zakres wykorzystania technologii, lecz wpływają na środowisko za pośrednictwem odmiennych mechanizmów.

Cyfrowe usługi publiczne i uwarunkowania instytucjonalne

Cyfrowe usługi publiczne ułatwiają kontakt z administracją, dostęp do informacji oraz realizację obowiązków obywateli i przedsiębiorstw (Welby & Hui Yan Tan, 2022). Ich rozwój może również zwiększać zapotrzebowanie na kompetencje i rozwiązania cyfrowe w gospodarce (Burtscher, et al., 2024; OECD. (2024a). Efektywność tych usług zależy od integracji rejestrów, bezpieczeństwa danych i jakości procedur administracyjnych (OECD, 2026a). Przeniesienie skomplikowanych procedur do środowiska elektronicznego bez ich uprzedniego usprawnienia może ograniczać korzyści dla użytkowników (Mergel et al., 2019; Cordella & Tempini, 2015).

OECD (2020) opisuje dojrzałość administracji cyfrowej za pomocą sześciu wymiarów: uwzględniania technologii cyfrowych już na etapie projektowania działań, wykorzystywania danych, funkcjonowania administracji jako platformy, otwartości, orientacji na użytkownika i proaktywności (OECD, 2020). Ocena powinna uwzględniać zaspokojenie potrzeb odbiorców i zdolność instytucji do współpracy. Liczba formularzy elektronicznych odzwierciedla jedynie ograniczony aspekt tych przemian.

Przekrojowym uwarunkowaniem rozwoju wszystkich obszarów jest otoczenie instytucjonalne. Przewidywalność reguł, skuteczność egzekwowania prawa i zaufanie wpływają na gotowość podmiotów do inwestowania w technologie oraz udostępniania danych. Finansowanie publiczne może ograniczać bariery wdrożeń, o ile opiera się na trafnym rozpoznaniu potrzeb, odpowiednich kryteriach wyboru projektów i ocenie ich

[2] Zasadnicza data stosowania: 12.09.2025; art. 3 ust. 1 dotyczy produktów i usług wprowadzanych na rynek po 12.09.2026.

rezultatów. Rozwiązania instytucjonalne określają również zasady odpowiedzialności za błędy systemów oraz możliwości dochodzenia praw przez użytkowników.

Rozdział III. Transformacja cyfrowa w UE i krajach partnerskich

Podstawy polityczne i prawne

W latach 2018-2025 polityka cyfrowa Unii Europejskiej zmierzała do ściślejszego powiązania inwestycji technologicznych z ochroną praw użytkowników i koordynacją działań publicznych. Ważnym punktem tego procesu było rozpoczęcie stosowania ogólnego rozporządzenia o ochronie danych (RODO) w maju 2018 r. Europejski Zielony Ład z 2019 r. oraz komunikat „Kształtowanie cyfrowej przyszłości Europy" z 2020 r. umocniły znaczenie cyfryzacji w polityce rozwojowej UE, wskazując również na jej powiązania z transformacją ekologiczną. Pandemia COVID-19 uwidoczniła natomiast zależność ciągłości świadczenia usług i prowadzenia części działalności gospodarczej od dostępności infrastruktury oraz kompetencji cyfrowych (Komisja Europejska, 2019). Komisja Europejska, 2020; Rozporządzenie UE 2016/679, art. 99 ust. 2).

Komunikat „Cyfrowy kompas na 2030 r." z 2021 r. wyznaczył kierunki działań w czterech obszarach: umiejętnościach, infrastrukturze, przedsiębiorstwach i usługach publicznych. Decyzją (UE) 2022/2481 ustanowiono program polityki „Droga ku cyfrowej dekadzie" do 2030 r., oparty na wspólnych celach i współpracy Komisji z państwami członkowskimi. Cele obejmują co najmniej podstawowe umiejętności cyfrowe u minimum 80% osób w wieku 16–74 lata, co najmniej 20 mln specjalistów ICT oraz co najmniej podstawową intensywność cyfrową ponad 90% MŚP. Obejmują również wdrażanie technologii zaawansowanych, dostępność kluczowych usług publicznych online i rozwój bezpiecznej infrastruktury (Komisja Europejska, 2021; decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2022/2481, s. 4-26, art. 4).

Ramy inwestycyjne uzupełniają regulacje funkcjonowania środowiska cyfrowego. Akt o usługach cyfrowych (DSA) określa obowiązki dostawców usług pośrednich i jest zasadniczo stosowany od 17 lutego 2024 r. Akt o rynkach cyfrowych (DMA) służy

kontestowalności i uczciwości rynków z udziałem strażników dostępu; pierwsi wyznaczeni strażnicy mieli wykonać główne obowiązki do 7 marca 2024 r. (Rozporządzenie UE 2022/2065, art. 93; rozporządzenie UE 2022/1925, art. 3 ust. 10) Oba akty zmieniają warunki działania platform, jednak samo rozpoczęcie stosowania przepisów nie potwierdza jeszcze osiągnięcia wszystkich zakładanych rezultatów.

Akt w sprawie sztucznej inteligencji (AI Act), przyjęty jako rozporządzenie (UE) 2024/1689, wprowadza regulację opartą na ryzyku. Jego harmonogram zmieniło rozporządzenie (UE) 2026/1744, które weszło w życie 27 lipca 2026 r. Zakazy określonych praktyk i obowiązki dotyczące kompetencji w zakresie AI zaczęto stosować od 2 lutego 2025 r., a podstawowe reguły dotyczące modeli ogólnego przeznaczenia od 2 sierpnia 2025 r. Zasadnicza data stosowania AI Act to 2 sierpnia 2026 r.; obowiązki dotyczące systemów wysokiego ryzyka objętych załącznikiem III przesunięto na 2 grudnia 2027 r., a systemów powiązanych z produktami objętymi załącznikiem I – na 2 sierpnia 2028 r. (Rozporządzenie UE 2024/1689).

Dla gospodarki opartej na danych znaczenie ma także rozporządzenie (UE) 2023/2854, czyli akt w sprawie danych. Jest zasadniczo stosowane od 12 września 2025 r.; obowiązek projektowania produktów skomunikowanych i powiązanych usług w sposób umożliwiający dostęp do danych, wynikający z art. 3 ust. 1, dotyczy produktów i usług wprowadzanych na rynek po 12 września 2026 r. Reguły te mogą wspierać usługi naprawy, konserwacji i optymalizacji wykorzystania urządzeń. Należy jednak odróżniać prawne otwarcie dostępu do danych od faktycznej zmiany trwałości sprzętu lub zużycia zasobów.

Normatywny kierunek polityki wyraża również „Europejska deklaracja praw i zasad cyfrowych w cyfrowej dekadzie", opublikowana jako wspólna deklaracja Parlamentu Europejskiego, Rady i Komisji w 2023 r. Dokument akcentuje podmiotowość człowieka, włączenie społeczne, bezpieczeństwo i zrównoważony rozwój (Parlament Europejski, Rada i Komisja Europejska, 2023). Ma on charakter zobowiązania politycznego. Nie ustanawia samodzielnie bezpośrednio obowiązujących przepisów na zasadach właściwych rozporządzeniom.

Pomiar i zróżnicowanie zaawansowania

Podstawowym narzędziem monitorowania cyfryzacji państw członkowskich był indeks gospodarki cyfrowej i społeczeństwa cyfrowego (DESI). Od 2023 r. jego wskaźniki włączono do sprawozdawczości o stanie Cyfrowej Dekady. Najnowszy raport opublikowano 17 czerwca 2026 r. Komisja wskazuje w nim na postępy, ale także utrzymujące się luki w kompetencjach, zaawansowanych technologiach, zdolnościach obliczeniowych i koordynacji inwestycji (Komisja Europejska, 2026d). Współczesnej sprawozdawczości nie należy utożsamiać z prostą kontynuacją dawnego łącznego rankingu DESI. Podstawę oceny porównywalności stanowią definicje wskaźników i informacje o rewizjach danych przedstawione w nocie metodologicznej DESI 2026 (Komisja Europejska, 2026b).

Konieczne jest rozróżnienie roku publikacji, roku badania i okresu, którego dotyczą dane. Podstawę porównań powinny stanowić wskaźniki składowe wraz z dokumentacją zmian metodologicznych i przerw w szeregach. Dotyczy to również Digital Intensity Index (DII): dane za 2025 r. odnoszą się do wersji 3, natomiast dane za 2024 r. do wersji 4, opartej na innym zestawie składowych. Wartości tych wersji nie są bezpośrednio porównywalne. Ocena zmian w czasie wymaga sprawdzenia zgodności składowych, oznaczeń wersji i zakresu badanej populacji; różnicy odsetka przedsiębiorstw spełniających próg nie należy automatycznie uznawać za poprawę lub pogorszenie wykorzystania technologii cyfrowych (Eurostat. Digital Intensity Index).

Dane za 2025 r., opublikowane przez Eurostat w 2026 r., wskazują na szerokie wykorzystanie Internetu przy utrzymujących się niedoborach umiejętności i nierównościach wdrożeń. Zestawienie wybranych wskaźników przedstawia tabela 1. Wartości mają różne populacje odniesienia, dlatego nie tworzą jednej skali zaawansowania cyfrowego.

Tabela 1. Wybrane wskaźniki transformacji cyfrowej w UE w 2025 r.

Wskaźnik	Wartość	Okres odniesienia
Korzystanie z Internetu co najmniej raz w tygodniu, osoby 16–74 lata	93%	2025
Co najmniej podstawowe umiejętności cyfrowe, osoby 16–74 lata	60%	2025
Specjaliści ICT, osoby pracujące	10,4 mln	2025
Co najmniej podstawowa intensywność cyfrowa, badane MŚP (DII, wersja 3)	71%	2025
Zakup usług chmurowych, badane przedsiębiorstwa	53%	2025
Wykorzystanie AI, badane przedsiębiorstwa	20%	2025
Kontakt online z administracją lub usługami publicznymi, osoby 16–74 lata	58%	12 miesięcy przed badaniem w 2025 r.

Uwaga: podstawowy poziom DII w wersji 3 oznacza wykorzystanie co najmniej czterech z dwunastu uwzględnianych technologii lub spełnienie odpowiadających im kryteriów. Wskaźnik korzystania z administracji dotyczy zachowania użytkowników, a nie stopnia dostępności usług.
Źródło: (Eurostat, 2026a; 2026c).

Zróżnicowanie krajowe pozostaje znaczne. W 2025 r. co najmniej podstawowe umiejętności cyfrowe miało 84% osób w Niderlandach i 81% w Finlandii. Podstawową intensywność cyfrową osiągało 94% badanych MŚP w Finlandii i 38% w Bułgarii (Eurostat, 2026a)[3]. Wskaźniki przedsiębiorstw nie obejmują wszystkich mikroprzedsiębiorstw: badana populacja obejmuje zasadniczo podmioty zatrudniające co najmniej 10 osób w wybranych sektorach.

Zarządzanie transformacją cyfrową i sprawczość obywateli

Pojęcie *digital governance* odnosi się w przyjętym ujęciu do instytucji, reguł i procesów kierowania transformacją cyfrową oraz wykorzystywania danych i technologii w zarządzaniu publicznym. Obejmuje koordynację polityk, podział odpowiedzialności, współpracę instytucji i nadzór nad realizacją celów. Jego zakres wykracza poza elektroniczną obsługę spraw. O jakości zarządzania świadczy zdolność do wymiany danych, ograniczania obciążeń administracyjnych i reagowania na niezamierzone skutki wdrożeń. Ujęcie to odpowiada ramom OECD (2020), akcentującym organizacyjne i instytucjonalne warunki administracji cyfrowej.

[3] Wskaźniki przedsiębiorstw odnoszą się do badanej populacji podmiotów zatrudniających co najmniej 10 osób w objętych badaniem sektorach.

Digital empowerment oznacza wzmacnianie zdolności do samodzielnego działania i wywierania wpływu dzięki technologiom cyfrowym. W odniesieniu do osób i społeczności obejmuje świadome korzystanie z informacji, usług i praw, udział w decyzjach oraz realizację własnych celów. Maarit Mäkinen (2006) wiąże ten proces z uczestnictwem obywateli. Upodmiotowienie wymaga również dostępności usług, ochrony danych i możliwości uzyskania pomocy. Podobne warunki wpływają na zdolność organizacji do realizacji ich celów.

Znaczenie tego rozróżnienia ujawnia się w sytuacjach, w których formalna dostępność usługi online nie zapewnia użytkownikowi możliwości samodzielnego załatwienia sprawy. Barierami mogą być niezrozumiały język, trudności z uwierzytelnieniem lub niedostosowanie rozwiązania do potrzeb osób z niepełnosprawnościami. Rozwój usług elektronicznych należy zatem oceniać również pod względem ich użyteczności i rzeczywistej dostępności. W obszarze ochrony środowiska samo opublikowanie zbioru danych nie zapewnia skutecznej kontroli społecznej, jeżeli informacje są nieczytelne, a zgłoszenia obywateli nie spotykają się z reakcją właściwych instytucji.

Łączne uwzględnienie *digital governance* i *digital empowerment* pozwala powiązać rozwój infrastruktury i usług z rezultatami instytucjonalnymi oraz społecznymi. Pojęcia te pełnią funkcję interpretacyjną: pomagają ocenić, czy wdrożenie wzmacnia możliwość działania użytkowników i rozliczalność instytucji.

Ład cyfrowy (koordynacja) nie jest z definicji zdecentralizowany lub partycypacyjny. Technologie mogą wspierać współpracę, ale także wzmacniać koncentrację kontroli nad informacją. Istotne są więc reguły dostępu, nadzór nad automatyzacją i możliwość zakwestionowania rozstrzygnięcia. W UE instytucjonalne warunki współpracy uzupełnia akt w sprawie Interoperacyjnej Europy, rozporządzenie (UE) 2024/903, przewidujący między innymi oceny interoperacyjności w określonych przypadkach zmian wpływających na transgraniczne cyfrowe usługi publiczne (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2024/903, art. 3 i art. 23). Wymiana danych wymaga równoczesnego zapewnienia podstaw prawnych, bezpieczeństwa i ochrony praw użytkowników.

Przykład Ukrainy pokazuje znaczenie cyfryzacji dla ciągłości usług publicznych w warunkach wojny oraz dla przygotowania odbudowy. OECD (2025; 2026b) opisuje

rozwój platformy Diia, narzędzi wsparcia przedsiębiorstw i platformy DREAM służącej przejrzystemu zarządzaniu projektami odbudowy. Wskazuje także na znaczenie łączenia usług cyfrowych z obsługą stacjonarną i mobilną (OECD, 2025; 2026b). Rozwiązania te wspierają dostęp do świadczeń i informacji, ale ich skuteczność zależy od łączności, interoperacyjności, cyberbezpieczeństwa i zdolności administracji.

Cyfrowa przejrzystość projektów odbudowy może ułatwiać kontrolę wydatków i współpracę z partnerami europejskimi. Dla oceny środowiskowej istotne jest jednak to, jakie standardy przyjmują inwestycje i czy dostępne dane pozwalają rozliczać ich skutki. Samo prowadzenie projektu w systemie cyfrowym nie przesądza o jego zrównoważonym charakterze. Doświadczenie Ukrainy stanowi przykład znaczenia odporności i instytucji, a nie dowód jednolitego oddziaływania cyfryzacji we wszystkich krajach partnerskich.

UE w kontekście globalnego zróżnicowania cyfryzacji

Umiejscowienie UE na tle globalnym wymaga wspólnej podstawy pomiaru. Według ITU w 2025 r. z Internetu korzystało około 6 mld osób, czyli 74% ludności świata, a około 2,2 mld pozostawało offline. Udział użytkowników wynosił około 94% w krajach o wysokich dochodach i 23% w krajach o niskich dochodach (ITU, 2025; 2026). Europa w klasyfikacji ITU obejmuje szerszy zbiór państw niż UE. Ponadto szacunki dla całej ludności nie są bezpośrednio porównywalne z danymi Eurostatu dotyczącymi osób w wieku 16–74 lata. Wysoki udział użytkowników nie przesądza o zdolności do wytwarzania technologii, pozycji na rynkach platform ani jakości instytucji.

Globalny kontekst ma znaczenie także dla środowiska. Produkcja urządzeń, usługi obliczeniowe i zagospodarowanie odpadów są powiązane łańcuchami dostaw, dlatego europejska cyfryzacja może generować koszty poza UE. UNCTAD (UNCTAD, 2024) wskazuje na nierównomierny podział wartości dodanej i obciążeń środowiskowych. Współpraca z partnerami powinna zatem obejmować warunki wydobycia surowców, trwałość sprzętu i bezpieczne zagospodarowanie odpadów, obok rozwoju dostępu do usług.

Rozdział IV. Transformacja cyfrowa a zrównoważenie środowiskowe

Integracja europejska i powiązanie celów rozwojowych

Zrównoważony rozwój w prawie UE łączy cele gospodarcze, społeczne i środowiskowe. Artykuł 3 ust. 3 Traktatu o Unii Europejskiej wiąże rozwój Europy ze zrównoważonym wzrostem gospodarczym, społeczną gospodarką rynkową, pełnym zatrudnieniem, postępem społecznym oraz wysokim poziomem ochrony i poprawą jakości środowiska. Artykuł 11 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej nakazuje uwzględniać wymogi ochrony środowiska przy ustalaniu i realizacji polityk oraz działań Unii. Z kolei art. 191 ust. 2 TFUE wskazuje zasady ostrożności, działania zapobiegawczego, naprawiania szkody w pierwszym rzędzie u źródła i „zanieczyszczający płaci" (Traktat o Unii Europejskiej, art. 3 ust. 3). Ramy te uzasadniają ocenę transformacji cyfrowej przez pryzmat jej konsekwencji środowiskowych (Kawka, 2024).

W niniejszym rozdziale zrównoważenie środowiskowe oznacza ograniczanie presji na ekosystemy, racjonalne gospodarowanie zasobami oraz zmniejszanie zanieczyszczeń w perspektywie długookresowej. Stanowi ono jeden z wymiarów zrównoważonego rozwoju, obok wymiaru gospodarczego i społecznego. Rozróżnienie to ma znaczenie dla oceny cyfryzacji: obniżenie kosztów działalności nie musi prowadzić do spadku całkowitego zużycia zasobów, a poprawa dostępności usług może przynosić korzyści społeczne bez bezpośredniej redukcji emisji.

Integracja europejska może sprzyjać koordynacji tych celów poprzez wspólne standardy, wymianę danych, finansowanie badań i uzgadnianie kierunków inwestycji. Współdziałanie ma szczególne znaczenie w energetyce, transporcie i monitorowaniu środowiska, gdzie skutki decyzji wykraczają poza granice poszczególnych państw. Współpraca z krajami partnerskimi może ponadto wspierać rozwój infrastruktury, kompetencji i zdolności administracyjnych. Trwałość jej rezultatów zależy od

dostosowania wdrożeń do lokalnych potrzeb oraz zapewnienia zasobów niezbędnych do utrzymania systemów.

Ocena europejskiej polityki cyfrowej wymaga rozróżnienia zobowiązań prawnych i programowych od rezultatów. Poprawa krajowych wskaźników może współistnieć z obciążeniami w miejscach wydobycia surowców, produkcji urządzeń i przetwarzania odpadów. Z tego względu analiza powinna obejmować zarówno emisje terytorialne, jak i obciążenia związane z konsumpcją i importem. Uniknięcie przenoszenia kosztów wymaga współpracy z krajami partnerskimi i porównywalnych zasad raportowania.

Kanały oddziaływania i bilans środowiskowy

Wpływ transformacji cyfrowej na środowisko można rozpatrywać w trzech grupach oddziaływań. Pierwsza obejmuje bezpośrednie obciążenia związane z technologiami cyfrowymi: wydobycie surowców, produkcję urządzeń, budowę infrastruktury, zużycie energii i wody oraz powstawanie odpadów. Druga dotyczy zmian umożliwianych przez te technologie w innych sektorach, takich jak precyzyjne sterowanie instalacjami, ograniczanie strat materiałowych czy zastępowanie części podróży komunikacją zdalną. Trzecia obejmuje zmiany popytu, organizacji działalności i zachowań użytkowników, które wpływają na skalę wykorzystania technologii oraz ostateczne zużycie zasobów.

W grupie oddziaływań pośrednich istotny jest efekt odbicia. Wzrost efektywności i obniżenie kosztu usługi mogą zwiększać popyt, ograniczając pierwotne oszczędności. Sprawniejszy transport może pobudzać zapotrzebowanie na przewozy, a tańsze przetwarzanie danych zwiększać skalę usług obliczeniowych. Poprawa efektywności jednostkowej nie przesądza o spadku obciążenia całkowitego. Zależności te podkreślają Muench i współautorzy (2022) oraz Europejska Agencja Środowiska (EEA, 2023b)[4]. Efekt odbicia może częściowo lub całkowicie niwelować oszczędności; nie należy z góry zakładać jego wielkości.

Ustalenie bilansu środowiskowego wymaga porównania skutków wdrożenia z wiarygodnym scenariuszem jego braku. Ocena powinna obejmować cały cykl życia rozwiązania, w tym emisje, zużycie energii, wody i materiałów, a także możliwość

[4] Numer serii i tytuł odnoszą się do 2022 r.

przenoszenia obciążeń między krajami i okresami. Dodatni bilans zależy również od wykorzystania pozyskanych informacji do zmiany decyzji i procesów. Samo uruchomienie monitoringu nie zapewnia oszczędności, jeśli nie prowadzi do odpowiednich działań. Należy przy tym unikać podwójnego liczenia korzyści oraz dobierać granice oceny tak, aby uwzględniały nowe urządzenia, infrastrukturę i obciążenia związane z utrzymaniem rozwiązania.

Tabela 2. Wybrane zastosowania technologii cyfrowych i warunki uzyskiwania korzyści środowiskowych

Zastosowanie	Potencjalny mechanizm korzyści	Elementy wymagające uwzględnienia w ocenie
Sterowanie procesami produkcyjnymi i pracą instalacji w budynkach	Ograniczenie strat energii i materiałów	Zużycie całkowite, skala działalności, zasoby niezbędne do utrzymania systemu
Informacje o produktach i możliwościach naprawy	Wydłużenie okresu użytkowania, ponowne wykorzystanie produktów i materiałów	Rzeczywista trwałość, dostępność napraw, ilość powstających odpadów
Cyfrowe usługi publiczne	Ograniczenie podróży i zużycia materiałów, usprawnienie procedur	Cały przebieg obsługi sprawy, równoległe kanały obsługi, zużycie energii
Planowanie mobilności i logistyki	Ograniczenie pustych przebiegów, lepsze wykorzystanie pojazdów	Łączna praca przewozowa, wybór środków transportu, efekt odbicia
Inteligentne sieci energetyczne	Lepsze dopasowanie popytu do podaży energii	Emisyjność wytwarzania, straty energii, elastyczność i bezpieczeństwo systemu
AI i centra danych	Wsparcie prognozowania i optymalizacji procesów	Energia, woda i sprzęt potrzebne do obliczeń, cel zastosowania i zużycie całkowite

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Muench et al., 2022). EEA (2023a; 2023b) oraz IEA (2026).

Fundusze unijne i cyfryzacja przedsiębiorstw

Finansowanie unijne umożliwia łączenie inwestycji cyfrowych i środowiskowych. Rozporządzenie (UE) 2021/241 ustanawiające Instrument na rzecz Odbudowy i Zwiększania Odporności (RRF) przewidziało, zgodnie z metodami znakowania wydatków, co najmniej 20% alokacji planów na transformację cyfrową i co najmniej 37% na cele klimatyczne (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE, 2021/241, art. 18 ust. 4 lit. e i f, art. 19 ust. 3 lit. d i f oraz załączniki VI i VII)[5]. Progi określają strukturę

[5] Wymogi 37% i 20% nie są miarami osiągniętej redukcji emisji ani sumą odrębnych, rozłącznych kategorii wydatków.

finansowania. Nie oznaczają, że każda inwestycja cyfrowa realizuje cel klimatyczny, ani że oznaczenie wydatku potwierdza redukcję emisji. Kategorie mogą się częściowo pokrywać, dlatego nie należy traktować ich jako rozłącznych. W dacie aktualizacji RRF znajduje się już w fazie końcowego rozliczania. Termin realizacji kamieni milowych i wartości docelowych upłynął 31 sierpnia 2026 r., a termin składania ostatnich wniosków o płatność – 30 września 2026 r. Komisja może dokonywać płatności do 31 grudnia 2026 r. (Komisja Europejska, 2026c)[6]. Instrument należy więc analizować także z perspektywy trwałości rezultatów, dalszego utrzymania infrastruktury i kontynuacji finansowania po zakończeniu wypłat.

Możliwości wsparcia tworzą nadal programy „Cyfrowa Europa", „Horyzont Europa" oraz instrumenty polityki spójności w perspektywie 2021–2027. Mogą finansować zdolności technologiczne, badania, kompetencje i wdrożenia. Ocena wkładu środowiskowego wymaga prześledzenia związku między wsparciem, wykorzystaniem technologii i zmianą zużycia zasobów. Wartość wydatków i liczba beneficjentów informują o skali interwencji; jej skuteczność określają rezultaty oraz ich trwałość. Raport o stanie Cyfrowej Dekady 2026 wskazuje ponadto na ryzyko przerwania ciągłości inwestycji wraz z wygaszaniem RRF.

Na poziomie przedsiębiorstwa cel środowiskowy powinien poprzedzać wybór rozwiązania technologicznego. Może nim być ograniczenie strat surowców, zmniejszenie energochłonności procesu lub wydłużenie okresu użytkowania urządzeń. Pomiar rezultatów powinien uwzględniać zmiany wielkości produkcji, cen energii i warunków zewnętrznych, aby możliwe było wyodrębnienie efektów samego wdrożenia. Uzasadnia to łączenie inwestycji w sprzęt i oprogramowanie z rozwojem kompetencji, doradztwem oraz zdolnością oceny uzyskanych efektów.

Cyfrowy paszport produktu ilustruje wykorzystanie danych do racjonalnego gospodarowania zasobami. Rozporządzenie (UE) 2024/1781 o ekoprojekcie dla zrównoważonych produktów ustanowiło ramy takich paszportów, a plan prac na lata 2025–2030 z 16 kwietnia 2025 r. określił priorytetowe grupy produktów (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE, 2024/1781; Komisja Europejska,

[6] Terminy: kamienie milowe i wartości docelowe – 31.08.2026; ostatnie wnioski o płatność – 30.09.2026; płatności Komisji – 31.12.2026.

2025; Komisja Europejska. Digital Product Passport). Paszporty mają ułatwiać dostęp do danych potrzebnych do identyfikacji produktu, oceny jego właściwości i postępowania w cyklu życia. Ich zakres oraz terminy stosowania wynikają z wymogów dla poszczególnych grup, a nie z jednolitej daty wprowadzenia obowiązku dla wszystkich towarów.

Bardziej bezpośredni związek z trwałością sprzętu mają wymogi ekoprojektu i etykietowania energetycznego smartfonów oraz tabletów, zasadniczo stosowane od 20 czerwca 2025 r. Obejmują między innymi trwałość i naprawialność. Uzupełnia je dyrektywa (UE) 2024/1799 promująca naprawę towarów, z terminem transpozycji i stosowania przepisów krajowych 31 lipca 2026 r. (Rozporządzenie Komisji UE 2023/1670; rozporządzenie delegowane Komisji UE 2023/1669; Dyrektywa UE 2024/1799, art. 5 i art. 22)[7]. Zakres obowiązku naprawy jest określony prawem; nie obejmuje bezwarunkowo każdego urządzenia. Skutek środowiskowy zależy od faktycznej dostępności napraw, ich kosztów i wydłużenia okresu użytkowania produktów.

Administracja środowiskowa i cyfrowe zarządzanie miastami

Cyfryzacja administracji może wspierać ochronę środowiska poprzez usprawnienie obiegu informacji oraz zwiększenie zdolności instytucji do rozpoznawania zagrożeń i reagowania na nie. Elektroniczne rejestry, dane przestrzenne i narzędzia obserwacyjne ułatwiają kontrolę działalności oraz ocenę skutków interwencji publicznych. Ich przydatność zależy od jakości danych, możliwości ich łączenia i wykorzystania w procedurach decyzyjnych. Rozwój zasobów informacyjnych powinien więc iść w parze z zapewnieniem kompetencji i uprawnień do podejmowania działań.

Istotne są europejskie systemy danych, w tym program obserwacji Ziemi Copernicus i infrastruktura informacji przestrzennej rozwijana na podstawie dyrektywy INSPIRE (2007/2/WE) (Rozporządzenie UE 2021/696; dyrektywa 2007/2/WE; Copernicus. About Copernicus). Ułatwiają monitorowanie zmian środowiska i wymianę informacji ponad granicami. Zasoby satelitarne i przestrzenne mogą wspierać ocenę ryzyka powodzi, zmian użytkowania gruntów lub stanu ekosystemów. Ich rezultat zależy od

[7] Termin transpozycji i stosowania przepisów krajowych: 31.07.2026.

jakości interpretacji, włączenia informacji do procedur decyzyjnych i zdolności instytucji do wykonania działań.

Na poziomie miast technologie cyfrowe wspierają zarządzanie budynkami, oświetleniem, wodą, odpadami i mobilnością. Czujniki umożliwiają wykrywanie wycieków, dostosowywanie oświetlenia i planowanie odbioru odpadów. Dane o budynkach i zużyciu energii pomagają ustalać priorytety modernizacji. Katarzyna Boratyńska z zespołem (2021) omawiają inteligentne miasta w szerszym kontekście gospodarki cyfrowej. Ocena konkretnego wdrożenia wymaga jednak danych o rzeczywistym zużyciu zasobów, kosztach systemu i jakości świadczonej usługi.

Skuteczność takich wdrożeń wymaga współpracy jednostek odpowiedzialnych za poszczególne usługi oraz możliwości wymiany danych między systemami. Uzależnienie od jednego dostawcy może ograniczać elastyczność rozwiązań i zwiększać koszty ich utrzymania. Konieczne jest również określenie odpowiedzialności za cyberbezpieczeństwo, ochronę prywatności i ciągłość świadczenia usług podstawowych. Ocena powinna koncentrować się na tym, czy wdrożenie rozwiązuje konkretny problem mieszkańców i ogranicza presję środowiskową.

Proces ten może wzmacniać cyfrowe uczestnictwo obywateli, obejmujące dostęp do informacji, udział w konsultacjach i zgłaszanie problemów środowiskowych. Łączy ono instytucjonalny wymiar *digital governance* ze sprawczością użytkowników, ujmowaną jako *digital empowerment*. Znaczenie ma przy tym sposób rozpatrywania zgłoszeń i informowania mieszkańców o podjętych działaniach. Liczba pobrań aplikacji lub przesłanych zawiadomień mierzy aktywność użytkowników, natomiast skuteczność uczestnictwa wymaga oceny reakcji instytucji i uzyskanej poprawy.

Cyfryzacja transportu i ograniczanie emisji CO_2

W transporcie technologie cyfrowe mogą wspierać redukcję emisji poprzez lepsze wykorzystanie pojazdów i infrastruktury, koordynację dostaw oraz poprawę dostępności transportu zbiorowego. Informacje o ruchu i połączeniach ułatwiają planowanie podróży, a integracja rozkładów jazdy i płatności sprzyja łączeniu różnych środków transportu. W logistyce narzędzia analityczne wspomagają konsolidację dostaw i ograniczanie pustych przebiegów.

Usprawnienie przejazdów nie zawsze ogranicza ruch. Płynniejsza podróż może zmniejszać jednostkowe zużycie paliwa, a zarazem podnosić atrakcyjność transportu samochodowego i popyt na przejazdy. EEA (2023) wskazuje, że bilans cyfryzacji mobilności zależy także od zachowań użytkowników i działań towarzyszących (EEA, 2023b)[8]. Narzędzia cyfrowe należy więc analizować łącznie z transportem zbiorowym, zagospodarowaniem przestrzennym i zarządzaniem popytem, zamiast utożsamiać płynność ruchu z ograniczeniem emisji.

Podobne zależności występują w przypadku pracy zdalnej. Ograniczenie dojazdów może zmniejszać emisje, lecz ocena całkowitego efektu wymaga uwzględnienia zużycia energii w mieszkaniach i biurach, dodatkowych podróży oraz ewentualnych zmian miejsca zamieszkania (Hook et al., 2020; O'Brien & Aliabadi, 2020). Korzyści zależą więc od całokształtu zmian aktywności, a nie wyłącznie od liczby podróży zastąpionych komunikacją elektroniczną (Tao et al., 2023).

Mix energetyczny na przykładzie Finlandii i Szwecji

Struktura wytwarzania energii elektrycznej istotnie wpływa na ślad węglowy technologii cyfrowych. Taka sama ilość energii zużytej przez urządzenia, sieć lub centrum danych może wiązać się z różnym poziomem emisji w zależności od źródeł zasilania. Jednocześnie technologie cyfrowe wspierają integrację zmiennych źródeł odnawialnych poprzez prognozowanie produkcji, zarządzanie popytem i koordynację pracy sieci. Należy zatem uwzględniać zarówno wpływ elektroenergetyki na środowiskowy bilans cyfryzacji, jak i wykorzystanie cyfryzacji do przekształcania systemu energetycznego.

Finlandia i Szwecja łączą rozwinięte zastosowania cyfrowe z wysokim udziałem OZE (odnawialnych źródeł energii). Według wstępnych danych Eurostatu za 2025 r. udział energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii brutto wyniósł 65,4% w Szwecji i 53,0% w Finlandii, wobec 26,2% w UE (Eurostat, 2026b)[9]. Są to szacunki za 2025 r., opublikowane w 2026 r., podlegające późniejszym rewizjom. Wskaźnik dotyczy wszystkich nośników energii, a nie wyłącznie energii elektrycznej, dlatego sam nie

[8] Numer serii i tytuł odnoszą się do 2022 r.; w tekście zastosowano rok publikacji 2023 wskazany przez EEA
[9] Zbiór nrg_ind_ren. Dane za 2025 r. mają charakter wstępny.

określa emisyjności zasilania infrastruktury cyfrowej. Wysoki udział OZE nie wyczerpuje charakterystyki niskoemisyjnego systemu elektroenergetycznego. W odniesieniu do Szwecji IEA (2024) podkreśla rolę hydroenergetyki, energetyki jądrowej i wiatrowej (IEA, 2024). Energia odnawialna i niskoemisyjna mają odmienne zakresy pojęciowe. Dla oszacowania emisji infrastruktury cyfrowej bardziej bezpośrednia jest emisyjność zużywanej energii elektrycznej, z uwzględnieniem miejsca i czasu poboru, importu oraz przyjętej metody przypisywania emisji.

Mix energetyczny należy traktować jako czynnik modyfikujący zależność między cyfryzacją a emisjami. Bilans może różnić się między gospodarkami korzystającymi z wysokoemisyjnych i niskoemisyjnych źródeł. Wysoki udział OZE nie oznacza braku innych presji, takich jak zużycie surowców, wody i powierzchni.

Centra danych i sztuczna inteligencja

Wzrost zastosowań AI zwiększa znaczenie materialnego zaplecza gospodarki cyfrowej. IEA (2026) szacuje, że centra danych zużyły w 2025 r. około 485 TWh energii elektrycznej, o 17% więcej niż rok wcześniej. Jej aktualna projekcja przewiduje około 950 TWh w 2030 r., czyli blisko 3% światowego zapotrzebowania na energię elektryczną (IEA, 2026)[10]. Są to dane o centrach danych ogółem, nie wyłącznie o AI. Wielkość za 2030 r. ma charakter scenariuszowy i zależy od wdrożeń, efektywności oraz ograniczeń infrastrukturalnych. Przypadek AI pokazuje, dlaczego efektywność pojedynczego zadania nie opisuje całego bilansu. Oszczędniejsze modele i urządzenia mogą obniżać zużycie jednostkowe, podczas gdy liczba zadań i udział bardziej wymagających zastosowań zwiększają zapotrzebowanie ogółem. Należy zatem odrębnie mierzyć koszty trenowania i użytkowania modeli, skalę usług i obciążenia infrastruktury. Zastosowanie AI do oszczędzania energii w innym sektorze wymaga porównania uzyskanej oszczędności z kosztem obliczeń, sprzętu i utrzymania systemu.

W Unii Europejskiej dyrektywa (UE) 2023/1791 oraz rozporządzenie delegowane (UE) 2024/1364 wprowadziły monitoring centrów danych z zapotrzebowaniem na moc zainstalowanych urządzeń IT wynoszącym co najmniej 500 kW. Raportowanie obejmuje

[10] 485 TWh jest szacunkiem za 2025 r.; około 950 TWh w 2030 r. jest projekcją, a nie wielkością zaobserwowaną.

między innymi energię, wodę i wykorzystanie ciepła odpadowego. Komisja zaproponowała ponadto 21 września 2026 r. wspólny system oceny centrów danych (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2023/1791, art. 12 i załącznik VII; rozporządzenie delegowane Komisji UE 2024/1364; Komisja Europejska. Energy performance…). Propozycję należy odróżnić od już obowiązującego raportowania. Wskaźnik PUE (*Power Usage Effectiveness*), czyli stosunek zużycia energii całego centrum do zużycia urządzeń IT, nie mierzy samodzielnie emisji, presji wodnej ani kosztów produkcji urządzeń. Dla lokalizacji centrów danych znaczenie mają dostęp do energii niskoemisyjnej, możliwości sieci oraz dostępność wody. Odzysk ciepła może wspierać ogrzewanie, jeżeli istnieje odbiorca i odpowiednia infrastruktura; nie jest korzyścią automatyczną. Wykorzystanie OZE powinno być oceniane także przez zgodność czasową dostaw i zapotrzebowania. Roczna deklaracja pokrycia zużycia energią odnawialną nie opisuje sama w sobie fizycznego zasilania instalacji w każdej godzinie.

Granice korzyści i warunki odpowiedzialnej transformacji

Ocena cyfryzacji wymaga uwzględnienia napięć między efektywnością jednostkową a skalą działalności, cyfrową formą usług a materialnym zapleczem oraz korzyściami lokalnymi a kosztami poza granicami kraju. Analiza cyklu życia powinna obejmować pozyskanie surowców, produkcję, użytkowanie i zagospodarowanie urządzeń po zakończeniu eksploatacji. Recykling nie zastępuje działań ograniczających przedwczesną wymianę sprzętu i wzrost zapotrzebowania materiałowego.

Skalę problemu odpadów obrazuje The Global E-waste Monitor 2024. W 2022 r. na świecie powstało około 62 mln ton zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego; udokumentowane formalne zbieranie i recykling objęły 22,3% tej masy (ITU i UNITAR, 2024)[11]. Wartości dotyczą ogółu takiego sprzętu, nie tylko ICT, i nie są danymi za 2024 lub 2026 r. Pokazują ograniczenia gospodarki o obiegu zamkniętym, lecz nie pozwalają przypisać całego strumienia odpadów transformacji cyfrowej.

Odpowiedzialna transformacja powinna łączyć energooszczędne projektowanie systemów z wydłużaniem okresu użytkowania sprzętu, możliwością naprawy

[11] Dane o wytwarzaniu i udokumentowanym zbieraniu oraz recyklingu dotyczą 2022 r. i ogółu zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego.

i właściwym postępowaniem z odpadami. Zakres gromadzonych danych i moc obliczeniowa powinny odpowiadać celowi wdrożenia. Ocena utrzymania systemu obejmuje także aktualizacje, bezpieczeństwo, dostępność części i zdolność organizacji do korzystania z rozwiązania przez cały okres eksploatacji. W zamówieniach publicznych można uwzględniać te wymagania razem z kosztami cyklu życia, zachowując proporcjonalność kryteriów do przedmiotu zamówienia.

Trwałość korzyści zależy również od społecznych warunków wdrożenia. Usługi cyfrowe powinny pozostawać dostępne dla osób o zróżnicowanych kompetencjach i potrzebach, a sposób wykorzystania danych powinien umożliwiać świadome podejmowanie decyzji. Zaufanie użytkowników, ochrona ich praw i możliwość uzyskania pomocy wpływają na gotowość do korzystania z rozwiązań wspierających cele środowiskowe. Uzasadnia to koordynację polityki technologicznej, środowiskowej i społecznej.

Wnioski dla pomiaru zależności między cyfryzacją a środowiskiem

Przegląd uzasadnia łączenie wskaźników rozwoju cyfrowego z odrębnymi miarami presji środowiskowej. DII, zasięg sieci lub dostępność usług online informują o wdrażaniu technologii; nie mierzą bezpośrednio oszczędności zasobów. Rezultaty wymagają wskaźników emisji, energii, wody i materiałów, najlepiej odniesionych także do wolumenu działalności i kontrfaktycznego scenariusza bez wdrożenia. Osobno należy badać korzyści z zastosowań cyfrowych i koszty ich materialnego zaplecza.

W edycji DESI 2026 monitoring rozszerzono również o emisje gazów cieplarnianych sektora ICT, ich udział w emisjach całej gospodarki oraz recykling i przygotowanie do ponownego użycia wybranych kategorii zużytego sprzętu. Dane o emisjach odnoszą się do 2022 r., a o odpadach do 2023 r. Wskaźnik recyklingu obejmuje masę odpadów poddanych recyklingowi lub przygotowanych do ponownego użycia w relacji do masy zebranych odpadów z dwóch kategorii sprzętu, a nie do ogółu wytworzonych elektroodpadów (Komisja Europejska, 2026b). Rozszerzenie to ułatwia zestawienie cyfryzacji z presją środowiskową, lecz nie zastępuje oceny cyklu życia ani analizy przyczynowej korzyści z wdrożeń.

Badanie na poziomie państw powinno uwzględniać opóźnienia między inwestycją a rezultatem, emisyjność energii, strukturę gospodarki, dochód oraz jakość instytucji.

Istotne jest także sprawdzenie, czy związek cyfryzacji z emisjami zmienia się wraz z miksem energetycznym. Wzrost cyfryzacji może wynikać z tych samych uwarunkowań co poprawa środowiskowa, a wpływ może działać w obu kierunkach.

Rozdział V. Metodyka badania

Celem rozdziału jest przedstawienie projektu badania zależności między zaawansowaniem transformacji cyfrowej a wybranymi wynikami środowiskowymi gospodarek UE. Określono problem badawczy, cele i zakres analizy, pytania badawcze, źródła danych, kryteria doboru wskaźników oraz kolejne etapy postępowania.

Rozdział odpowiada na trzy pytania metodyczne:

1) Jakie dane ilościowe umożliwiają porównywalny pomiar zaawansowania transformacji cyfrowej i wybranych aspektów zrównoważenia środowiskowego w państwach UE?
2) Jakie zależności między tymi zjawiskami można rozpoznać na podstawie dostępnych danych oraz jakimi metodami można je analizować?
3) Jak zaprojektować proces badawczy, aby zapewnić spójność pomiaru, przejrzystość procedur i ostrożność interpretacji wyników?

Problem badawczy

Wykorzystanie technologii informacyjno-komunikacyjnych zmienia sposoby produkcji, świadczenia usług, komunikowania się i zarządzania. Przemiany te mogą wpływać na środowisko poprzez zużycie energii i materiałów przez infrastrukturę cyfrową, usprawnienie gospodarowania zasobami oraz zmiany zachowań producentów i konsumentów. Poprawa efektywności jednostkowej może przy tym współistnieć ze wzrostem skali działalności, a w konsekwencji ze zwiększeniem całkowitej presji środowiskowej.

Problem badawczy polega na ustaleniu, czy państwa o wyższym poziomie zaawansowania cyfrowego charakteryzują się korzystniejszymi wynikami środowiskowymi, które wymiary cyfryzacji wykazują z nimi najsilniejsze związki oraz jakie uwarunkowania mogą wyjaśniać obserwowane różnice. Badanie obejmuje również

rozpoznanie, czy zmiany wybranych mierników cyfryzacji współwystępują ze zmianami wskaźników środowiskowych w czasie.

Ramy pojęciowe tworzą cztery powiązane obszary: infrastruktura i łączność, umiejętności cyfrowe, cyfryzacja przedsiębiorstw oraz cyfrowe usługi publiczne. Są one zgodne z obecnym układem monitorowania Cyfrowej Dekady. Wykorzystanie wcześniejszych danych DESI wymaga uwzględnienia zmian konstrukcji indeksu: starsze edycje wyodrębniały także korzystanie z usług internetowych, a od 2023 r. DESI stanowi część monitoringu Cyfrowej Dekady. Czterech obszarów nie należy zatem traktować jako niezmiennej struktury wszystkich edycji z lat 2018–2025 (Komisja Europejska, 2024a, 2024c, 2025).

Zaawansowanie cyfrowe i wyniki środowiskowe mogą zależeć od wspólnych uwarunkowań, takich jak poziom dochodu, struktura gospodarki, instytucje i mix energetyczny.

Cele i zakres badań

Głównym celem badania jest identyfikacja i charakterystyka mierzalnych zmian transformacji cyfrowej oraz wyników środowiskowych gospodarek UE.

Cele szczegółowe obejmują porównanie profili cyfryzacji, ocenę zmian wskaźników środowiskowych.

Zakres podmiotowy obejmuje stały zbiór 27 państw członkowskich UE według składu po wystąpieniu Wielkiej Brytanii. Ten sam zestaw państw zostanie zastosowany również do danych z lat 2018-2019. Rozwiązanie to zapewnia stały zakres porównań.

Zakres przedmiotowy obejmuje zasoby i zastosowania technologii cyfrowych oraz wyniki środowiskowe związane z emisjami. Jednostką analizy jest państwo w określonym roku.

Zakres czasowy obejmuje lata 2018-2025 (w zależności od dostępności danych). Nie oznacza to założenia dostępności pełnego, porównywalnego szeregu dla każdego wskaźnika. Do porównań łączących cztery obszary cyfryzacji proponuje się przekrój dla 2023 r., w którym dostępny jest pomiar podstawowych umiejętności cyfrowych. Analiza

dynamiki obejmie te wskaźniki, dla których audyt danych potwierdzi porównywalność w dłuższym okresie.

Wybór ostatecznego zestawu zmiennych i przekrojów zostanie zamknięty po sprawdzeniu kompletności danych. Dla każdej analizy zostanie podana faktyczna liczba państw i obserwacji. Teoretyczna liczba 189 obserwacji państwo - rok dla UE-27 w latach 2018-2025 jest górną granicą, a nie deklarowaną wielkością dostępnej bazy.

Pytania badawcze

Główne pytanie badawcze całego opracowania przyjmuje następującą postać:

P: Jakie zależności występują między zaawansowaniem transformacji cyfrowej a wybranymi wynikami środowiskowymi gospodarek UE oraz jakie uwarunkowania mogą wyjaśniać ich zróżnicowanie?

Pytanie główne rozwijają pytania szczegółowe empirycznej części opracowania:

P1: W jaki sposób dane DESI, Cyfrowej Dekady i Eurostatu umożliwiają pomiar transformacji cyfrowej oraz jakie ograniczenia ich porównywalności występują w latach 2018–2024?

P2: Jak kształtuje się poziom i zróżnicowanie zaawansowania cyfrowego państw UE w czterech przyjętych obszarach?

P3: Jaki poziom i kierunek zmian wykazują wybrane wskaźniki środowiskowe w badanych państwach?

P4: Jakie grupy państw można wyodrębnić na podstawie podobieństwa profili cyfryzacji i jak różnią się one pod względem wyników środowiskowych?

Pytania te odzwierciedlane są w zarysowanych we Wprowadzeniu pytaniu *Q3. Jaki jest stopień zaawansowania transformacji cyfrowej w Unii Europejskiej?* oraz pytaniu *Q4. Za pośrednictwem jakich mechanizmów i w jakich warunkach transformacja cyfrowa może wspierać realizację celów środowiskowych w państwach UE?*

Metody badawcze

Badanie łączy przegląd literatury i dokumentów programowych z analizą porównawczą danych wtórnych oraz studiami przypadków. Podstawowymi źródłami będą dane Komisji Europejskiej z monitoringu DESI i Cyfrowej Dekady, badania wykorzystania ICT prowadzone w ramach Europejskiego Systemu Statystycznego oraz statystyki środowiskowe Eurostatu i Europejskiej Agencji Środowiska.

Dobór wskaźników wynika z przyjętych pojęć i przewidywanych mechanizmów zależności. Kryteria obejmują trafność treściową, dostępność dla państw UE, porównywalność definicji, zakres czasowy i ograniczenie powielania informacji. Poniższe zestawienia stanowią propozycję operacjonalizacji; ostateczne włączenie zmiennych wymaga sprawdzenia kompletu obserwacji i metadanych.

Tabela 3. Proponowane mierniki zaawansowania cyfrowego

Obszar	Miernik podstawowy	Źródło i zakres interpretacji
Infrastruktura i łączność	Zasięg stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN), % gospodarstw domowych	Komisja Europejska, monitoring DESI/Cyfrowej Dekady. Miernik dostępności infrastruktury, wymagający kontroli definicji w czasie.
Umiejętności cyfrowe	Osoby z co najmniej podstawowymi umiejętnościami, % osób w wieku 16–74 lata	Eurostat: isoc_sk_dskl_i21. Pomiar oparty na deklarowanych aktywnościach; w badanym okresie nowa metodologia obejmuje 2021 i 2023 r.
Cyfryzacja przedsiębiorstw	MŚP z co najmniej podstawową intensywnością cyfrową, % badanych MŚP	Eurostat: isoc_e_dii. Jedna wersja DII w danym porównaniu; konieczna zgodność zakresu sektorowego i wielkości przedsiębiorstw.
Cyfrowe usługi publiczne	Dostępność kluczowych usług online dla obywateli i dla przedsiębiorstw, dwa wyniki w skali 0–100	Komisja Europejska, eGovernment Benchmark/Cyfrowa Dekada. Dostępność usług należy odróżnić od faktycznego wykorzystania i satysfakcji użytkowników.

Źródło: opracowanie własne na podstawie dokumentacji Komisji Europejskiej i Eurostatu.

Tabela 4. Proponowane mierniki wyników środowiskowych

Miernik	Jednostka i źródło	Znaczenie w badaniu
Emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca, wariant bez LULUCF	Tony ekwiwalentu CO2 na osobę; Eurostat/EEA: sdg_13_10, odpowiedni wariant inwentaryzacji	Podstawowa miara presji emisyjnej. Utrzymanie tego samego zakresu gazów i sektorów we wszystkich porównaniach.

Miernik	Jednostka i źródło	Znaczenie w badaniu
Końcowe zużycie energii na mieszkańca	Tony oleju ekwiwalentnego na osobę; Eurostat: sdg_07_11	Podstawowa miara skali wykorzystania energii, interpretowana z uwzględnieniem klimatu i struktury produkcji.
Krajowe zużycie materiałów (DMC) na mieszkańca	Tony na osobę; Eurostat: env_ac_mfa	Podstawowa miara wykorzystania materiałów w gospodarce; nie obejmuje pełnego śladu materiałowego importu.
Wskaźnik cyrkularnego wykorzystania materiałów	%; Eurostat: env_ac_cur, także sdg_12_41	Udział materiałów odzyskanych i ponownie wprowadzanych do gospodarki w całkowitym wykorzystaniu materiałów.
Produktywność zasobów	PPS/kg w przekroju krajowym; miara oparta na PKB w cenach stałych w analizie zmian; Eurostat: env_ac_rp	Miernik uzupełniający, opisujący PKB w relacji do DMC. Wymaga uwzględnienia obecności PKB w konstrukcji wskaźnika.

Źródło: opracowanie własne na podstawie metadanych Eurostatu dotyczących emisji, energii i rachunków przepływów materiałowych.

Proces badawczy będzie przebiegał od zdefiniowania pojęć i wyboru danych do porównania wyników ilościowych z ustaleniami studiów przypadków. Decyzje o zakresie próby, wskaźnikach podstawowych i wariantach analizy zostaną zapisane przed oceną uzyskanych zależności.

Tabela 5. Etapy postępowania badawczego

Etap	Działanie	Rezultat
1	Przegląd literatury i dokumentów UE; określenie mechanizmów i pytań	Rama pojęciowa oraz rozróżnienie zasobów, zastosowań i wyników
2	Audyt wskaźników i metadanych dla UE-27 w latach 2018–2024	Macierz dostępności danych oraz wykaz przerw i ograniczeń
3	Ustalenie przekrojów, filtrów i zakresu porównywalnych szeregów	Udokumentowana baza państwo–rok i ostateczna lista zmiennych
4	Statystyka opisowa, analiza zmian i profili cyfryzacji	Charakterystyka zróżnicowania państw i wyników środowiskowych
5	Analiza korelacji i skupień; porównanie wyników środowiskowych grup	Ocena współwystępowania zjawisk i typologia profili cyfryzacji
6	Synteza wyników	Wnioski empiryczne oraz kierunki dalszych badań

Źródło: opracowanie własne.

Rozdział VI. Audyt wskaźników transformacji cyfrowej i zrównoważonego rozwoju dla UE-27 w latach 2018-2025

Na podstawie bazy danych dostępnej jako narzędzie *Digital Decade DESI visualisation tool* (Digital Decade DESI visualisation tool) dokonano audytu dostępności wskaźników opisujących procesy cyfryzacyjne w państwach Unii Europejskiej.

Wzięto pod uwagę okres od roku 2018 do roku 2025, dodając tym samym jeszcze jeden rok do zakresu wyznaczonego w metodyce. Spowodowane było to różną częstotliwością pomiarów niektórych wskaźników, a tym samym dostępnością danych. O ile dla większości wskaźników są dostępne dane za rok 2024, o tyle warto podkreślić, że sama metodyka pomiarów niektórych zjawisk zmienia się sukcesywnie. Powoduje to brak możliwości wykorzystywania tych samych wskaźników w dłuższych okresach a tym samym niską możliwość opracowywania na ich podstawie mierników syntetycznych. Poniższa tabela 3 prezentuje dostępność poszczególnych wskaźników w czterech grupach DESI, tj. *Infrastruktura cyfrowa*, *Umiejętności cyfrowe*, *Cyfrowa transformacja przedsiębiorstw*, *Cyfryzacja usług publicznych*.

Tabela 6. Dostępność wskaźników szczegółowych w ramach czterech grup DESI

Grupa i wskaźniki	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Infrastruktura cyfrowa								
Zasięg 5G w paśmie 3,4–3,8 GHz					x	x	x	x
Udział kart SIM 5G w populacji						x	x	
Pasmo 5G		x	x	x	x	x	x	x
Pobór stałego łącza szerokopasmowego o przepustowości min. 1 Gb/s		x	x	x	x			
Pobór stałego łącza szerokopasmowego o przepustowości min. 100 Mb/s	x	x	x	x	x			
Węzły brzegowe								x
Zasięg światłowodu do lokalu (FTTP)								x
Zasięg stacjonarnej sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN)		x	x	x	x	x	x	x
Pobór mobilnego łącza szerokopasmowego	x			x		x		
Całkowity zasięg 5G			x	x	x	x	x	x

Grupa i wskaźniki	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Całkowity popyt na internet	x	x	x	x	x	x	x	
Udział abonamentów na stały dostęp szerokopasmowy ≥ 1 Gb/s				x	x	x	x	
Udział abonamentów na stały dostęp szerokopasmowy ≥ 100 Mb/s				x	x	x	x	
Umiejętności cyfrowe								
Umiejętności cyfrowe powyżej poziomu podstawowego				x		x		x
Co najmniej podstawowe umiejętności cyfrowe				x		x		
Absolwenci kierunków ICT	x	x	x	x	x			
Specjaliści ICT	x	x	x	x	x	x	x	x
Korzystanie z Internetu	x	x	x	x	x	x	x	
Cyfrowa transformacja przedsiębiorstw								
Sztuczna inteligencja, chmura lub analityka danych						x	x	
Sztuczna inteligencja				x		x	x	x
Big data	x		x					
Chmura				x		x	x	x
Analityka danych								x
Obroty w handlu elektronicznym (e-commerce)	x	x	x	x	x	x	x	
E-faktury	x		x			x		
Elektroniczna wymiana informacji		x		x		x		
MŚP prowadzące sprzedaż online	x	x	x	x	x	x	x	
MŚP prowadzące transgraniczną sprzedaż online		x		x				
MŚP o co najmniej podstawowym poziomie intensywności cyfrowej*				x	x	x	x	x
Media społecznościowe		x		x		x		
Jednorożce	x	x	x	x	x	x	x	x
Cyfryzacja usług publicznych								
Dostęp do elektronicznej dokumentacji medycznej					x	x	x	x
Cyfrowe usługi publiczne dla przedsiębiorstw	x	x	x	x	x	x	x	
Cyfrowe usługi publiczne dla obywateli	x	x	x	x	x	x	x	
Użytkownicy e-administracji*	x	x	x	x	x	x	x	x
Dostosowanie do urządzeń mobilnych	x	x	x	x	x	x	x	
Wstępnie wypełnione formularze	x	x	x	x	x	x	x	
Przejrzystość świadczenia usług, ich projektowania i przetwarzania danych osobowych	x	x	x	x	x	x	x	
Wsparcie dla użytkownika	x	x	x	x	x	x	x	

Uwagi: *-wskaźniki w bazie są oznaczone dwojako: (1) *MŚP o co najmniej podstawowym poziomie intensywności cyfrowej* zawiera: (a) *MŚP o co najmniej podstawowym poziomie intensywności cyfrowej* (*DII v3, lata dostępne: 2021 i 2023)* oraz (b) *MŚP o co najmniej podstawowym poziomie intensywności cyfrowej (DII v4, lata dostępne: 2022 i 2024)*; (2) *Użytkownicy e-administracji* zawiera: (a) *Użytkownicy e-administracji* oraz (b) *Użytkownicy e-administracji (do 2021)*.
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Digital Decade DESI visualisation tool).

Na 273 możliwe wartości wskaźników, za okres 2018-2025 dostępnych było 146 (53,47%). Najwięcej braków było w grupie *Cyfrowa transformacja przedsiębiorstw*, gdzie spośród możliwych 91 wartości, dostępnych było tylko 38 (odsetek braków wyniósł 58,24%). Najpełniejszą grupą była *Cyfryzacja usług publicznych*, w której na 56 potencjalnych wartości w badanym okresie dostępnych było 46 wartości, zaś odsetek braków wyniósł jedynie 17,85%[12].

[12] Dla grupy: Infrastruktura cyfrowa dostępnych było 42 wskaźniki na 91 wskaźników (odsetek braków wyniósł 53,84%), dla grupy: Umiejętności cyfrowe dostępnych było 20 wskaźniki na 35 wskaźników (odsetek braków wyniósł 42,85%).

Rozdział VII. Ustalenie przekrojów i zakresu porównywalnych szeregów

Jak wskazano w części metodycznej, wszystkie wskaźniki opisywały 27 krajów Unii Europejskiej. Analizując dostępność wszystkich wartości, należało zwrócić uwagę, że niektóre wskaźniki były dostępne w różnych przekrojach, stąd też ogółem do dyspozycji w trakcie analizy było 6727 różnych wartości pośród wszystkich 39(41)[13] różnych wskaźników szczegółowych. Spośród tych 6727 wartości jedynie 43 nie posiadało zakresu liczbowego, co oznaczało brak danych dla zjawiska[14].

Tabela 7. Braki w wartości wskaźników DESI

Grupa i wskaźniki	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Infrastruktura cyfrowa								
Udział kart SIM 5G w populacji						Grecja Finlandia	Grecja Finlandia	
Udział abonamentów na stały dostęp szerokopasmowy ≥ 1 Gb/s					Chorwacja			
Cyfrowa transformacja przedsiębiorstw								
Big data			Grecja					
Obroty w handlu elektronicznym (e-commerce)	Luksemburg Malta Polska Słowenia Finlandia	Luksemburg Malta Polska Finlandia	Belgia Grecja Luksemburg Polska Finlandia	Polska Luksemburg Finlandia	Luksemburg Finlandia	Włochy Luksemburg Słowenia Finlandia	Luksemburg Holandia Finlandia	
E-faktury			Grecja					
MŚP prowadzące sprzedaż online			Grecja					

[13] Różnica w liczebności wskaźników wynika z faktu, że w oryginalnej bazie DESI dwa ze wskaźników (oznaczonych w tabeli 3.1 gwiazdką) jest dostępnych w dwóch różnych formach. Jednakże, dla zapewnienia przejrzystości oraz z faktu, że wskaźniki te nie różnią się metodyczne wiele, w tabeli 3.1 oraz w dalszej części opracowania będą przedstawiane zbiorczo.

[14] Wśród tych braków, znajdują się także braki odnoszące się do powtarzanych wskaźników. Przykładowo, braki danych dla wskaźnika Big data dla Grecji za rok 2020 pierwotnie wskazane w raporcie DESI 2021, zostały powtórzone w bazie również dla raportu DESI 2022 i DESI 2023. Podobnie dane dla wskaźnika e-Faktury dla tego kraju. Podobnie miało to miejsce dla wskaźnika MŚP prowadzące transgraniczną sprzedaż online dla Malty.

Grupa i wskaźniki	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
MŚP prowadzące transgraniczną sprzedaż online		**Malta**						

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Po dokonaniu przeglądu technicznego dostępności wskaźników, zdecydowano się na wybór tzw. wskaźników-reprezentantów dla poszczególnych grup DESI. Wybór ten był uzasadniony merytorycznie, treścią znaczeniową danego wskaźnika.

Dla grupy *Infrastruktura i łączność* wybrany został wskaźnik *Zasięg stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN)*, który przedstawia % gospodarstw domowych objętych tą siecią. Wskaźnik ten jest dostępny za lata 2019-2025.

Dla grupy *Umiejętności cyfrowe* wybrany został wskaźnik *Osoby z co najmniej podstawowymi umiejętnościami,* który wskazuje odsetek osób w wieku od 16 do 74 lat posiadających te umiejętności. Wskaźnik ten mierzony jest w cyklu dwuletnim, co powoduje, że w obecnej jego konstrukcji dane dostępne są za lata 2021, 2023 oraz 2025. Warto zaznaczyć, że w bazie Eurostat figuruje archiwalny wskaźnik „Osoby posiadające podstawowe i wyżej umiejętności cyfrowe" dostępny za rok 2019. Wskaźnik ten mimo iż nie figuruje w bazie DESI został włączony do analizy.

Dla grupy *Cyfryzacja przedsiębiorstw* wybrany został wskaźnik *MŚP z co najmniej podstawową intensywnością cyfrową*, prezentujący % badanych MŚP, w których taki poziom cyfryzacji miał miejsce. Wskaźnik ten mierzony był w tzw. dwóch badaniach rozróżnionych predykatem D3 lub D4. Dla badania oznaczonego D3 dostępne są dane za lata 2021, 2023 i 2025, zaś dla badania D4 - za lata 2022 i 2024. W przedmiotowym opracowaniu połączono dane dla tego wskaźnika.

Dla grupy *Cyfrowe usługi publiczne* wybrane zostały dwa wskaźniki: (1) *Dostępność kluczowych usług online dla przedsiębiorstw*, (2) *Dostępność kluczowych usług online dla obywateli.* Oba wskaźniki prezentują stan zaawansowania dostępności dedykowanych usług cyfrowych z zakresu e-administracji i wyrażone są w wartościach punktowych (skala 0-100, gdzie 0 oznacza brak dostępności). Wartości obu wskaźników dostępne są za lata 2018-2024.

Tabela 8. Ostateczne wskaźniki wybrane do badania

Grupa i wskaźniki	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Infrastruktura cyfrowa								
Zasięg stacjonarnej sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN)		x	x	x	x	x	x	x
Umiejętności cyfrowe								
Co najmniej podstawowe umiejętności cyfrowe		x*		x		x		
Cyfrowa transformacja przedsiębiorstw								
MŚP o co najmniej podstawowym poziomie intensywności cyfrowej*				x	x	x	x	x
Cyfryzacja usług publicznych								
Cyfrowe usługi publiczne dla przedsiębiorstw	x	x	x	x	x	x	x	
Cyfrowe usługi publiczne dla obywateli	x	x	x	x	x	x	x	

Uwaga: *-dodany do bazy wskaźnik „Osoby posiadające podstawowe i wyżej umiejętności cyfrowe".
Źródło: opracowanie własne

Tabela 8. przedstawia ostateczny zakres czasowy wybranych wskaźników. Dla tego zakresu dostępne były dane dla wszystkich krajów.

Rozdział VIII. Statystyka opisowa, analiza zmian i profili cyfryzacji

Na postawie wartości wskaźników pozyskanych z bazy: https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/datasets/desi/indicators, opracowane zostały statystyki opisowe prezentujące główne wartości i charakteryzujące ich rozkład dla każdej zmiennej. Równocześnie opracowane zostały wykresy prezentujące graficzne kształtowanie się wartości wskaźników dla wszystkich krajów Unii Europejskiej. Na wykresach zaznaczono średnia unijną oraz wartości dla Polski, co pozwala na szybką ocenę i porównanie zmian w czasie. Ze względu na różny zakres czasowy oraz ilość potencjalnych wykresów zdecydowano, że dla każdego z nich zaprezentowane będą wyniki dla skrajnych lat z zakresu wartości. Pozwoli to na szybką ocenę zmian, szczególnie w zakresie średniej dla Unii Europejskiej oraz dla Polski. Ponieważ zdecydowano się na konwencję by przedstawiać na wykresie wartości od największej do najmniejszej[15], również miejsca poszczególnych krajów ulegają zmianie.

Odsetek gospodarstw domowych objętych *Zasięgiem stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN),* wzrósł w analizowanym okresie z poziomy około 56% (w 2019 r.) w całej UE do ponad 85% (w 2025 r.). Równocześnie mediana dla całej UE wzrosła od 60% do ponad 87% w ostatnim roku badania. Oznacza to, że w połowie krajów UE aż 87% gospodarstw domowych jest objętych zasięgiem stacjonarnym takich sieci. Warto zauważyć, że w całym okresie zmniejszyło się odchylenie standardowe wartości w całej UE, z 25% do 11%. Oznacza to, że maleje zróżnicowanie w pokryciu zasięgiem takich sieci na terenie całej UE. To spostrzeżenie potwierdza także wartość rozstępu (różnicy między wartością maksymalną i minimalną), która w ciągu 7 lat zmniejszyła się aż o 47 p. proc. oraz wartość współczynnika zmienności (stosunku odchylenia standardowego do średniej), która spadła z 45% do 13%. Można zatem stwierdzić, że choć nadal występują

[15] Badane wskaźniki są stymulantami, zatem im wyższa ich wartość tym bardziej pozytywnie kształtuje się prezentowane zjawisko.

istotne różnice w pokryciu siecią o bardzo dużej przepustowości na terenie państw UE, to jednak następuje wyraźna konwergencja dla tego wskaźnika.

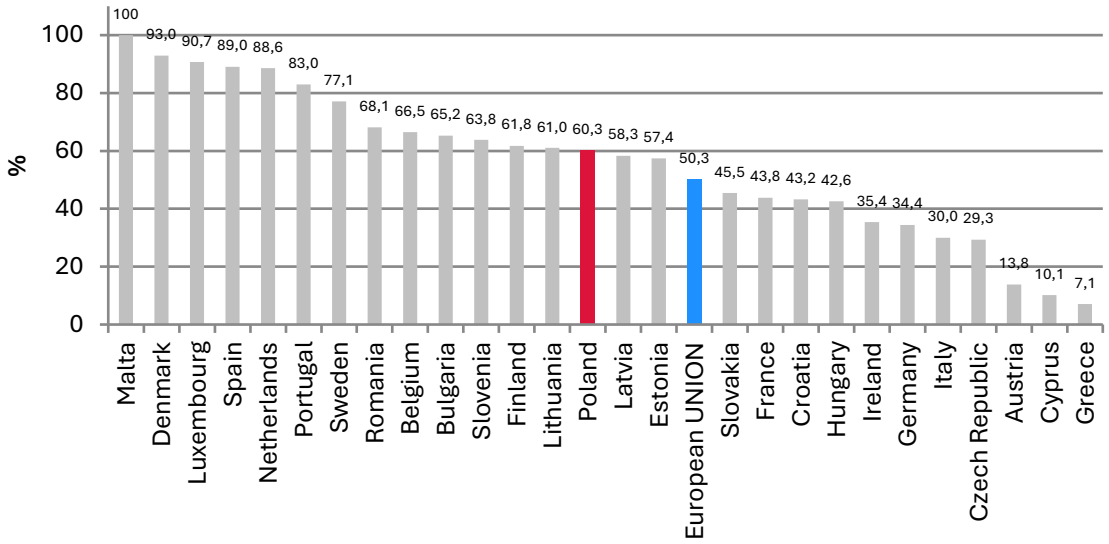
Tabela 9. Statystyki opisowe dla wskaźnika *Zasięg stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN)* (w % gospodarstw domowych)

Zasięg stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
średnia	56,26	63,32	70,78	75,09	79,75	82,94	85,87
mediana	60,31	65,72	71,82	75,52	78,53	86,00	87,43
odchylenie standardowe	25,45	22,16	18,73	16,58	14,74	12,97	11,51
rozstęp	92,95	89,83	80,19	72,15	61,59	53,94	45,32
kwartyl 1	38,97	49,39	62,95	66,43	71,93	76,82	80,49
kwartyl 3	72,63	78,22	84,82	89,32	92,69	94,20	95,77
współczynnik zmienności	0,45	0,35	0,26	0,22	0,18	0,16	0,13

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

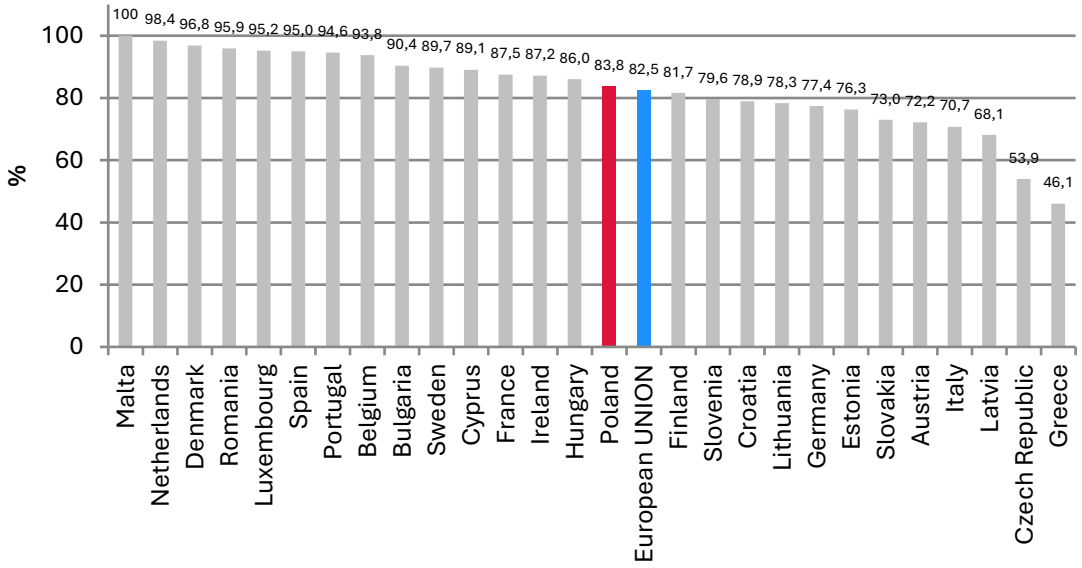
Analizując pozycję Polski na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej można wskazać, że w pierwszym roku analizy gospodarstwa domowe w naszym kraju były objęte w ponad 60% zasięgiem stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości. Pozwalało to na ulokowanie się Polski na 14 miejscu wśród krajów UE, zaś wartość ta była wyższa o 10 p. proc. od średniej unijnej (Wykres 1).

Wykres 1. Zasięg stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN) w 2019 r.



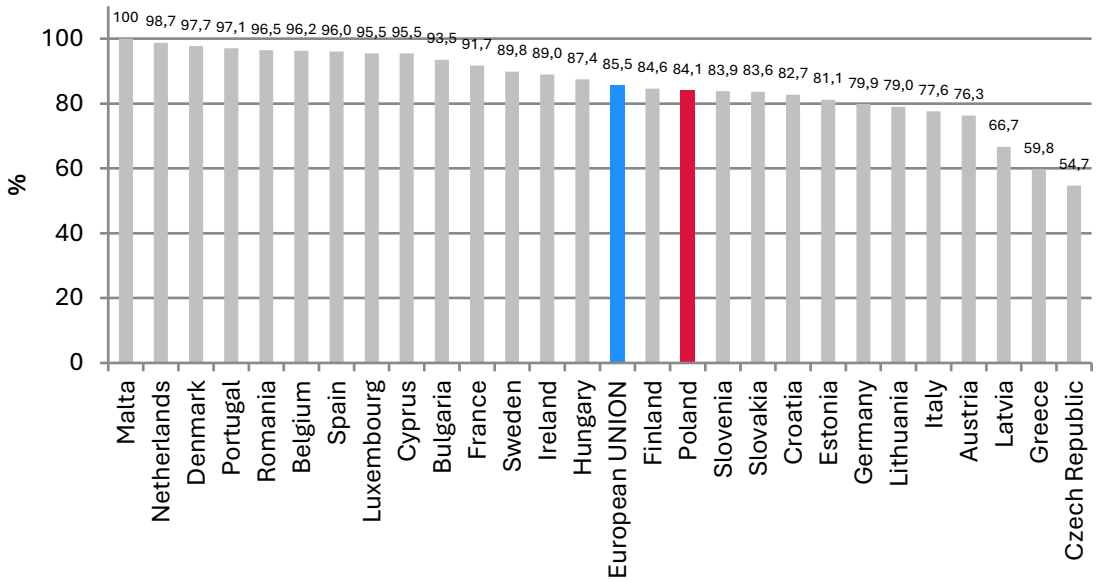
Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Wykres 2. Zasięg stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN) w 2024 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Wykres 3. Zasięg stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN) w 2025 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

W roku 2024, zasięg tych sieci obejmował już ponad 83% gospodarstw domowych w Polsce i był nieznacznie tylko wyższy od średniej unijnej wynoszącej 82% (Wykres 2). Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że już w kolejnym roku (tj. 2025) wartość tego wskaźnika dla Polski, mimo iż wzrosła do poziomu 84%, to jednak była niższa od średniej unijnej wynoszącej 85% (Wykres 3). Oznacza to, że procesy obejmowania zasięgiem stacjonarnym sieci o bardzo dużej przepustowości istotnie przyspieszyły w innych krajach UE. O ile jeszcze w roku 2019 tylko Malta była w całości pokryta taką siecią, o tyle w roku 2024 pokrycie dla więcej niż 95% gospodarstw domowych taką siecią odnotowywane było w 6 krajach, zaś w 2025 r. – już w 9 krajach.

Odsetek osób w wieku 16-74 lata posiadających *co najmniej podstawowe umiejętności,* wzrósł w analizowanym okresie z poziomy około 55% (w 2019 r.) oraz 56% (w 2021 r.) w całej UE do ponad 61% (w 2025 r.). Równocześnie mediana dla całej UE wzrosła z 55% do ponad 61% w ostatnim roku badania. Oznacza to, że w połowie krajów UE ponad 61% obywateli posiada co najmniej podstawowe umiejętności cyfrowe. Warto zauważyć, że w całym okresie zwiększyło się nieznacznie odchylenie standardowe wartości w całej UE, z 12,14% do 12,61%. Oznacza to w zasadzie utrzymujące się równomierne tempo w nabywaniu umiejętności cyfrowych wśród obywateli całej UE. To spostrzeżenie

potwierdza także wartość rozstępu, która między rokiem 2021 a 2025 praktycznie nie uległa zmianie, podobnie jak wartość współczynnika zmienności (21%).

Można zatem stwierdzić, że choć nadal występują istotne różnice w posiadaniu umiejętności cyfrowych wśród obywateli państw UE, to jednak widać charakterystyczne dla każdego kraju tempo ich nabywania.

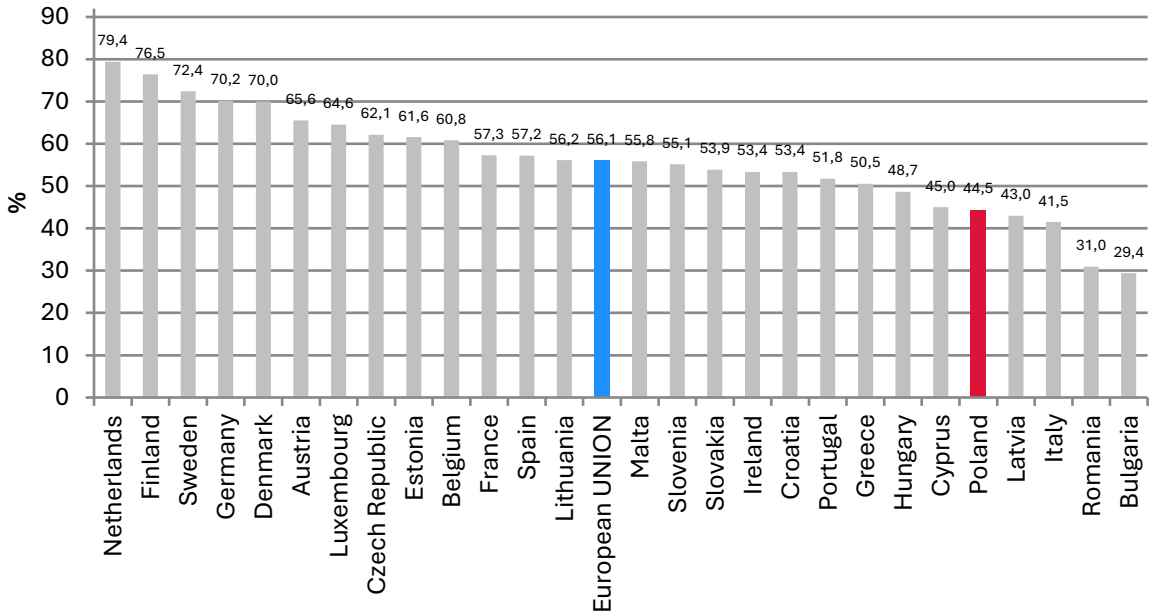
Tabela 10. Statystyki opisowe dla *wskaźnika Odsetek osób z co najmniej podstawowymi umiejętnościami cyfrowymi)* (w % osób w wieku 16-74 lata)

Odsetek osób z co najmniej podstawowymi umiejętnościami cyfrowymi	2019*	2021	2023	2025
średnia	*55,95*	56,30	57,63	61,02
mediana	*55,82*	55,31	58,95	61,22
odchylenie standardowe	*12,14*	11,88	12,42	12,61
rozstęp	*49,97*	51,36	54,97	51,77
kwartyl 1	*49,60*	49,38	50,39	53,68
kwartyl 3	*63,34*	63,58	65,43	68,29
współczynnik zmienności	*0,22*	0,21	0,22	0,21

Uwaga: w tabeli za rok 2019 dodano wskaźnik „Osoby posiadające podstawowe i wyżej umiejętności cyfrowe"
Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

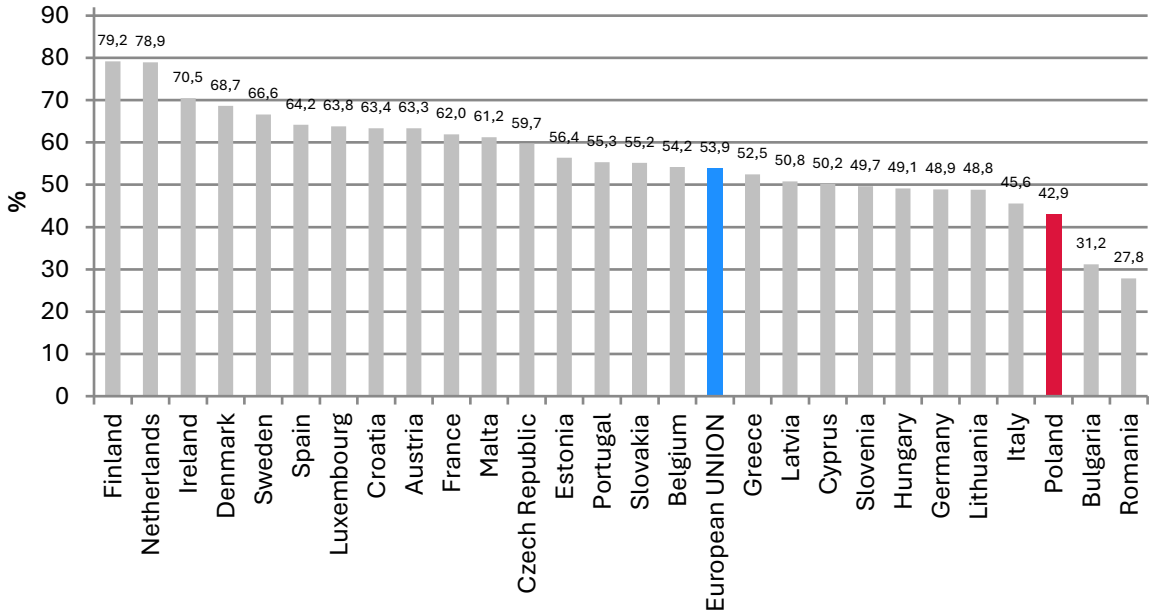
Analizując pozycję Polski na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej można wskazać, że w pierwszym roku za który dostępne są dane (tj. 2019) około 44% osób posiadało podstawowe lub wyższe umiejętności cyfrowe (Wykres 4). Dawało to Polsce 23 miejsce w UE i było poniżej od średniej unijnej o ponad 12 p. proc. W roku 2021, kiedy to zastosowano nową metodykę badania wskaźnika, wartość ta dla Polski wynosiła 42%, podczas gdy dla UE średnio było to o 11 p. proc. wyżej. (Wykres 5).

Wykres 4. Odsetek osób z co najmniej podstawowymi umiejętnościami cyfrowymi w 2019 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc_sk_dskl_i/default/table?lang=en&category=isoc.isoc_sk.isoc_sk_h (dostęp: 15.10.2026).

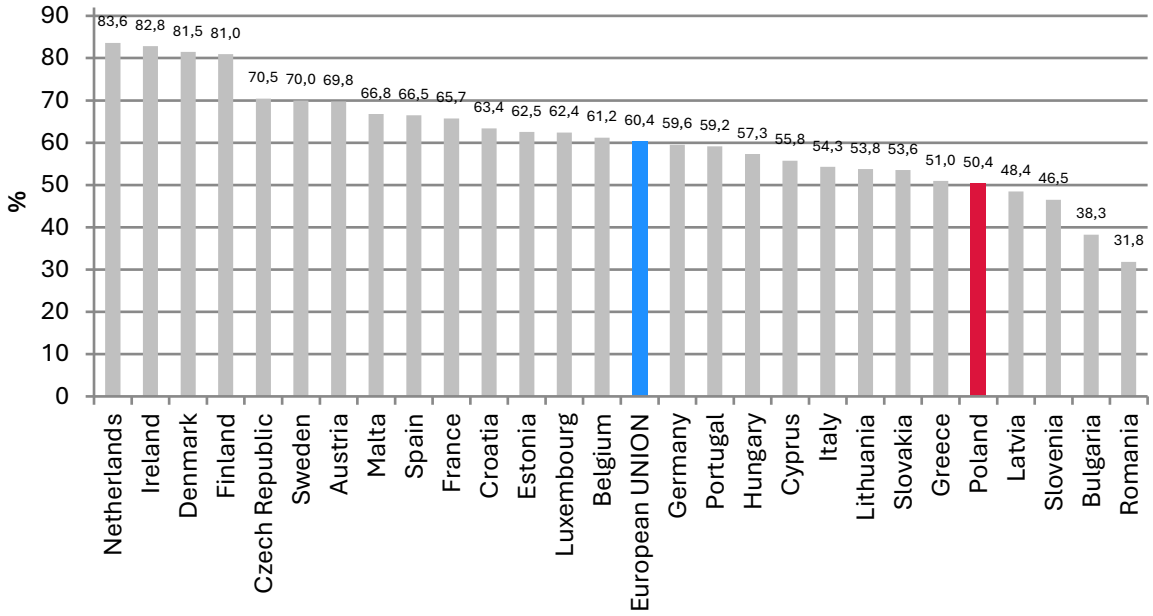
Wykres 5. Odsetek osób z co najmniej podstawowymi umiejętnościami cyfrowymi w 2021 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

W ostatnim roku analizy (tj. 2025), różnica między Polską a średnią unijną wynosiła 10 p. proc. i choć nieznacznie zmniejszyła się, to Polska zajmuje nadal miejsce w trzeciej dziesiątce krajów (nadal 23 miejsce w UE) (Wykres 6).

Wykres 6. Odsetek osób z co najmniej podstawowymi umiejętnościami cyfrowymi w 2025 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

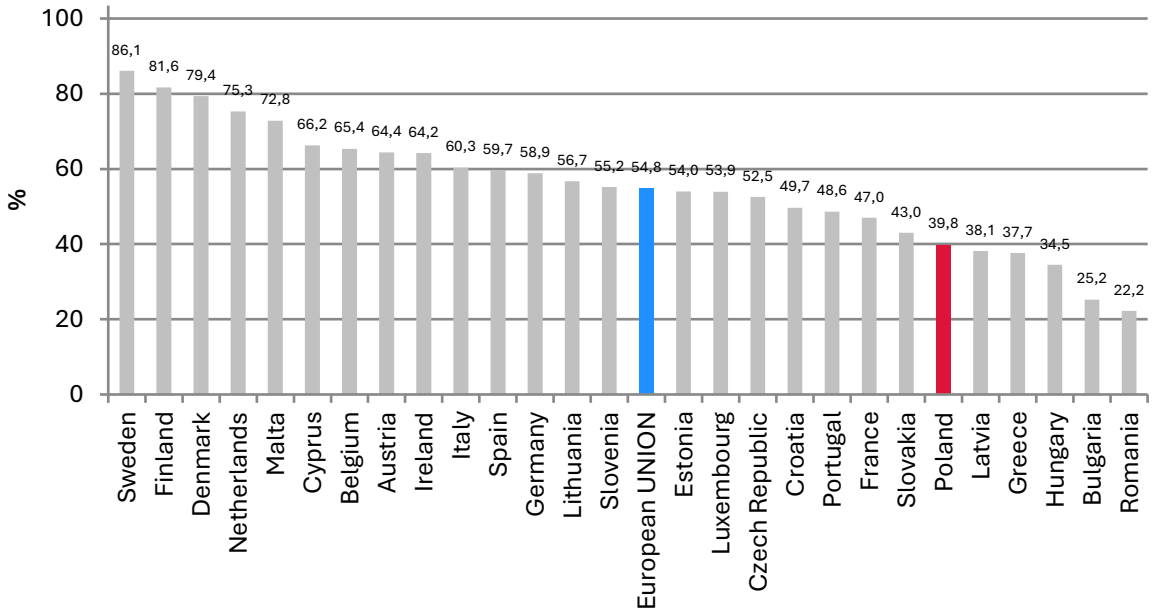
Odsetek *MŚP z co najmniej podstawową intensywnością cyfrową* wzrósł w analizowanym okresie z poziomy około 55% (w 2021 r.) w całej UE do ponad 70% (w 2025 r.). Równocześnie mediana dla całej UE wzrosła z 55% do ponad 72% w ostatnim roku badania. Oznacza to, że w połowie krajów UE ponad 72% przedsiębiorstw ma co najmniej podstawową intensywność cyfrową. Warto zauważyć, że w całym okresie zmniejszyło się odchylenie standardowe wartości w całej UE, z 16% do 13%. Oznacza to, że maleje zróżnicowanie w intensywności cyfrowej przedsiębiorstw na terenie całej UE. To spostrzeżenie potwierdza także wartość rozstępu, która w ciągu 5 lat zmniejszyła się o ok. 8 p. proc. oraz wartość współczynnika zmienności, która spadła z 29% do 19%. Można zatem stwierdzić, że choć nadal występują istotne różnice w intensywności cyfrowej przedsiębiorstw na terenie UE, to jednak następuje wyraźna konwergencja dla tego wskaźnika.

Tabela 11. Statystyki opisowe dla wskaźnika *odsetek MŚP z co najmniej podstawową intensywnością cyfrową* (w % MŚP)

Odsetek MŚP z co najmniej podstawową intensywnością cyfrową	2021	2022	2023	2024	2025
średnia	55,28	67,27	58,35	71,58	70,61
mediana	55,15	67,32	57,85	70,81	72,99
odchylenie standardowe	16,05	11,96	14,46	10,19	13,60
rozstęp	63,83	48,28	58,81	42,58	55,71
kwartyl 1	45,00	60,60	50,20	66,95	59,40
kwartyl 3	64,89	75,64	66,70	77,08	79,40
współczynnik zmienności	0,29	0,18	0,25	0,14	0,19

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Wykres 7. Odsetek MŚP z co najmniej podstawową intensywnością cyfrową w 2021 r.

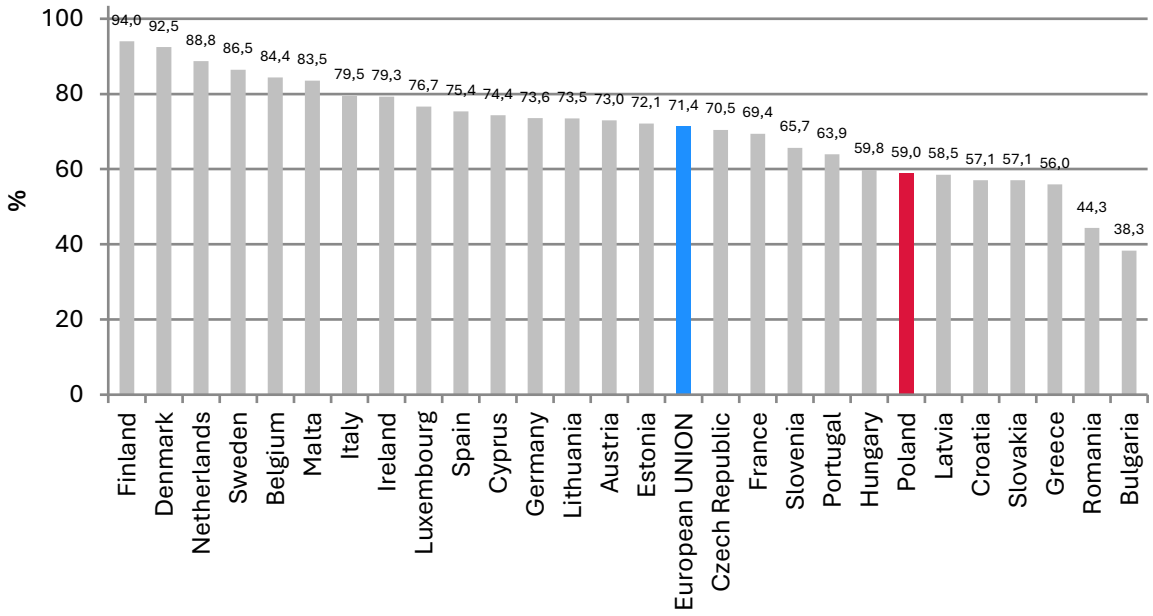


Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Analizując pozycję Polski na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej można wskazać, że w pierwszym roku analizy prawie 40% MŚP w naszym kraju wykazywało się intensywnością cyfrową na podstawowym poziomie. Lokowało to Polskę na 22 miejscu wśród krajów UE, zaś wartość ta była niższa o 15 p. proc. od średniej unijnej (Wykres 7).

W ostatnim roku analizy (tj. 2025), różnica między Polską a średnią unijną wynosiła 12 p. proc. i choć nieznacznie zmniejszyła się, to Polska zajmowała miejsce w trzeciej dziesiątce krajów (21 miejsce w UE) (Wykres 8).

Wykres 8. Odsetek MŚP z co najmniej podstawową intensywnością cyfrową w 2025 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Wynik punktowy dla *dostępności kluczowych usług online dla przedsiębiorstw* wzrósł w analizowanym okresie z poziomu około 84 pkt. (w 2018 r.) w całej UE do ponad 86 pkt. (w 2024 r.). Warto jednak zauważyć, że zmiana ta nie miała charakteru jednostajnego, ale wartości tych punktów zmieniały się dość intensywnie. W roku 2019 odnotowano najwyższy poziom tego wskaźnika (ponad 87 pkt.), zaś już w 2021 r. zanotowany został jego najniższy poziom (81 pkt.). Mediana wartości dla całej UE zmieniała się z 87 pkt. (2018 r.), przez 92 pkt. (2019 r.) do ponad 86 pkt. w ostatnim roku badania (2024 r.). Oznacza to, że w połowie krajów UE ponad dostępność kluczowych usług online dla przedsiębiorstw jest oceniana na poziomie 86 pkt. Warto zauważyć, że w skrajnych latach zmniejszyło się odchylenie standardowe wartości dla całej UE, z 11 pkt. do 10 pkt. Oznacza to, że maleje zróżnicowanie w dostępności do tych usług na terenie całej UE, choć i w tym zakresie notowane były spore wahania. To spostrzeżenie potwierdza także

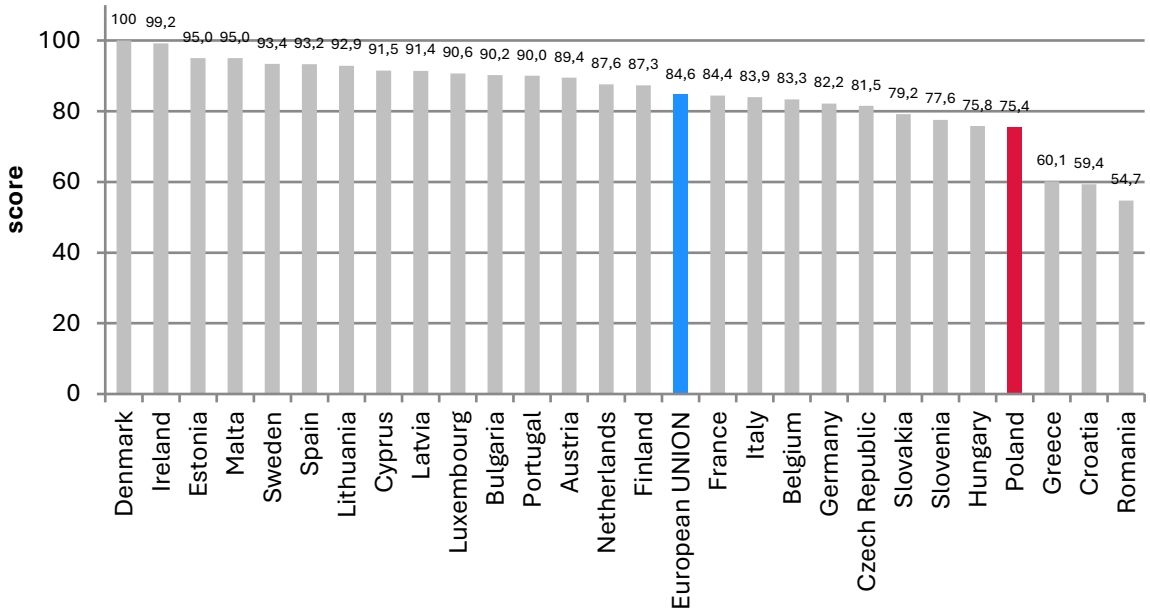
wartość rozstępu. Wartość współczynnika zmienności spadła z 13% w 2018 do poziomu 12% w 2024 r., choć należy wspomnieć o wzrostach w latach 2020 (15%0 i 2021 (16%). Mimo tego, można stwierdzić, że choć nadal występują istotne różnice w dostępności usług online dla przedsiębiorstw na terenie UE, to jednak następuje konwergencja dla tego wskaźnika.

Tabela 12. Statystyki opisowe dla wskaźnika *dostępność kluczowych usług online dla przedsiębiorstw* (w pkt.)

Dostępność kluczowych usług online dla przedsiębiorstw	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
średnia	84,60	87,72	84,40	81,71	83,73	85,42	86,23
mediana	87,60	92,27	85,83	81,94	83,75	86,20	86,25
odchylenie standardowe	11,39	11,56	12,31	13,34	11,57	11,24	10,59
rozstęp	45,27	45,26	50,71	57,73	55,39	49,97	44,86
kwartyl 1	80,33	82,90	78,77	77,49	78,62	79,24	80,47
kwartyl 3	92,19	93,99	93,76	90,60	90,22	93,91	94,71
współczynnik zmienności	0,13	0,13	0,15	0,16	0,14	0,13	0,12

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Wykres 9. Dostępność kluczowych usług online dla przedsiębiorstw w 2018 r.

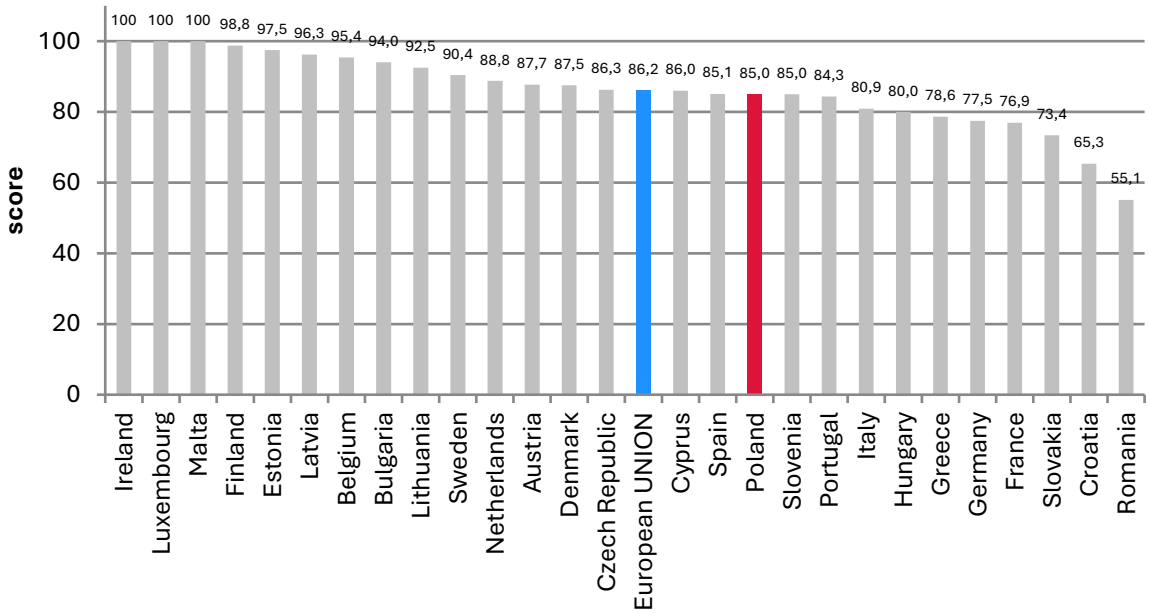


Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Analizując pozycję Polski na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej można wskazać, że w pierwszym roku analizy dostępność usług online dla przedsiębiorstw oceniana była na poziomie 75 pkt., zaś w końcowym okresie wartość ta wzrosła do poziomu 85 pkt. Mimo istotnego wzrostu, Polska pozostawała poniżej średniej unijnej, choć wyraźnie nadrabiała zaległości (Wykresy 9 i 10).

W pierwszym roku analizy Polska znajdowała się na 24 miejscu wśród krajów UE, a wartość wskaźnika była niższa o 10 pkt. od średniej unijnej (Wykres 9). W ostatnim roku analizy (tj. 2024), różnica między Polską a średnią unijną wynosiła 1 pkt. Co dawało nam 17 lokatę w UE. (Wykres 10).

Wykres 10. Dostępność kluczowych usług online dla przedsiębiorstw w 2024 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Wynik punktowy dla *dostępności kluczowych usług online dla obywateli* wzrósł w analizowanym okresie z poziomu około 73 pkt. (w 2018 r.) w całej UE do ponad 82 pkt. (w 2024 r.). Warto jednak zauważyć, że zmiana ta nie miała charakteru jednostajnego, jednak wahania były o wiele mniejsze niż w przypadku dostępności usług online dla przedsiębiorstw.

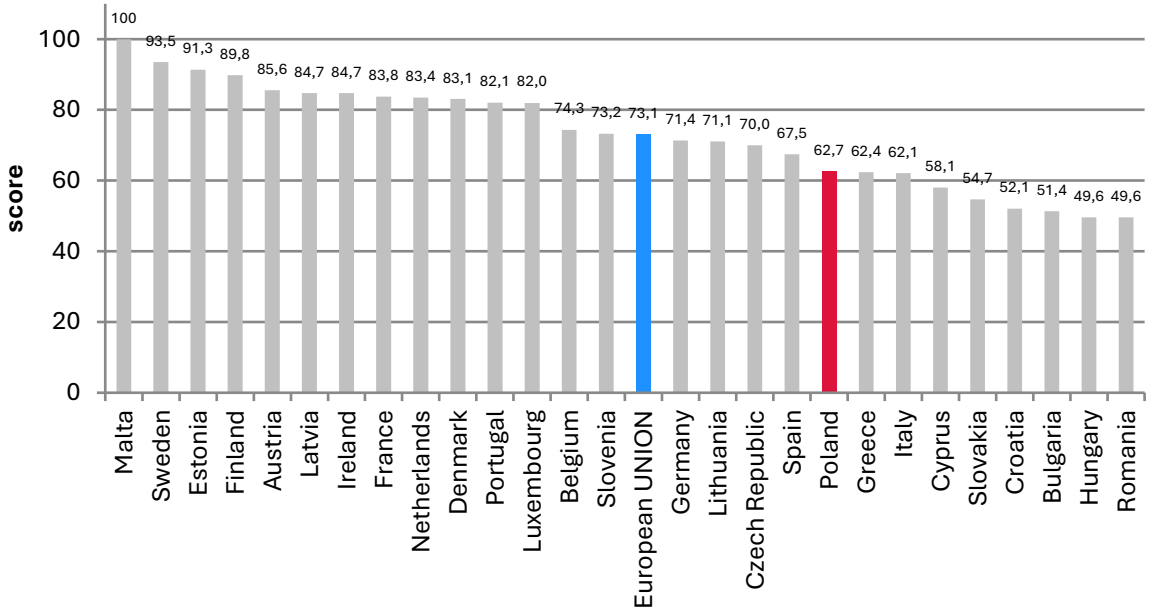
Mediana wartości dla całej UE zmieniała się z 73 pkt. (2018 r.), do ponad 82 pkt. w ostatnim roku badania (2024 r.). Oznacza to, że w połowie krajów UE ponad dostępność kluczowych usług online dla obywateli jest oceniana na poziomie 82 pkt. Warto zauważyć, że zmniejszyło się odchylenie standardowe wartości dla całej UE, z 14 pkt. do 9 pkt. Oznacza to, że maleje zróżnicowanie w dostępności do tych usług na terenie całej UE. To spostrzeżenie potwierdza także wartość rozstępu, która spadła z poziomu 50 pkt. do 36 pkt. Wartość współczynnika zmienności spadła z 20% w 2018 do poziomu 11% w 2024 r. Można zatem stwierdzić, że choć nadal występują istotne różnice w dostępności usług online dla obywateli na terenie UE, to jednak następuje ujednolicenie dla wartości tego wskaźnika.

Tabela 13. Statystyki opisowe dla wskaźnika *dostępność kluczowych usług online dla obywateli* (w pkt.)

Dostępność kluczowych usług online dla obywateli	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
średnia	73,12	76,87	74,92	74,63	77,03	79,44	82,32
mediana	73,24	76,12	73,40	75,74	78,42	80,72	81,43
odchylenie standardowe	14,45	12,91	13,53	13,47	12,19	10,72	9,24
rozstęp	50,38	46,10	55,22	55,40	52,42	47,82	36,95
kwartyl 1	62,25	68,69	65,68	66,13	67,89	72,73	77,17
kwartyl 3	84,25	86,99	86,52	84,99	85,40	86,28	88,20
współczynnik zmienności	0,20	0,17	0,18	0,18	0,16	0,13	0,11

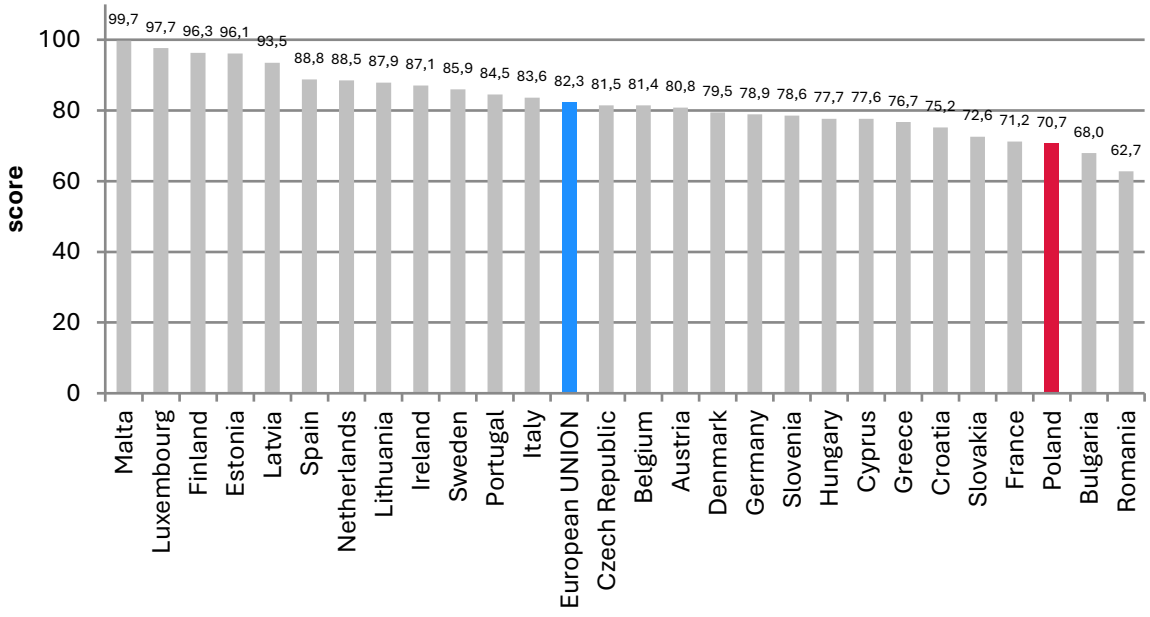
Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Wykres 11. Dostępność kluczowych usług online dla obywateli w 2018 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Wykres 12. Dostępność kluczowych usług online dla obywateli w 2024 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy danych DESI

Analizując pozycję Polski na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej można wskazać, że w pierwszym roku analizy dostępność usług online dla przedsiębiorstw oceniana była na

poziomie 62 pkt., zaś w końcowym okresie wartość ta wzrosła do poziomu 70 pkt. Mimo istotnego wzrostu, Polska spadła w rankingu państw UE z 19 na 25 lokatę. W pierwszym roku analizy Polska notowała dostępność tych usług o 11 pkt. niższą niż średnia unijna. W ostatnim roku analizy różnica ta zwiększała się do 12 pkt. (Wykres 11 i 12).

Z przedstawionych wartości analizowanych wskaźników wyłania się obraz zmniejszających się różnic i intensywnych przemian w kierunku pełnej cyfryzacji. Państwa UE notują wzrost wartości dla wszystkich analizowanych wskaźników, co pozwala na wysunięcie wniosku, iż procesy cyfryzacyjne stanowią istotny element działań podejmowanych na terenie UE. Warto w tym względzie poddać analizie również środowiskowe aspekty zmian jakie zachodzą na terenie państw Wspólnoty. W tym celu do analizy wybranych zostało pięć wskaźników opisujących istotne aspekty zrównoważonego rozwoju. Wybór tych wskaźników podyktowany był ich zakresem informacyjnym, jak też analizą statystycznej istotności dla dalszych analiz. Podobnie, jak w przypadku wskaźników opisujących cyfryzację, także tu, wartości tych wskaźników są istotnie zróżnicowane między krajami UE, co daje podstawę do uzyskania wartościowych informacji w toku prowadzonych analiz.

Pierwszym wybranym wskaźnikiem są *Emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca* (w wariancie bez LULUCF) wyrażone w tonach ekwiwalentu CO_2 na osobę. Jest to wskaźnik wyrażający presję emisyjną. Wskaźnik ten ma charakter destymulanty[16].

Kolejnym wskaźnikiem jest *Końcowe zużycie energii na mieszkańca*, wyrażone w tonach oleju ekwiwalentnego na osobę. Wskaźnik ten jest podstawową miarę skali wykorzystania energii i również ma charakter destymulanty.

Trzecim wskaźnikiem jest *Krajowe zużycie materiałów (DMC)* wyrażone w tonach w przeliczeniu na mieszkańca. Jest to podstawowa miara wykorzystania materiałów w gospodarce i również ma charakter destymulanty.

Czwartym wskaźnikiem jest *Wskaźnik cyrkularnego wykorzystania materiałów*, który wyrażony jest jako odsetek materiałów trafiających do obiegu zamkniętego gospodarki. Wyraża on stosunek wielkości materiałów odzyskanych i ponownie wprowadzanych do gospodarki w całkowitym wykorzystaniu materiałów. Ma on charakter stymulanty.

[16] Są to wskaźniki, których wzrost wartości oznacza niekorzystną sytuację.

Ostatnim wskaźnikiem jest *Produktywność zasobów*, wyrażona parytecie siły nabywczej na kilogram (PPS/kg) w przekroju krajowym. Jest to miara oparta na PKB w cenach stałych, opisująca PKB w relacji do DMC.

Tabela 14. Ostateczne wskaźniki środowiskowe wybrane do badania

Wskaźniki	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca	x	x	x	x	x	x	x	
Końcowe zużycie energii na mieszkańca	x	x	x	x	x	x	x	
Krajowe zużycie materiałów (DMC) na mieszkańca	x	x	x	x	x	x	x	x
Wskaźnik cyrkularnego wykorzystania materiałów	x	x	x	x	x	x	x	
Wskaźnik produktywności zasobów	x	x	x	x	x	x	x	x

Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

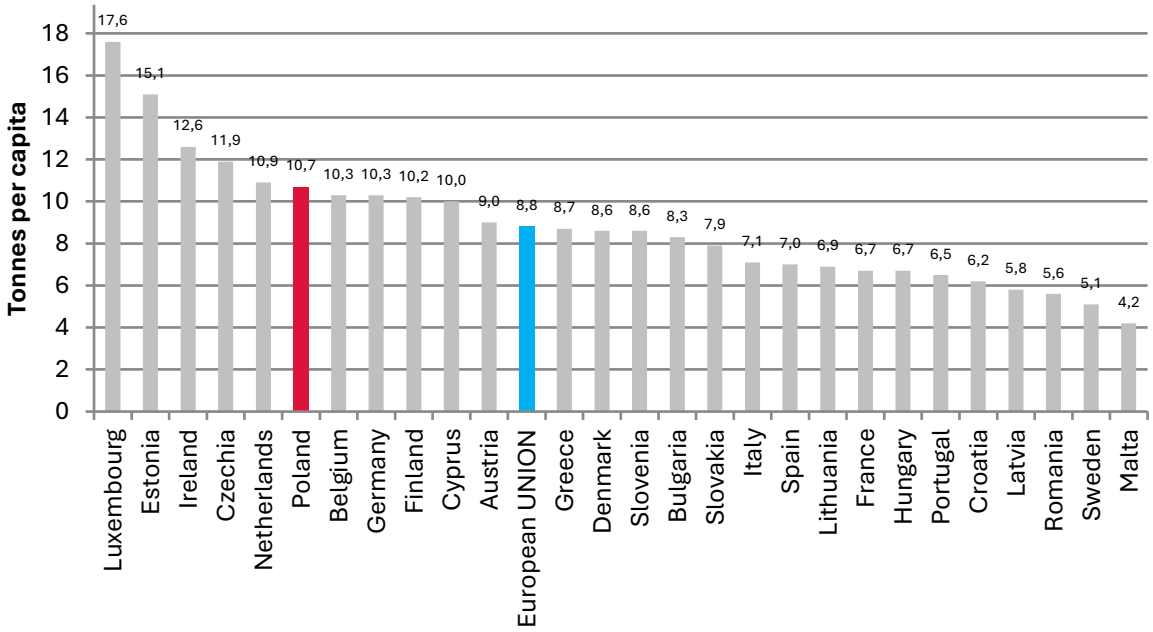
Emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca, wariant bez LULUCF i memo, czyli z całkowitym wyłączeniem sektora użytkowania gruntów, zmiany użytkowania gruntów i leśnictwa oraz pozycji memorandowych (ang. Land Use, Land Use Change and Forestry and memo items), zmniejszyła się w ciągu analizowanego okresu z poziomu 8,8 t/p.c. do 6,9 t/p.c. Podobnie też wartość mediany dla tego wskaźnika w ostatnim roku analizy wyniosła 6,7 t/p.c. co oznacza że połowa państw UE odnotowuje emisje mniejsze lub równe tej wartości. Spadek emisji oraz zwiększenie stopnia podobieństwa państw UE widoczne są także w wartości odchylenia standardowego, które spadło z 3 t/p.c. do 1,7 t/p.c. oraz w wartości rozstępu, gdzie różnica między najbardziej zanieczyszczającym państwem, a tym „najmniej brudzącym" spadła z 13,4 do 7,3 t/p.c. Wartość współczynnika zmienności, choć nadal wskazuje istotne statystycznie różnice między krajami, zmniejszyła się z 34% do 25%.

Tabela 15. Statystyki opisowe dla wskaźnika *emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca* (w t/p.c.)

Emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
średnia	8,83	8,41	7,68	8,00	7,70	7,09	6,90
mediana	8,60	8,10	7,40	7,60	7,40	6,90	6,70
odchylenie standardowe	3,00	2,71	2,27	2,37	2,14	1,83	1,73
rozstęp	13,40	13,40	10,50	10,90	8,40	7,70	7,30
kwartyl 1	6,70	6,55	6,00	6,25	6,15	5,65	5,55
kwartyl 3	10,30	10,00	9,05	9,40	9,05	8,00	7,80
współczynnik zmienności	0,34	0,32	0,30	0,30	0,28	0,26	0,25

Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

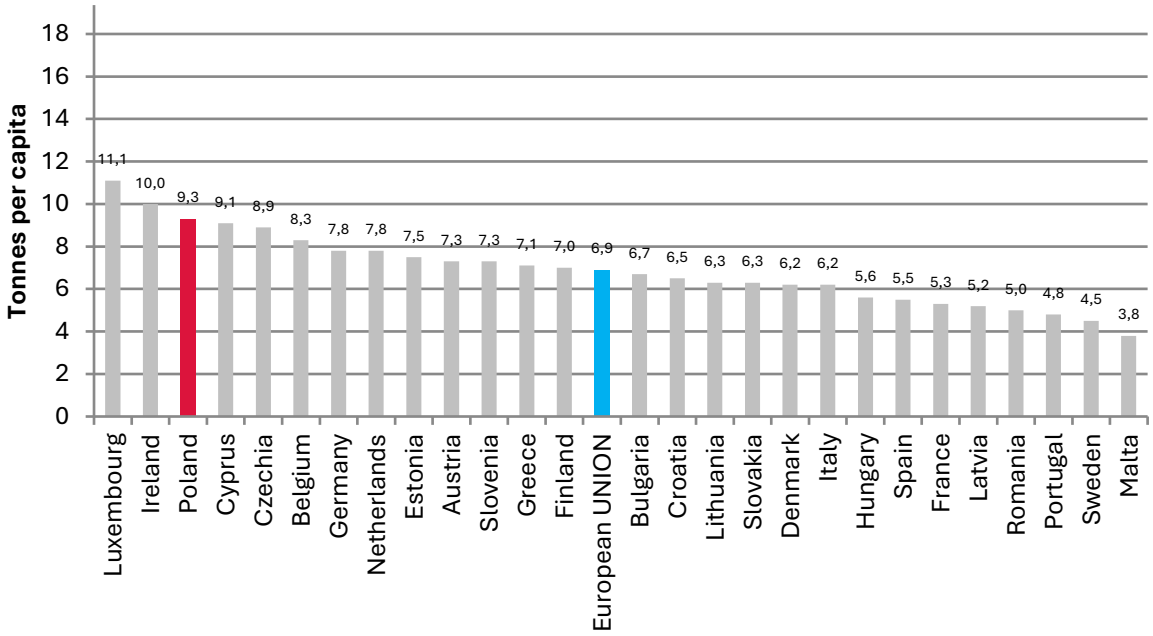
Wykres 13. Emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca w 2018 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

Analizując pozycję Polski na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej można wskazać, że w pierwszym roku analizy (tj. 2018) Polska emitowała ponad 10,7 t/p.c co stanowiło 6 najgorszy wynik w UE. Średnia emisja w UE wynosiła wtedy 8,8 t/p.c. W ostatnim roku analizy mimo, że Polska zmniejszyła emisje do poziomu 9,3 t/p.c. to jednak awansowała w niechlubnym rankingu na 3 pozycję. W tym samym czasie średnia unijna zmniejszyła się do poziomu 6,9 t/p.c. (Wykres 13 i 14).

Wykres 14. Emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca w 2024 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

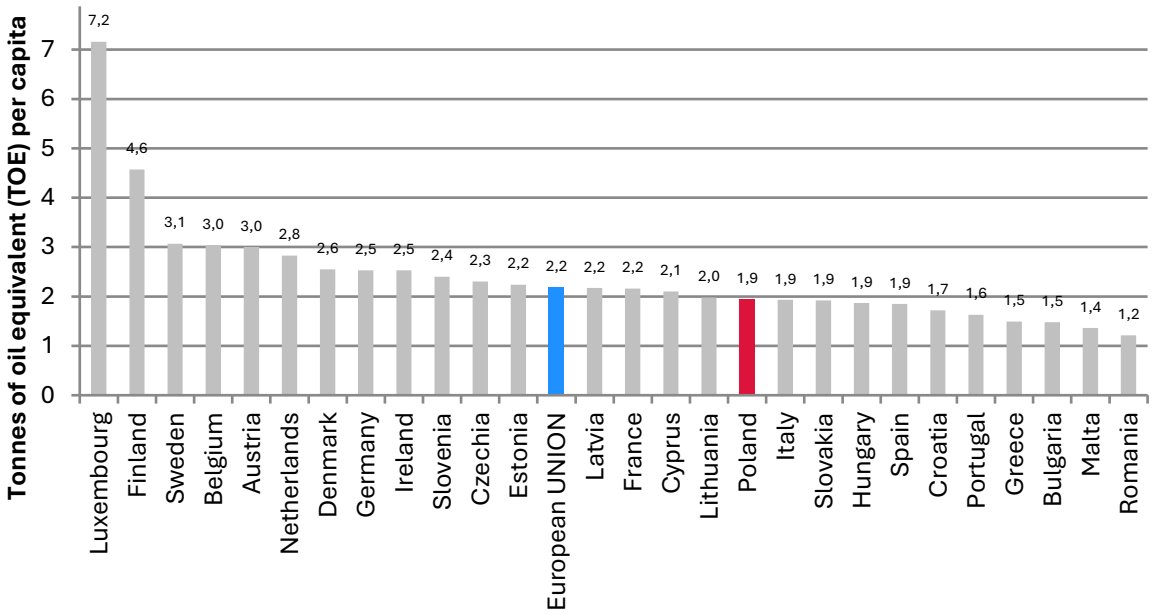
Końcowe zużycie energii na mieszkańca, zmniejszyło się w ciągu analizowanego okresu z poziomu 4,41 TOE/p.c. do 2,17 TOE/p.c. Podobnie też wartość mediany dla tego wskaźnika w ostatnim roku analizy wyniosła 1,97 TOE/p.c. co oznacza że połowa państw UE zużyła energię o wartości mniejszej lub równej 1,97 ton oleju ekwiwalentnego na mieszkańca. Spadek emisji oraz zwiększenie stopnia podobieństwa państw UE widoczne są także w wartości odchylenia standardowego, które spadło z 1,15 TOE/p.c. do 0,8 TOE/p.c. oraz w wartości rozstępu, gdzie różnica między najbardziej zużywającym energię państwem, a tym „najbardziej oszczędnym" spadła z 5,95 do 3,98 TOE/p.c. Wartość współczynnika zmienności, choć nadal wskazuje istotne statystycznie różnice między krajami, zmniejszyła się z 48% do 37%.

Tabela 16. Statystyki opisowe dla wskaźnika *końcowe zużycie energii na mieszkańca* (w TOE/p.c.)

Emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
średnia	2,41	2,39	2,18	2,31	2,22	2,15	2,17
mediana	2,16	2,13	1,90	2,06	1,98	1,90	1,97
odchylenie standardowe	1,15	1,13	0,98	1,02	0,87	0,82	0,80
rozstęp	5,95	5,85	4,97	5,20	4,36	4,05	3,98
kwartyl 1	1,86	1,86	1,69	1,82	1,81	1,72	1,74
kwartyl 3	2,54	2,51	2,32	2,42	2,32	2,25	2,24
współczynnik zmienności	0,48	0,47	0,45	0,44	0,39	0,38	0,37

Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

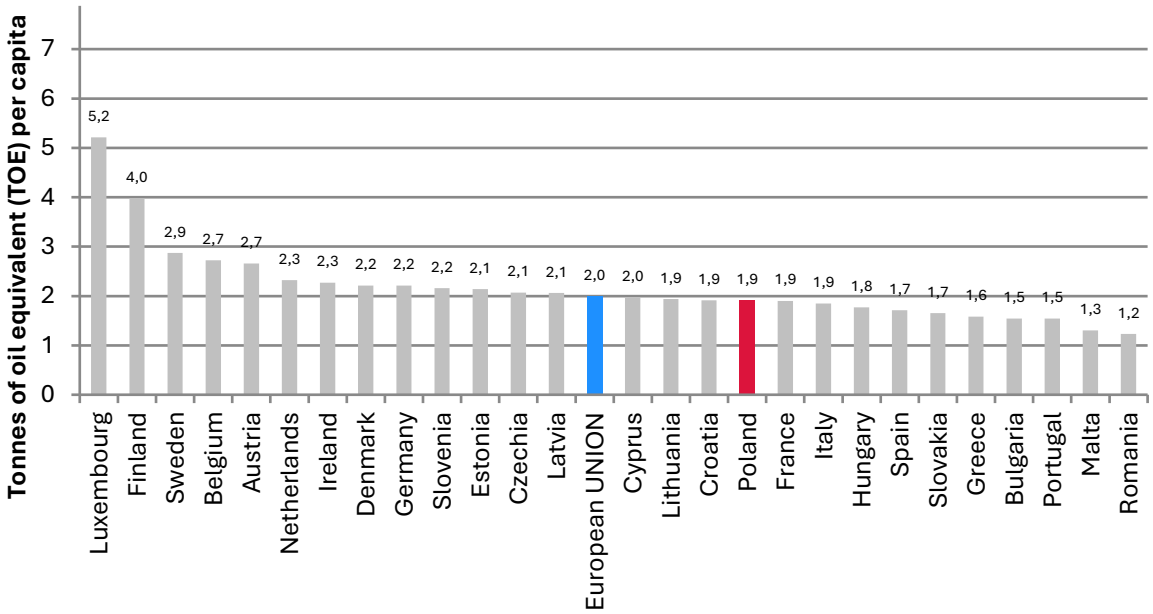
Wykres 15. Końcowe zużycie energii na mieszkańca w 2018 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

Analizując pozycję Polski na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej można wskazać, że w pierwszym roku analizy (tj. 2018) Polska zużywała ponad 1,9 TOE/p.c co było niższe od średniej unijnej o ok 0,3 TOE/p.c. W ostatnim roku analizy Polska utrzymała zużycie na tym samym poziomie, zaś średnia unijna spadła do poziomu 2,0 TOE/p.c. (Wykres 15 i 16).

Wykres 16. Końcowe zużycie energii na mieszkańca w 2024 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

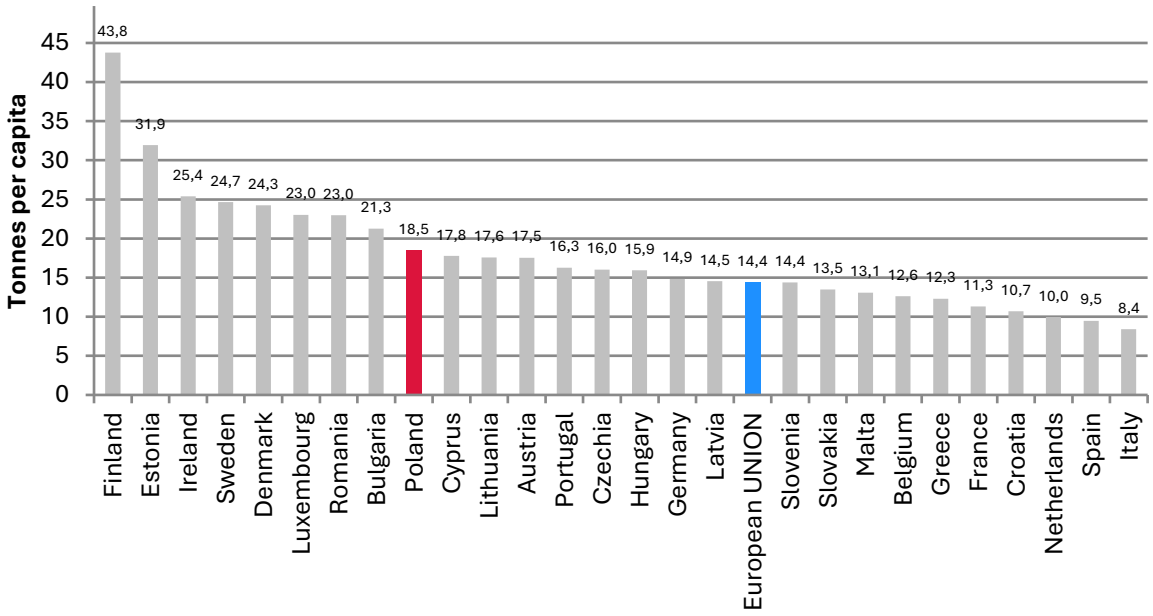
Krajowe zużycie materiałów (DMC) na mieszkańca, zmniejszyło się w ciągu analizowanego okresu z poziomu 17,85 t/p.c. do 17,16 t/p.c. Podobnie też wartość mediany dla tego wskaźnika w ostatnim roku analizy wyniosła 14,59 t/p.c. co oznacza że połowa państw UE wykorzystywała materiały o wadze mniejszej lub równej 14,59 ton na mieszkańca. Państwa UE w dalszym ciągu jednak różnią się znacząco od siebie pod względem zużycia materiałów o czym świadczy wartość odchylenia standardowego, które utrzymuje się praktycznie na tym samym poziomie (ok 7,5 t/p.c.). Podobnie też wartość rozstępu (różnica wynosi aż 31,9 t/p.c.) oraz współczynnika zmienności, który wzrósł z 42% do 44% w ostatnim roku analizy.

Tabela 17. Statystyki opisowe dla wskaźnika *krajowego zużycia materiałów (DMC) na mieszkańca* (w t/p.c.)

Krajowe zużycie materiałów (DMC) p.c.	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
średnia	17,85	17,78	17,31	17,89	17,93	16,80	16,62	17,16
mediana	16,00	16,33	14,82	16,12	15,75	14,82	13,60	14,59
odchylenie standardowe	7,54	7,09	7,41	7,50	7,98	7,00	7,20	7,51
rozstęp	35,36	30,86	33,46	33,05	36,32	32,12	30,80	31,98
kwartyl 1	12,85	12,25	11,93	11,77	11,65	11,76	10,98	11,27
kwartyl 3	22,14	22,31	22,04	23,82	23,87	21,58	21,56	22,38
współczynnik zmienności	0,42	0,40	0,43	0,42	0,45	0,42	0,43	0,44

Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

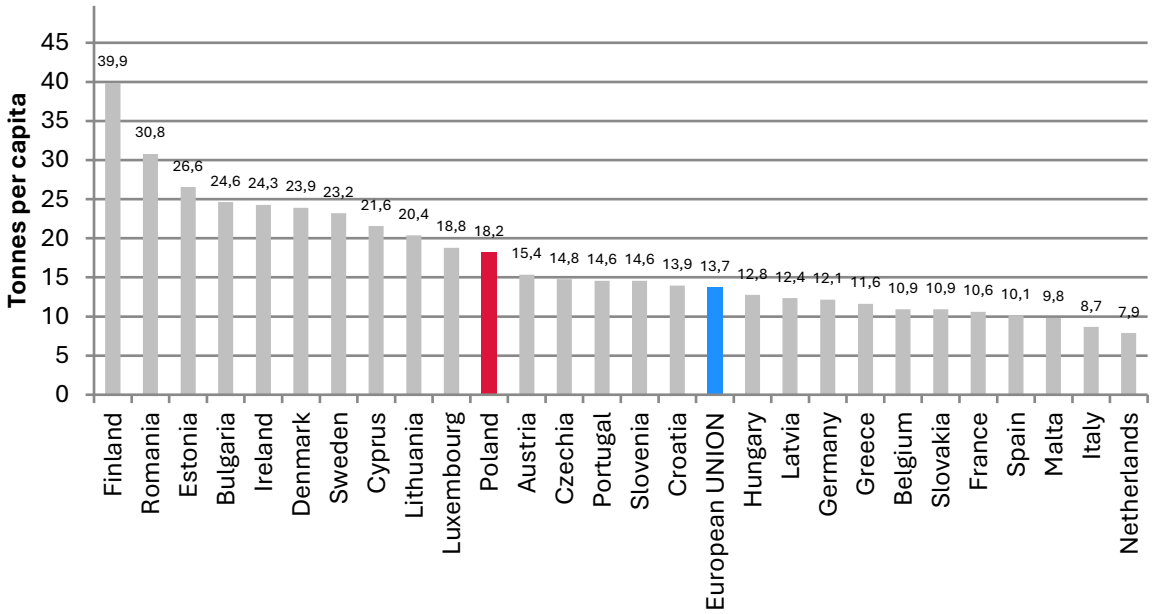
Wykres 17. Krajowe zużycie materiałów (DMC) na mieszkańca w 2018 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

Analizując pozycję Polski na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej można wskazać, że w pierwszym roku analizy (tj. 2018) Polska zużywała ponad 18,5 t/p.c materiałów, co było wyższe od średniej unijnej o ok 4 t/p.c. Dawało to Polsce 9 miejsce pod względem zużycia w UE. W ostatnim roku analizy (tu: 2025 r.) Polska obniżyła nieco zużycie, które wyniosło 18,2 t/p.c., co jednak nadal było wyższe niż średnia unijna (13,7 t/p.c.) i dawało Polsce 11 lokatę w UE (Wykres 17 i 18).

Wykres 18. Krajowe zużycie materiałów (DMC) na mieszkańca w 2025 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

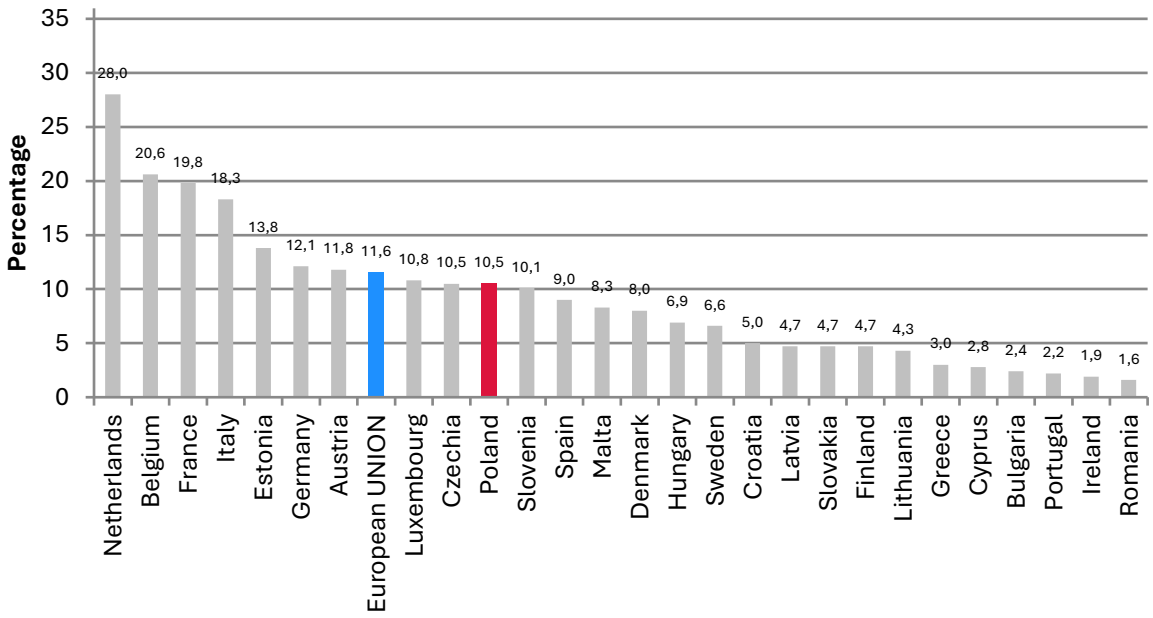
Wskaźnik cyrkularnego wykorzystania materiałów, zwiększył się w ciągu analizowanego okresu z poziomu 8,9% do 10,9 %. Podobnie też wartość mediany dla tego wskaźnika w ostatnim roku analizy wyniosła 9,4% co oznacza, że połowa państw UE realizowała postulaty gospodarki o obiegu zamkniętym na poziomie ok 10%. Państwa UE różnią się w dalszym ciągu od siebie pod względem cyrkularności swoich gospodarek o czym świadczy wartość odchylenia standardowego zwiększającego się z poziomu 6,4% do 7,4%. Podobnie też wartość rozstępu (różnica wynosi aż 31,4 p. proc.) oraz współczynnika zmienności, który osiągnął poziom 69% w ostatnim roku analizy. Świadczy to o bardzo dużym zróżnicowaniu krajów UE.

Tabela 18. Statystyki opisowe dla wskaźnika *cyrkularnego wykorzystania materiałów* (w %)

Wskaźnik cyrkularnego wykorzystania materiałów	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
średnia	8,98	9,09	9,64	9,94	10,41	10,66	10,92
mediana	8,00	8,30	7,50	8,70	9,10	9,30	9,40
odchylenie standardowe	6,45	6,11	6,54	6,72	6,67	7,27	7,49
rozstęp	26,40	25,50	26,70	28,60	27,00	30,50	31,40
kwartyl 1	4,50	4,40	4,95	5,15	5,35	5,30	5,35
kwartyl 3	11,30	12,00	12,20	11,75	12,40	14,35	15,00
współczynnik zmienności	0,72	0,67	0,68	0,68	0,64	0,68	0,69

Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

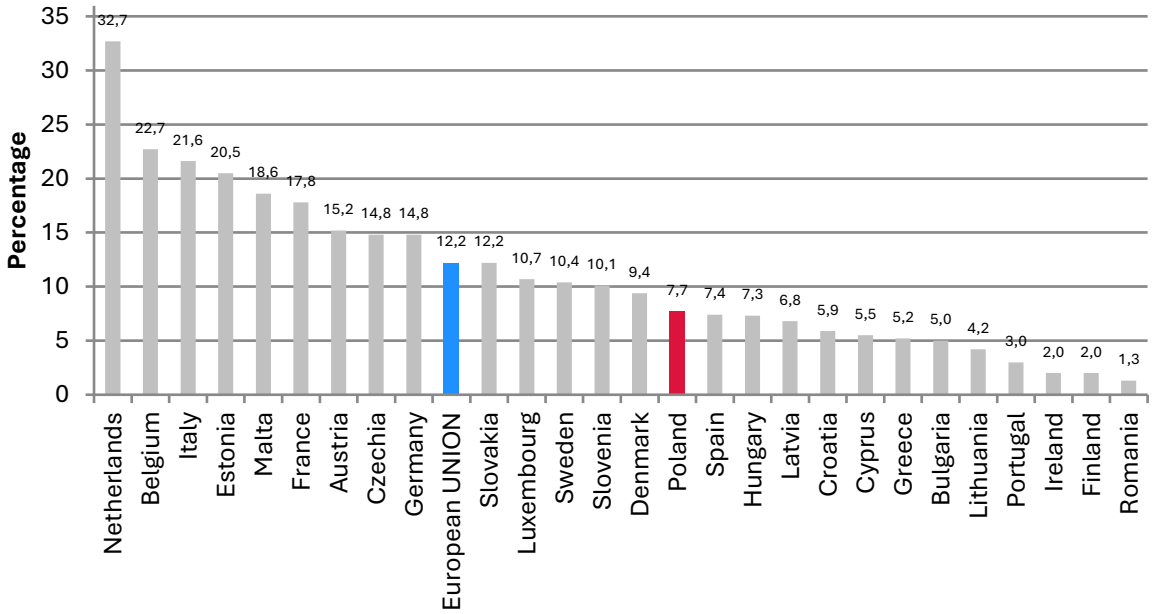
Wykres 19. Wskaźnik cyrkularnego wykorzystania materiałów w 2018 r. (w %)



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

Analizując pozycję Polski na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej można wskazać, że w pierwszym roku analizy (tj. 2018) Polska gospodarka była cyrkularna w ok. 10,5% co było niższe od średniej unijnej o ok 1 p. proc. Dawało to Polsce 10 miejsce pod względem cyrkularności gospodarki w UE. W ostatnim roku analizy (tu: 2024 r.) Polska niestety obniżyła swoją cyrkularność do poziomu 7,7%, co było niższe niż średnia unijna (12,2 %) i dawało Polsce aż 15 lokatę w UE (Wykres 19 i 20).

Wykres 20. Wskaźnik cyrkularnego wykorzystania materiałów w 2024 r. (w %)



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

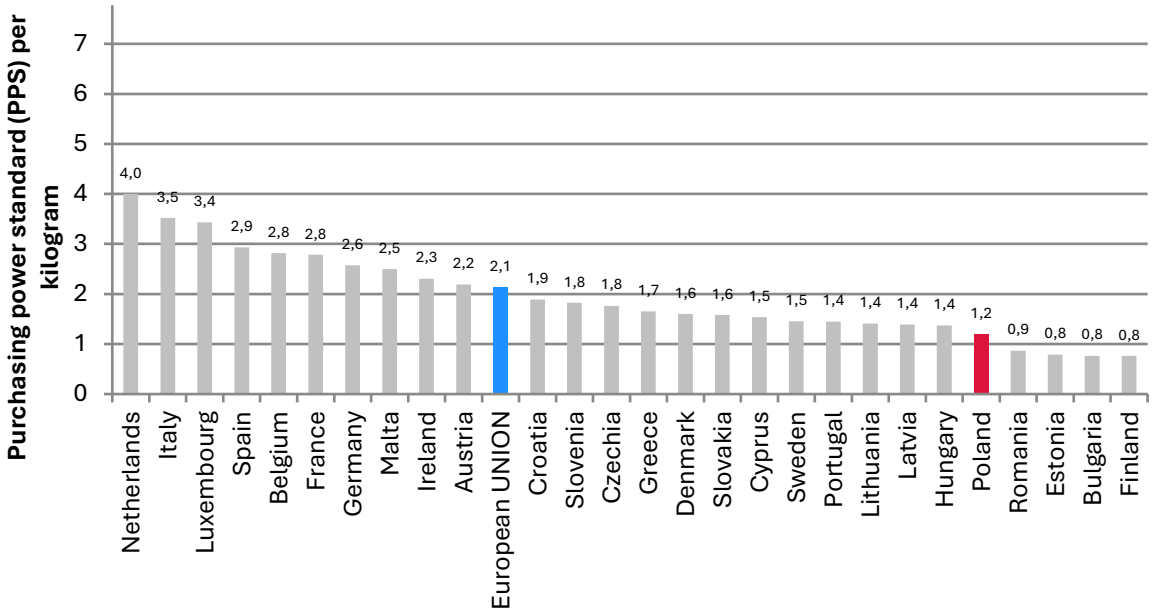
Wskaźnik produktywności zasobów, zwiększył się w ciągu analizowanego okresu z poziomu 1,9 PPS/kg do 2,9 PPS/kg. Podobnie też wartość mediany dla tego wskaźnika w ostatnim roku analizy wyniosła 2,4 PPS/kg co oznacza, że w połowie państw UE produktywność posiadanych zasobów wynosi 2,49 PPS/kg zasobu. Państwa UE coraz bardziej różnią się od siebie pod tym względem o czym świadczy wartość odchylenia standardowego zwiększającego się z poziomu 0,8 PPS/kg do 1,4 PPS/kg. Podobnie też wartość rozstępu (różnica wynosi aż 6 PPS/kg) oraz współczynnika zmienności, który osiągnął poziom 48% w ostatnim roku analizy. Świadczy to o bardzo dużym zróżnicowaniu krajów UE pod względem produktywności zasobów.

Tabela 19. Statystyki opisowe dla wskaźnika *produktywności zasobów* (w PPS/kg)

Wskaźnik produktywności zasobów	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
średnia	1,94	2,01	2,03	2,18	2,38	2,69	2,87	2,94
mediana	1,65	1,80	1,85	2,03	2,17	2,37	2,48	2,49
odchylenie standardowe	0,86	0,87	0,89	1,01	1,06	1,25	1,34	1,42
rozstęp	3,24	3,25	3,58	4,29	4,31	5,46	5,60	6,02
kwartyl 1	1,40	1,41	1,46	1,46	1,63	1,93	1,96	1,96
kwartyl 3	2,54	2,71	2,66	2,98	3,27	3,61	3,90	3,90
współczynnik zmienności	0,44	0,43	0,44	0,46	0,45	0,46	0,47	0,48

Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

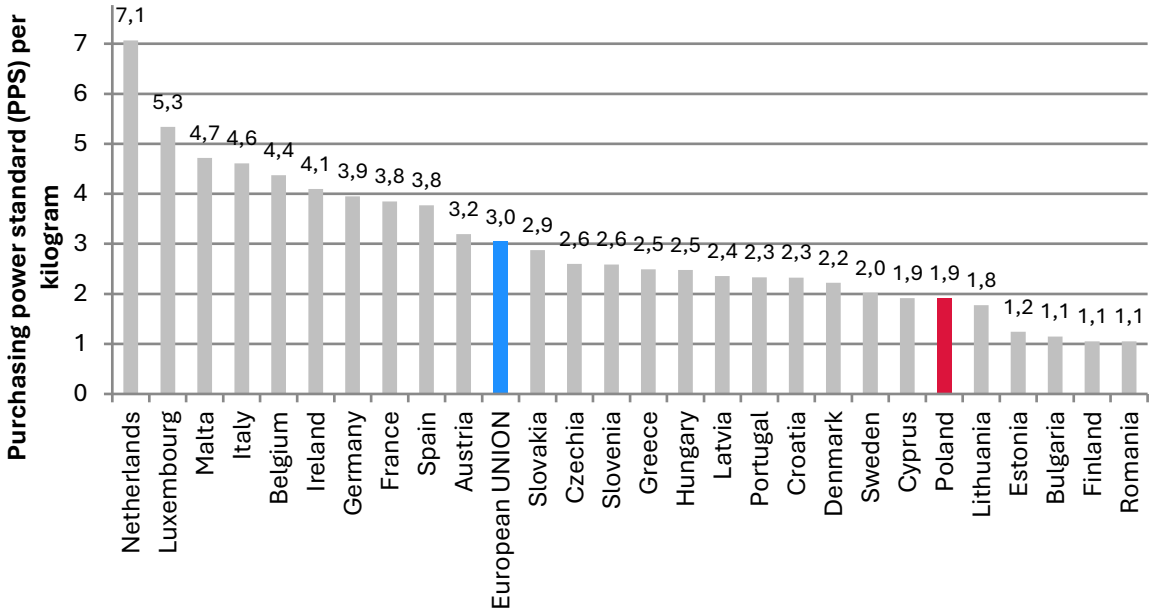
Wykres 21. Wskaźnik produktywności zasobów w 2018 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

Analizując pozycję Polski na tle pozostałych krajów Unii Europejskiej można wskazać, że w pierwszym roku analizy (tj. 2018) produktywność zasobów w Polsce wynosiła tylko 1,2 PPS/kg i byłą niższa od średniej unijnej wynoszącej 2,1 PPS/kg. Dawało to Polsce 23 miejsce pod względem produktywności zasobów w UE. W ostatnim roku analizy (tu: 2025 r.) Polska zwiększyła produktywność do poziomu 1,9 PPS/kg, co nadal było niższe niż średnia unijna (3 PPS/kg) i dawało Polsce 22 lokatę w UE (Wykres 21 i 22).

Wykres 22. Wskaźnik produktywności zasobów w 2025 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

Podsumowując analizę dotyczącą wskaźników środowiskowych, można wskazać, że w całej UE następuje dynamiczny rozwój tych aspektów gospodarki które odnoszą się do pozytywnego wpływu na środowisko. Te ze wskaźników, które są destymulantami, obniżają swoje średnie poziomy w kolejnych latach, zaś te z niech, które obrazują procesy mające pozytywny wpływ na środowisko – wzrastają. Polska nie należy jednak do czołówki krajów, w których te procesy zachodzą najbardziej dynamicznie, co przekłada się na gorszą pozycję naszego kraju pod względem środowiskowym.

Rozdział IX. Analiza korelacji i skupień - porównanie wyników procesów cyfryzacyjnych i środowiskowych

Do przeprowadzenia analizy korelacji oraz analizy skupień dla krajów UE wykorzystano dane za lata 2021 oraz 2023 dla wcześniej wybranych wskaźników. Zastosowano następujące skróty na oznaczenie poszczególnych wskaźników:

1) w grupie DESI:

- Co najmniej podstawowe umiejętności cyfrowe – *Skills*
- Cyfrowe usługi publiczne dla przedsiębiorstw – *DPSfB*
- Cyfrowe usługi publiczne dla obywateli – *DPSfC*
- Zasięg stacjonarnej sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN) – *VHCN*
- Odsetek MŚP z co najmniej podstawową intensywnością cyfrową – *SME_DI*

2) w grupie wskaźników środowiskowych:

- Emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca – *GHE*
- Końcowe zużycie energii na mieszkańca – *FEc*
- Krajowe zużycie materiałów (DMC) na mieszkańca – *DMC*
- Wskaźnik cyrkularnego wykorzystania materiałów – *CMur*
- Wskaźnik produktywności zasobów – *RP*

Tabela 20. Wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona dla wskaźników DESI w 2021 i 2023 r.

2021	Skills	DPSfB	DPSfC	VHCN	SME_DI
Skills	1,00				
DPSfB	0,58	1,00			
DPSfC	0,68	0,85	1,00		
VHCN	0,13	0,42	0,49	1,00	
SME_DI	0,76	0,65	0,63	0,18	1,00

2023	Skills	DPSfB	DPSfC	VHCN	SME_DI
Skills	1,00				
DPSfB	0,56	1,00			
DPSfC	0,64	0,85	1,00		
VHCN	0,12	0,14	0,25	1,00	
SME_DI	0,78	0,55	0,66	0,30	1,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie DESI

Tabela 21. Wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona dla wskaźników środowiskowych w 2021 i 2023 r.

2021	CMur	DMC	GHE	FEc	RP
CMur	1,00				
DMC	-0,43	1,00			
GHE	0,08	0,21	1,00		
FEc	0,08	0,42	0,63	1,00	
RP	0,68	-0,59	0,26	0,22	1,00

2023	CMur	DMC	GHE	FEc	RP
CMur	1,00				
DMC	-0,49	1,00			
GHE	0,06	0,16	1,00		
FEc	0,04	0,41	0,53	1,00	
RP	0,68	-0,62	0,22	0,19	1,00

Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

Analiza wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona dla wskaźników DESI pozwala stwierdzić, że poziom umiejętności cyfrowych (*Skills*) zarówno w 2021 jak i 2023 r. był silnie związany z dostępnością cyfrowych usług publicznych dla obywateli (*DPSfC*) i przedsiębiorstw (*DPSfB*) oraz z intensywnością cyfrową przedsiębiorstw (*SME_DI*). Jest to zrozumiałe, ponieważ procesy cyfryzacyjne realizowane w przedsiębiorstwach i dla przedsiębiorstw oraz obywateli mają znaczenie i mogą zostać wykorzystane o ile społeczeństwo posiada odpowiednie umiejętności by z nich skorzystać. Podobnie też związek między publicznymi usługami cyfrowymi dla przedsiębiorstw (*DPSfB*) oraz samą intensyfikacją cyfrową przedsiębiorstw (*SME_DI*), jest istotny z tego samego powodu. Co ciekawe intensyfikacja cyfrowa przedsiębiorstw (*SME_DI*) jest również związana z dostępnością publicznych usług cyfrowych dla obywateli (*DPSfC*), co może świadczyć, że miejsce pracy jest też miejscem nabywania stosownych umiejętności a tym samym, możliwości skorzystania z cyfryzacji procesów publicznych.

W przypadku zmiennych środowiskowych obserwuje się silny ujemny związek między krajowym zużyciem materiałów na mieszkańca (*DMC*) a cyrkularnością gospodarek (*CMur*), co wynika z faktu, że obie wielkości opisują materiały i rodzaj jego zużycia, zarówno tego pierwotnego, jak i późniejszego, kiedy wykorzystane zasoby trafiają z powrotem do pętli zamkniętej. Podobnie też, produktywność zasobów (*RP*) jest ujemnie

skorelowana z krajowym zużyciem materiałów na mieszkańca (*DMC*), a dodatnio z cyrkularnościa gospodarki (*CMur*). Tu także widać procesy związane z obrotem materiałowym, możliwościami wykorzystania dostępnych materiałów i technologiami umożliwiającymi efektywniejsze wykorzystanie dostępnych surowców.

Tabela 22. Wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona dla wskaźników DESI i wskaźników środowiskowych w 2021 i 2023 r.

2021	Skills	DPSfB	DPSfC	VHCN	SME_DI
CMur	0,33	0,28	0,34	0,09	0,41
DMC	0,06	0,15	0,14	0,22	0,14
GHE	0,17	0,24	0,05	-0,09	0,06
FEc	0,45	0,39	0,43	0,14	0,36
RP	0,44	0,29	0,30	0,12	0,37

2023	Skills	DPSfB	DPSfC	VHCN	SME_DI
CMur	0,34	0,14	0,28	0,11	0,39
DMC	0,07	0,21	0,11	0,18	0,09
GHE	0,18	0,20	0,00	-0,17	0,06
FEc	0,43	0,41	0,46	0,13	0,42
RP	0,41	0,13	0,22	0,16	0,40

Źródło: opracowanie własne na podstawie DESI i EUROSTAT

Analiza międzygrupowa wykazała, że co najmniej podstawowe umiejętności cyfrowe (*Skills*) były umiarkowanie dodatnio związane z końcowym zużyciem energii na mieszkańca (*FEc*) oraz z produktywnością zasobów (*RP*). Podejrzewa się, że związek ten jest uzasadniony przez potrzebę stosowania zaawansowanych procesów technologicznych (w tym cyfrowych) przez osoby pracujące. Tym samym, aby zastosować technologie pozwalające zwiększać produktywność zasobów, niezbędne są podstawowe umiejętności do obsługi tych procesów (które często są scyfryzowane). Potwierdza to również umiarkowany, dodatni związek podstawowych umiejętności cyfrowych z cyrkularnością gospodarki (*CMur*) oraz miedzy cyrkularnością a intensywnością cyfryzacyjną przedsiębiorstw (*SME_DI*). W przypadku dostępności publicznych usług online zarówno dla przedsiębiorstw (*DPSfB*), jak i dla obywateli (*DPSfC*), jest ona związana z końcowym zużyciem energii na mieszkańca (*FEc*), co wydaje się oczywiste, gdyż dostępność tych usług wymaga zużycia energii elektrycznej.

Analiza danych za lata 2021 i 2023 obejmowała także opracowanie dwóch mierników syntetycznych dla wskaźników cyfryzacyjnych (*DESI*) i środowiskowych (*Environm*). Zastosowano w tym celu następującą procedurę. Po analizie współczynnika zmienności, którego wartości dla każdej zmiennej były większe od 10%, oraz po opracowaniu macierzy korelacji liniowej Pearsona, opracowano macierz odwrócona do macierzy korelacji. Otrzymane na przekątnej wartości były <10, co dało podstawę do uznania zmiennych za nie obciążone potencjalną współliniowością. W ten sposób wszystkie 10 zmiennych może służyć za podstawę wyliczenia wskaźników syntetycznych. Celem ujednolicenia wartości zastosowano metodę unitaryzacji zerowanej (Kukuła, 1999), przekształcając zmienne według następujących wzorów:

a) dla stymulant:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - min\{x_{ij}\}}{R_{ij}}$$

b) dla destymulant:

$$z_{ij} = \frac{max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{R_{ij}}$$

gdzie:

z_{ij} – wartość zunitaryzowanej zmiennej

$\{x_{ij}\}$ – wartość zmiennej

R_{ij} – rozstęp (max – min)

Celem pogrupowania uzyskanych wyników, dokonano ich następującej klasyfikacji:

1) grupa „wysoka” $SM_i \geq \overline{SM} + sd$

2) grupa „średnia-wysoka” $\overline{SM} + sd > SM_i \geq \overline{SM}$

3) grupa „średnia-niska” $\overline{SM} > SM_i \geq \overline{SM} - sd$

4) grupa „niska” $\overline{SM} - sd > SM_i$

gdzie:

$\overline{SM}$ – średnia wartość dla wskaźnika syntetycznego

sd – odchylenie standardowe dla wskaźnika syntetycznego

Tabela 23. Wartości mierników syntetycznych dla grupy DESI i środowiskowej za 2021 i 2023 r.

Kraj	SM DESI				SM Środowiskowy			
	2021	Gr.	2023	Gr.	2021	Gr.	2023	Gr.
AT	0,584	3	0,586	3	0,515	3	0,535	3
BE	0,596	2	0,741	2	0,664	2	0,613	2
BG	0,345	4	0,428	4	0,428	3	0,437	3
HR	0,484	3	0,436	3	0,603	2	0,552	2
CY	0,473	3	0,578	3	0,473	3	0,416	3
CZ	0,546	3	0,503	3	0,495	3	0,514	3
DK	0,827	1	0,797	1	0,480	3	0,490	3
EE	0,708	2	0,729	2	0,496	3	0,495	3
FI	0,845	1	0,886	1	0,219	4	0,183	4
FR	0,541	3	0,542	3	0,700	1	0,704	1
DE	0,578	3	0,538	3	0,589	2	0,601	2
EL	0,192	4	0,390	4	0,597	2	0,570	2
HU	0,433	3	0,540	3	0,554	2	0,573	2
IE	0,756	2	0,750	2	0,438	3	0,390	4↑
IT	0,459	3	0,422	4↓	0,771	1	0,760	1
LV	0,552	3	0,533	3	0,541	3	0,552	2↑
LT	0,647	2	0,661	2	0,484	3	0,476	3
LU	0,787	1	0,771	2↓	0,286	4	0,300	4
MT	0,879	1	0,897	1	0,803	1	0,796	1
NL	0,845	1	0,872	1	0,842	1	0,844	1
PL	0,381	4	0,418	4	0,451	3	0,433	3
PT	0,629	2	0,626	2	0,549	2	0,559	2
RO	0,168	4	0,184	4	0,439	3	0,450	3
SK	0,475	3	0,438	3	0,602	2	0,600	2
SI	0,552	3	0,519	3	0,566	2	0,540	3↓
ES	0,776	2	0,741	2	0,695	1	0,686	1
SE	0,814	1	0,840	1	0,513	3	0,516	3

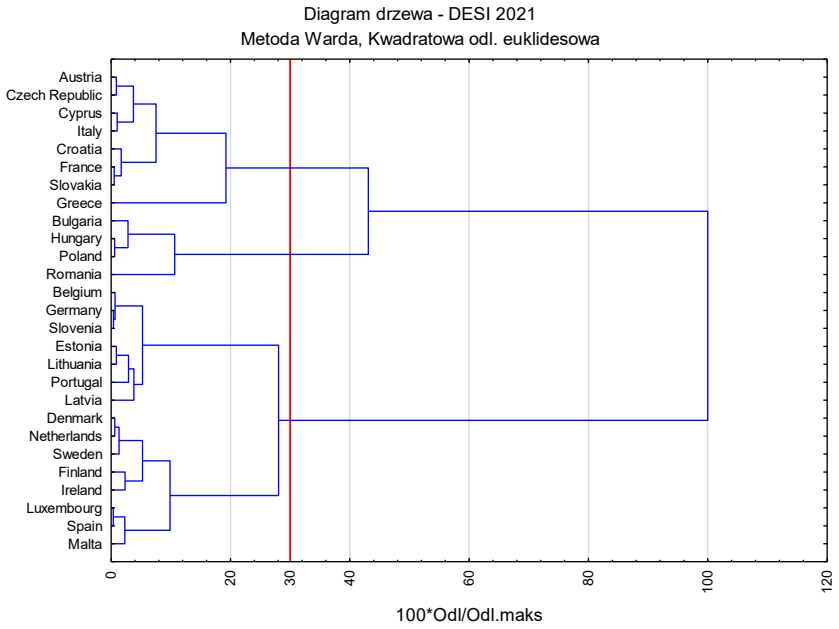
Źródło: opracowanie własne na podstawie DESI i EUROSTAT

Analizując uzyskane wyniki należy zwrócić uwagę na kraje które przechodziły między rokiem 2021 a 2023 do grupy wyższej. W większości przypadków poszczególne kraje w 2023 r. nadal należały do grupy z roku 2021, choć w zakresie zmiennych DESI odnotowano spadek Włoch i Luksemburga do niższej grupy, zaś w przypadku zmiennych środowiskowych spadki do niższej grupy dotyczyły Słowenii, a wzrosty do wyższej grupy: Irlandii i Łotwy.

Wykorzystując metodę grupowania opartą o metody aglomeracyjne, dokonano klastrowania krajów według wartości wskaźników DESI oraz wskaźników

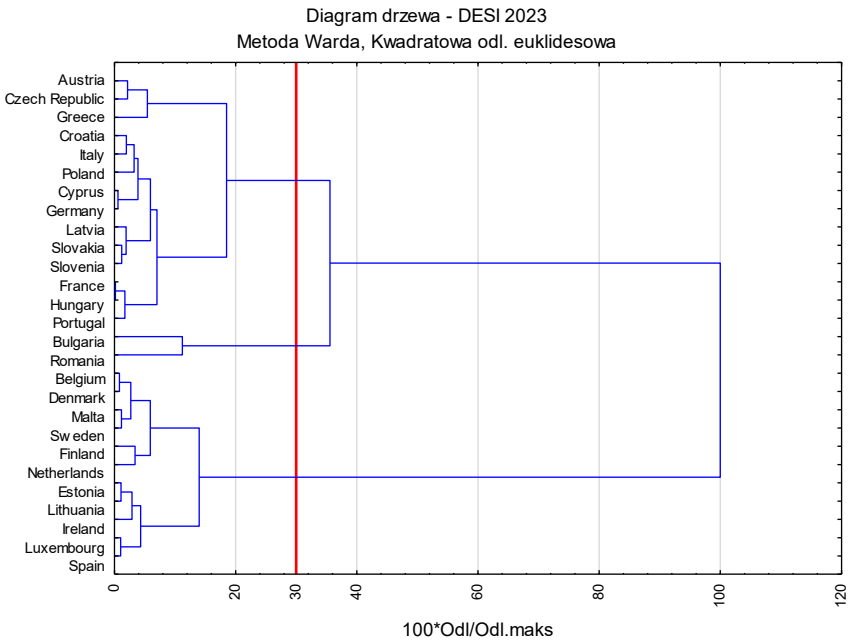
środowiskowych za lata 2021 i 2023[17]. W ten sposób uzyskano trzy grupy krajów w ramach każdej grupy wskaźników (Wykresy 23-26).

Wykres 23. Diagram drzewa dla wskaźników DESI za 2021 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie DESI

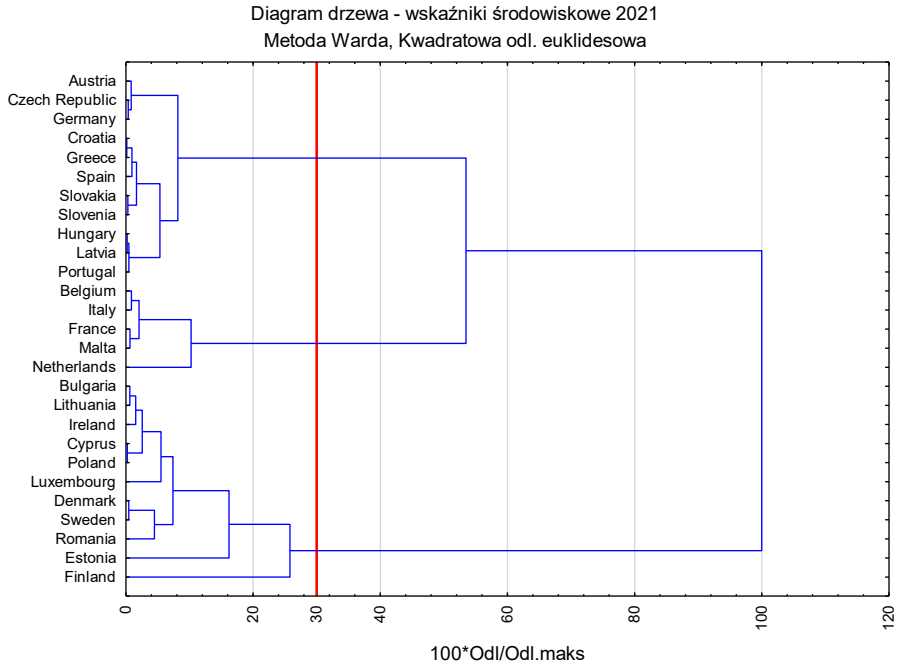
Wykres 24. Diagram drzewa dla wskaźników DESI za 2023 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie DESI

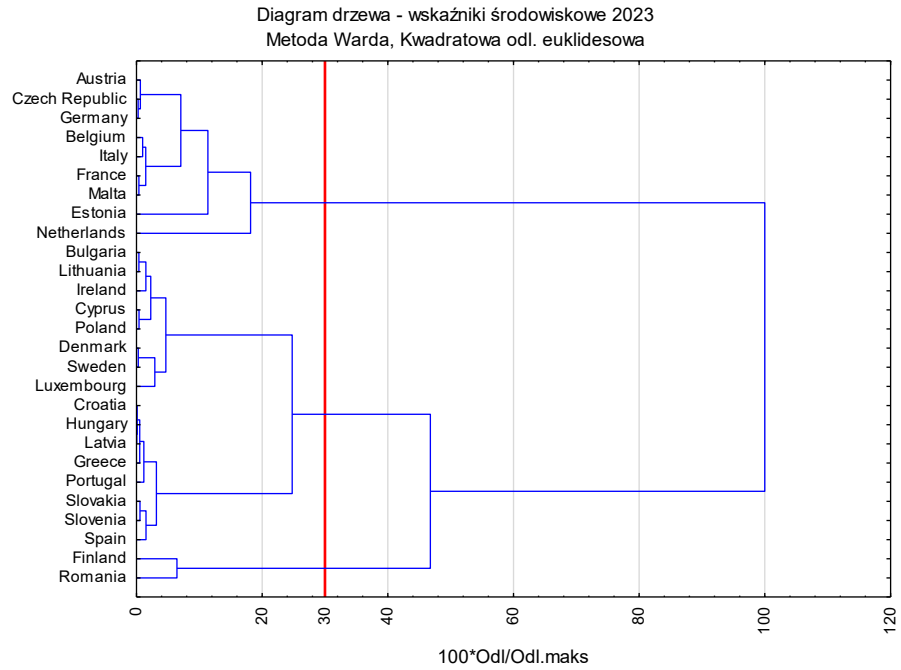
[17] Zastosowana została metoda Warda oraz kwadrat odległości euklidesowej (Ward, 1963).

Wykres 25. Diagram drzewa dla wskaźników środowiskowych za 2021 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

Wykres 26. Diagram drzewa dla wskaźników DESI za 2023 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie EUROSTAT

Przynależność poszczególnych krajów do konkretnych klastrów wyznaczały średnie wartości dla danej grupy wskaźników. Analizując wartości wskaźników z grupy DESI,

wyróżniono wartości niskie, średnie oraz wysokie. W przypadku niskich wartości, początkowo (tj. w 2021 r.) do tego klastra przynależało 4 kraje: Bułgaria, Węgry, Rumunia i Polska. Dwa lata później, Polska i Węgry znalazły się już w grupie krajów o średnim poziomie wskaźników DESI (w tabeli w roku 2023 oznaczono to przejście strzałką ↑). Do krajów o średnim poziomie wartości wskaźników DESI spadły też niektóre z państw UE, które jeszcze w 2021 r. zaliczane były do grupy krajów o wysokiej wartości DESI, tj.: Niemcy, Łotwa, Portugalia i Słowenia.

W przypadku wskaźników środowiskowych, również wyróżniono trzy grupy: niskie, średnie i wysokie wartości tych wskaźników. W pierwszej grupie w 2021 r. znalazło się 11 państw, w tym Polska, zaś w roku 2023 r. grupę o niskich wartościach wskaźników środowiskowych tworzyły dwa kraje: Rumunia i Finlandia. Obecność w tej grupie drugiego kraju może wydawać się zaskakująca, jednak od dłuższego czasu obserwuje się znaczący spadek niektórych wskaźników środowiskowych w Finlandii, co powoduje, że w rankingach uwzględniających wiele wskaźników z tej grupy, Finlandia jest zaliczana do niższych grup. Przejście do wyższych grup odnotowano w Danii, Irlandii, Litwie, Luksemburgu, Polsce, Szwecji, Austrii, Czechach, Niemczech i Estonii. Ten ostatni kraj awansowała z grupy 1 do grupy 3, gdzie poziom wskaźników środowiskowych był wysoki.

Tabela 24. Przynależność krajów do klastrów na podstawie wartości w grupie wskaźników DESI i wskaźników środowiskowych za lata 2021 i 2023

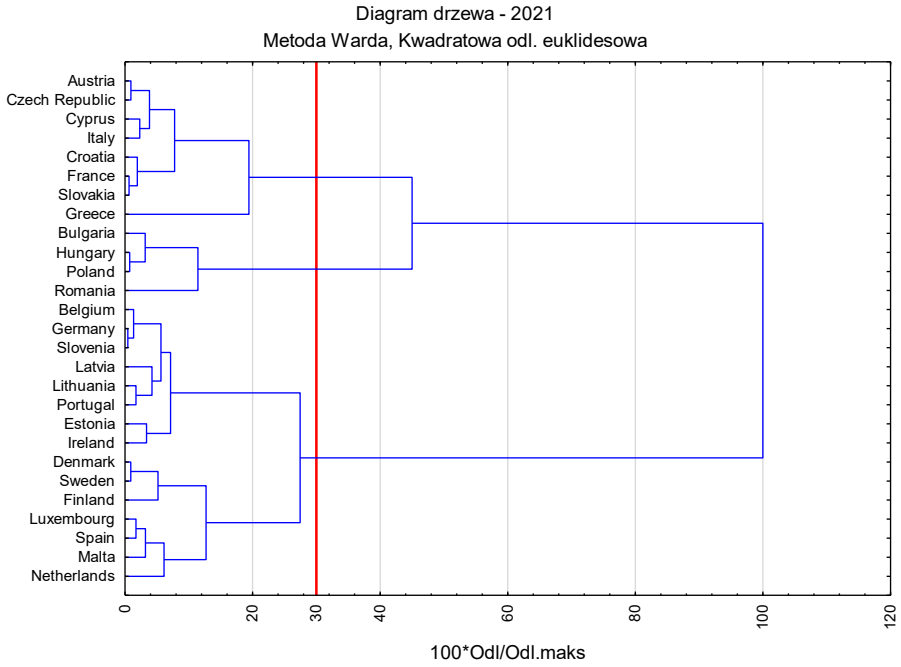
DESI			Środowiskowe		
Grupy	**2021**	**2023**	**Grupy**	**2021**	**2023**
Grupa 1 (DESI niskie)	Bułgaria Węgry Polska Rumunia	Bułgaria Rumunia	Grupa 1 (Środowiskowe niskie)	Bułgaria Cypr Dania Estonia Finlandia Irlandia Litwa Luksemburg Polska Rumunia Szwecja	Finlandia Rumunia
Grupa 2 (DESI średnie)	Austria Chorwacja Cypr Czechy Francja Grecja	Austria Chorwacja Cypr Czechy Francja Niemcy ↓	Grupa 2 (Środowiskowe średnie)	Austria Chorwacja Czechy Niemcy Grecja Węgry	Bułgaria Chorwacja Cypr Dania ↑ Grecja Węgry

DESI			Środowiskowe		
Grupy	**2021**	**2023**	**Grupy**	**2021**	**2023**
	Włochy Słowacja	Grecja Węgry ↑ Włochy Łotwa ↓ Polska ↑ Portugalia ↓ Słowacja Słowenia ↓		Łotwa Portugalia Słowacja Słowenia Hiszpania	Irlandia ↑ Łotwa Litwa ↑ Luksemburg ↑ Polska ↑ Portugalia Słowacja Słowenia Hiszpania Szwecja↑
Grupa 3 (DESI wysokie)	Belgia Dania Estonia Finlandia Niemcy Irlandia Łotwa Litwa Luksemburg Malta Holandia Portugalia Słowenia Hiszpania Szwecja	Belgia Dania Estonia Finlandia Irlandia Litwa Luksemburg Malta Holandia Hiszpania Szwecja	Grupa 3 (Środowiskowe wysokie)	Belgia Francja Włochy Malta Holandia	Austria ↑ Belgia Czechy ↑ Estonia ↑↑ Francja Niemcy ↑ Włochy Malta Holandia

Źródło: opracowanie własne na podstawie DESI i EUROSTAT

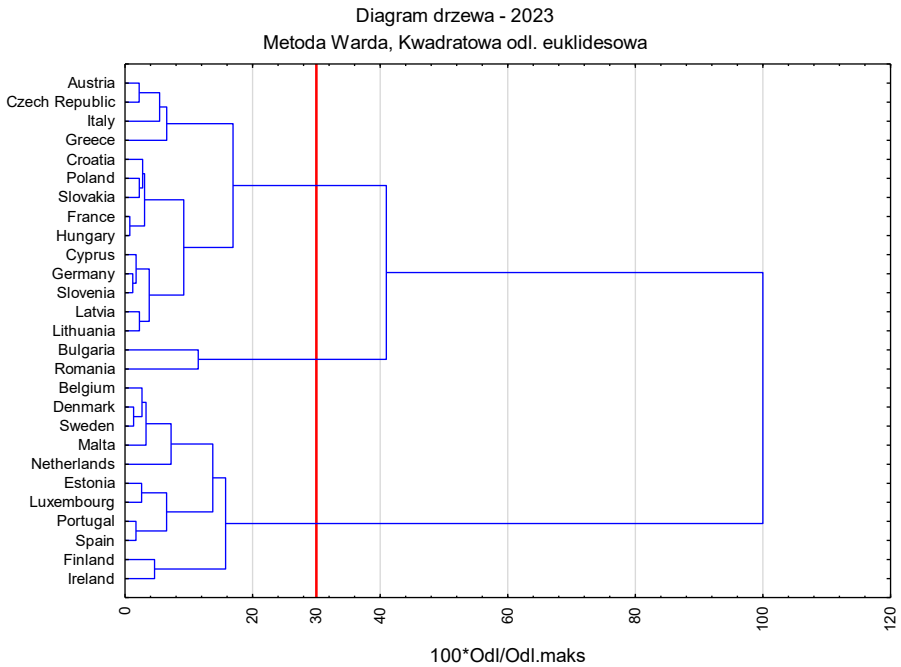
Dokonując klastrowania ogólnego, tj. równocześnie uwzględniającego wskaźniki cyfryzacyjne oraz środowiskowe, otrzymano również trzy grupy. Jednak ogólne wartości poszczególnych wskaźników nie były prostym przełożeniem na grupę niską, średnia i wysoką, ponieważ w analizowanym okresie w krajach UE, aspekty cyfryzacyjne i środowiskowe są tylko w części ze sobą związane. Powoduje to, że nie można mówić o liniowym charakterze wartości wskaźników np. niskie DESI i niskie wartości środowiskowe oraz wysokie DESI i wysokie wartości środowiskowe. Raczej wyraźnie rysują się niskie, średnie i wysokie wartości DESI którym towarzyszą średnio-niskie, średnie i średnio-wysokie wartości parametrów środowiskowych.

Wykres 27. Diagram drzewa dla obu grup wskaźników za 2021 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie DESI i EUROSTAT

Wykres 28. Diagram drzewa dla obu grup wskaźników za 2023 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie DESI i EUROSTAT

Tabela 25. Przynależność krajów do klastrów na podstawie łącznych wartości analizowanych wskaźników za lata 2021 i 2023

	2021	2023
Grupa 1 (niskie DESI i średnio-niskie środowiskowe)	Bułgaria Węgry Polska Rumunia	Bułgaria Rumunia
Grupa 2 (średnie DESI i umiarkowane środowiskowe)	Austria Chorwacja Cypr Czechy Francja Grecja Włochy Słowacja	Austria Chorwacja Cypr Czechy Francja Niemcy ↓ Grecja Węgry ↑ Włochy Łotwa ↓ Litwa ↓ Polska ↑ Słowacja Słowenia ↓
Grupa 3 (wysokie DESI i średnio-wysokie środowiskowe)	Belgia Dania Estonia Finlandia Niemcy Irlandia Łotwa Litwa Luksemburg Malta Holandia Portugalia Słowenia Hiszpania Szwecja	Belgia Dania Estonia Finlandia Irlandia Luksemburg Malta Holandia Portugalia Hiszpania Szwecja

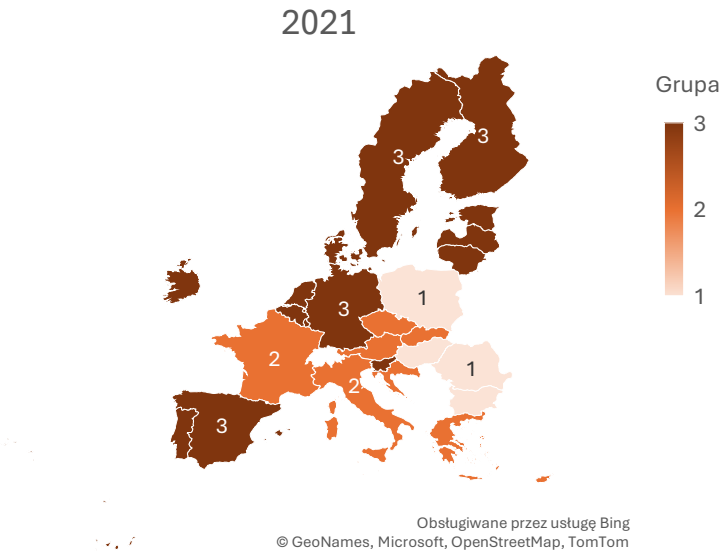
Źródło: opracowanie własne na podstawie DESI i EUROSTAT

Do grupy krajów o niskich wartościach wskaźników DESI oraz średnio-niskich wartościach wskaźników środowiskowych zaliczono w 2021 r. Bułgarię, Węgry, Polskę i Rumunię. W roku 2023 r. tę grupę tworzyły już tylko Bułgaria i Rumunia. Polska oraz Węgry awansowała do grupy drugiej, w której wartości wskaźników DESI były średnie zaś wartości wskaźników środowiskowych umiarkowane. W tym miejscu należy zwrócić wagę, że w tym klastrowaniu, mimo tych samych wag dla wskaźników w obu grupach, większą rolę w grupowaniu odgrywały zmiany we wskaźnikach cyfryzacyjnych. Widać to po analizie dalszych rastrów, gdzie w grupie 2 z pierwotnych 8 krajów w roku 2021, w roku 2023 znalazło się już 14 państw, z czego tylko dwa awansowały z grupy 1, zaś

cztery spadły z grupy 3. Tym samym przynależność do grupy 3 uszczupliła się z 15 państw w 2021 r. do 11 krajów w 2023 r.

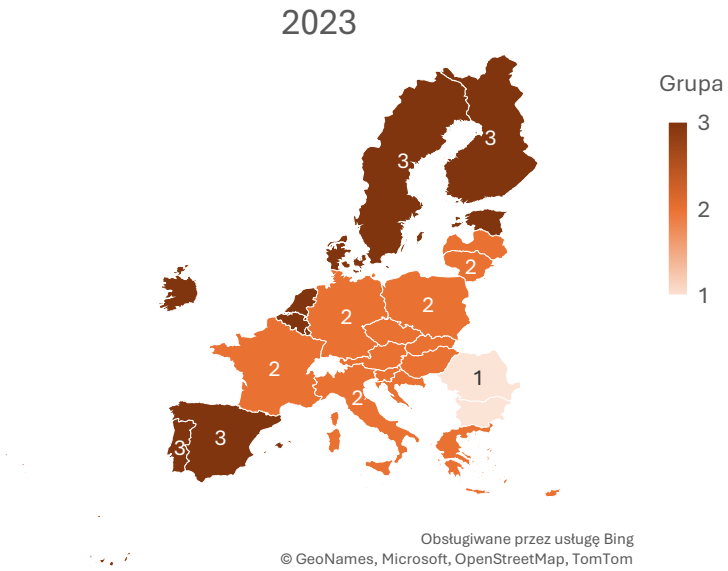
Celem ułatwienia obserwacji zmian jakie zaszły w przynależności poszczególnych krajów do grup miedzy 2021 a 2023 r. opracowano dwa kartogramy (Wykres 29 i 30).

Wykres 29. Kartogram przynależności krajów UE do grup w 2021 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie DESI i EUROSTAT

Wykres 30. Kartogram przynależności krajów UE do grup w 2023 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie DESI i EUROSTAT

Wyniki zaprezentowane w tej części pozwalają dokonać oceny kondycji krajów UE w zakresie procesów cyfryzacyjnych i środowiskowych. Ogólny obraz, jaki wyłania się na podstawie badania wskazuje, że w zakresie cyfryzacji procesy realizowane są dynamicznie i można stwierdzić – również skutecznie. Kraje Unii Europejskiej wykazują się wzmożoną działalnością na rzecz cyfryzacji różnego rodzaju dziedzin działania, zarówno administracji państwowej, jak i podmiotów prywatnych i obywateli. Następuje też coraz większe ujednolicenie krajów UE pod tym względem, co można uznać za dobry wskaźnik procesów konwergencyjnych. Z drugiej strony, przemiany w zakresie procesów środowiskowych, ich różnokierunkowe zmiany oraz niejednolitość tendencji wskazują, że jest to początkowy etap tzw. zielonej transformacji. W tym zakresie wiele krajów UE, w tym Polska ma do zrobienia jeszcze sporo, szczególnie aby procesy gospodarcze uczynić przyjaznymi dla środowiska z poszanowaniem zasad zrównoważonego rozwoju.

Rozdział X. Podsumowanie uzyskanych wyników

Wyniki uzyskane w toku analizy pozwalają na udzielenie odpowiedzi na postawione w rozdziale drugim pytania szczegółowe.

W odpowiedzi na pytanie 1: *W jaki sposób dane DESI, Cyfrowej Dekady i Eurostatu umożliwiają pomiar transformacji cyfrowej oraz jakie ograniczenia ich porównywalności występują w latach 2018–2024?*

Baza dostępnych danych opisujących parametry cyfryzacyjne i środowiskowe jest dostępna w ramach modułów DESI, w tym Cyfrowej Dekady, oraz Eurostatu. Niestety, ze względu na zmiany metodologiczne oraz terminy prowadzonych badań, a tym samym różne cykle badawcze (tj. roczne, dwuletnie, etc.), tylko w ograniczonym stopniu możliwe jest porównanie dostępnych danych opisujących procesy cyfryzacyjne i środowiskowe. Ze względu na braki danych wynikające z opóźnienia w ich publikowaniu (co jest naturalnym procesem w publikacji danych), możliwe było porównanie wartości wskaźników jedynie za lata 2021 i 2023. Wybrane 10 wskaźników (5 dotyczących zagadnień cyfryzacyjnych i 5 dotyczących zagadnień środowiskowych) zostało porównane za te dwa lata. Warto wskazać w tym miejscu, że po uzyskaniu dostępu do najnowszych danych, możliwe będzie przeprowadzenie podobnej analizy za rok 2025, co mogłoby posłużyć do wykazania kierunków zmian.

W odpowiedzi na pytanie 2: *Jak kształtuje się poziom i zróżnicowanie zaawansowania cyfrowego państw UE w czterech przyjętych obszarach?*

W zakresie czterech wskazanych obszarów cyfryzacyjnych, tj. *Infrastruktura cyfrowa*, *Umiejętności cyfrowe*, *Cyfrowa transformacja przedsiębiorstw*, *Cyfryzacja usług publicznych*, wybrane wskaźniki pozwalają na omówienie kształtu cyfryzacji w każdym z tych obszarów.

W zakresie *infrastruktury cyfrowej*, nastąpiło znaczące ujednolicenie dostępu gospodarstw domowych do stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN). Według najnowszych danych ponad 85% ogółu gospodarstw domowych może korzystać z tej infrastruktury. Znacząco też zmniejszył się wskaźnik zróżnicowania między krajami w tym zakresie i obecnie wynosi 13%.

W zakresie *umiejętności cyfrowych,* w analizowanym okresie zaobserwowano wzrost odsetka osób z co najmniej podstawowymi umiejętnościami cyfrowymi. Według najnowszych danych, takie umiejętności posiada około 61% osób w UE, zaś zróżnicowanie tego wskaźnika między państwami sięga 21%. Jest to zatem ten obszar, który powinien być objęty dodatkowymi działaniami.

W zakresie *cyfrowej transformacji przedsiębiorstw,* przeanalizowano intensywność cyfrową tego typu podmiotów należących do sektora MŚP. Wyniki pozwalają wskazać, że pond 70% firm deklaruje przynajmniej podstawową intensywność cyfrową, zaś różnice między krajami wynoszą około 19%. Ze względu na tendencje spadkową tego zróżnicowania można wskazać, że następuje większe ujednolicenie procesów cyfryzacyjnych w firmach, także na skutek współpracy i wymiany biznesowej miedzy nimi.

W zakresie *cyfryzacji usług publicznych*, rozpatrywano dwa wskaźniki, z których pierwszy odnosił się do usług dedykowanych biznesowi, zaś drugi – obywatelom. W przypadku dostępności usług online dla biznesu obserwuje się wysoki (ponad 86%) dostęp tego typu rozwiązań wśród krajów UE. Następuje przy tym duże ujednolicenie, ponieważ aktualne różnice wynoszą 12%. W przypadki dostępności usług online dla obywateli, średnia unijna wynosi około 82%, zaś zróżnicowanie między krajami w dostępie do nich tylko 11%. Można zatem wskazać, że i w tym zakresie następuje ujednolicenie procesów cyfryzacyjnych w krajach UE.

W odpowiedzi na pytanie 3: *Jaki poziom i kierunek zmian wykazują wybrane wskaźniki środowiskowe w badanych państwach?*

Do opisania zagadnień środowiskowych wybranych zostało pięć wskaźników. W zakresie *emisji gazów cieplarnianych na mieszkańca* następuje ujednolicenie wartości tego wskaźnika między krajami UE. Według najnowszych danych nastąpił znaczący spadek ich poziomu z 8,8 t/p.c. do 6,9 t/p.c, Znacząco też zmniejszył się wskaźnik zróżnicowania

między krajami w tym zakresie i obecnie wynosi 25%. Oznacza to jednak, że ta sfera wymagać będzie dalszych nakładów finansowych oraz nakładów pracy aby zapewnić coraz mniejszą emisyjność.

W zakresie *końcowego zużycia energii na mieszkańca* również zaobserwowano postępujące ujednolicanie wartości tego wskaźnika W ostatnim roku analizy osiągnął on poziom 2,1 TOE/p.c., zaś zróżnicowanie między krajami UE wyniosło 37% (spadek z 48%). Wynik ten, mimo pozytywnej tendencji, nadal wskazuje potrzebę podejmowania zaawansowanych działań na rzecz zmniejszania wykorzystania tego krytycznego zasobu.

W zakresie *krajowego zużycia materiałów (DMC) na mieszkańca,* zaobserwowano nieznaczny spadek wartości. Wynosi on obecnie 17,1 t/p.c. Niestety, zróżnicowanie krajów UE w tym zakresie jest dość znaczne, wynosi bowiem 44%.

W zakresie *wskaźnika cyrkularnego wykorzystania materiałów* zaobserwowano wzrost jego wartości, co przekłada się na zwiększenie cyrkularnosci gospodarek europejskich. Aktualnie poziom tego wskaźnika wynosi ponad 10% dla UE. Niestety, zróżnicowanie miedzy krajami w zakresie stosowania zasad gospodarki o obiegu zamkniętym jest bardzo duże i wynosi obecnie 69%.

W zakresie *wskaźnika produktywności zasobów* zaobserwowano wzrost jego wartości. Średni poziom w UE wynosi obecnie 2,9 PPS/kg. Niestety, także i w tym zakresie zróżnicowanie między krajami jest duże i wzrasta. Obecnie wynosi 48%.

W odpowiedzi na pytanie 4: *Jakie grupy państw można wyodrębnić na podstawie podobieństwa profili cyfryzacji i jak różnią się one pod względem wyników środowiskowych?*

Odpowiedz na to pytanie była możliwa na podstawie wyników grupowania. Dokonano jej w oparciu o dwie różne metody: metodę unitaryzacji zerowanej (MUZ) (Kukuła, 1999) oraz metodę aglomeracyjną opartą o metodę Warda (Ward, 1963) z kwadratem odległości euklidesowej (metoda Warda) jako miernikiem podobieństwa i różnicy. Analizując uzyskane tą drogą wyniki można wskazać, że są one dość podobne, choć MUZ dzieli kraje na 4 grupy, zaś w metodzie Warda otrzymano 3 klastry. Porównując składy

grup, różnica dla rankingów DESI za rok 2021 wynosi 18,5%[18], zaś w roku 2023 – 14,8%. W przypadku rankingów dla wskaźników środowiskowych, różnica rankingów MUZ i metoda Warda była wyższa i wyniosła w 2021 r. 33%, zaś w 2023 r. – 37%.

W przypadku zbiorczego grupowania metodą unitaryzacji zerowanej opracowano po 4 grupy krajów, rozpoczynając od krajów które osiągały najwyższe wyniki w zakresie cyfryzacji oraz w zakresie działań środowiskowych. W obu analizowanych latach do grupy krajów o najwyższym poziomie cyfryzacji zaliczono: Maltę, Finlandię, Holandię, Szwecję i Danię. Do grupy o najwyższym poziomie działań środowiskowych zaliczono w obu latach Holandię, Maltę, Włochy, Francję i Hiszpanię.

W przypadku odrębnego grupowania metodą Warda wyodrębnione zostały trzy klastry, zaś do klastra o stosunkowo najwyższych wartościach cyfryzacyjnych zaliczono w obu latach: Belgię, Danię, Estonię, Finlandię, Irlandię, Litwę, Luksemburg, Maltę, Holandię, Hiszpanię i Szwecję. W przypadku wskaźników środowiskowych czołowe miejsce w obu latach zajmowały: Belgia, Francja, Włochy, Malta i Holandia. Łącząc wskaźniki cyfryzacyjne i środowiskowe, metoda Warda pozwoliła na wskazanie, że do grupy krajów o wysokim poziomie wskaźników cyfryzacyjnych i średnio-wysokim poziomie wskaźników środowiskowych w obu latach równocześnie zaliczono: Belgie, Danię, Estonię, Finlandię, Irlandię, Luksemburg, Maltę, Holandię, Portugalię, Hiszpanię i Szwecję.

Łącząc te wszystkie metody grupowania, do krajów będących w czołówce obu procesów cyfryzacyjnych zaliczone zostały: Malta i Holandia. Pozostałe kraje będące w rankingach liderami, zazwyczaj wykazywały się wysokim poziomem wskaźników należących tylko do jednej grupy. Można zatem stwierdzić, że jedynie w 2 na 27 analizowanych krajów procesy cyfryzacyjne i środowiskowe przebiegały na wysokim poziomie, w pozostałych to jeden z obszarów dominował, bądź też w obu z nich kraje notowały nie satysfakcjonujące wyniki.

Udzielając odpowiedzi na postawione w rozdziale 2 główne pytanie badawcze: *Jakie zależności występują między zaawansowaniem transformacji cyfrowej a wybranymi wynikami środowiskowymi gospodarek UE oraz jakie uwarunkowania mogą wyjaśniać ich*

[18] Jest to suma z wartości błędu przynależności wynoszącego 1/27 za każdym razem, kiedy kraj znalazł się w innej grupie w metodzie Warda niż zakwalifikowany był w MUZ. Dla MUZ połączone zostały dwa klastry z metody Warda, aby zapewnić tę samą liczbę grup, tj. 3.

zróżnicowanie?, należy zaznaczyć, że procesy cyfryzacyjne i środowiskowe nie przebiegają równolegle i nie mają często tego samego kierunku. O ile cyfryzacja jest procesem dość znacznie już posuniętym w realizacji w krajach UE, a także jest notowana wysoka zbieżność poziomu jego zaawansowania, o tyle w przypadku procesów środowiskowych można mówić raczej o początkach zielonej transformacji. Jeszcze wiele gospodarek unijnych boryka się z problemem niedostosowania swoich procesów wytwórczych, szczególnie technologicznych, co przekłada się na niedostatek realizacji zamierzeń środowiskowych. Zaawansowanie cyfryzacyjne stosunkowo łatwo osiągnąć poprzez zwiększanie nakładów na infrastrukturę cyfrową czy podnoszenie umiejętności. Są to rozwiązania raczej jednolite, oparte o te same elementy cyfrowe. Sytuacja w zakresie środowiska naturalnego jest nieco bardziej skomplikowana, zarówno z tego względu, ze wymaga wielu nakładów finansowanych głównie przez właścicieli i kapitał przedsiębiorstw, a po drugie, procesy których może dotyczyć są mocno zróżnicowane w zależności od stosowanej technologii czy w ramach różnych sektorów gospodarczych. Postęp w zakresie zielonej transformacji nie jest tylko w prosty sposób uzależniony od nakładów finansowych, ale wymaga także opracowania stosownych rozwiązań, które oprócz tego że będą korzystne środowiskowo, będą także atrakcyjne pod względem ekonomicznym.

Postęp transformacji cyfrowej i środowiskowej nie musi przebiegać równolegle ani wykazywać jednakowego kierunku i tempa zmian. Transformacja cyfrowa może wspierać realizację celów środowiskowych za pośrednictwem mechanizmów zwiększających efektywność wykorzystania energii i zasobów, optymalizujących procesy produkcyjne i logistyczne, usprawniających monitorowanie oddziaływania działalności gospodarczej na środowisko oraz umożliwiających rozwój nowych modeli produkcji i konsumpcji, w tym rozwiązań gospodarki o obiegu zamkniętym. Wykorzystanie technologii cyfrowych może również ułatwiać zarządzanie systemami energetycznymi, integrację odnawialnych źródeł energii oraz podejmowanie decyzji gospodarczych z uwzględnieniem kosztów środowiskowych. Mechanizmy te nie prowadzą jednak automatycznie do poprawy wyników środowiskowych. Ich skuteczność zależy od sposobu wykorzystania technologii cyfrowych, charakteru procesów gospodarczych, w których znajdują zastosowanie, oraz warunków ekonomicznych i instytucjonalnych sprzyjających wdrażaniu rozwiązań ograniczających presję na środowisko. Istotne

znaczenie ma przy tym odmienna specyfika obu procesów transformacyjnych. Postęp w zakresie cyfryzacji może być osiągany między innymi poprzez rozwój infrastruktury cyfrowej, upowszechnianie technologii oraz podnoszenie kompetencji cyfrowych. Chociaż działania te również wymagają znacznych nakładów i odpowiednich warunków organizacyjnych, ich podstawowe kierunki są w dużej mierze wspólne dla gospodarek państw UE. Transformacja środowiskowa ma natomiast charakter bardziej złożony, ponieważ wymaga dostosowania zróżnicowanych procesów produkcyjnych, technologii i modeli działalności gospodarczej do wymagań środowiskowych. Zakres i koszty tych dostosowań zależą między innymi od struktury sektorowej gospodarki, stosowanych technologii, miksu energetycznego oraz możliwości inwestycyjnych przedsiębiorstw.

W konsekwencji pozytywne oddziaływanie transformacji cyfrowej na realizację celów środowiskowych ma charakter warunkowy. Zależy nie tylko od dostępności technologii i poziomu zaawansowania cyfrowego, lecz także od zdolności do ich wykorzystania w sposób prowadzący do rzeczywistego ograniczenia zużycia zasobów, emisji i innych obciążeń środowiskowych. Szczególnego znaczenia nabiera tworzenie rozwiązań, które łączą korzyści środowiskowe z efektywnością ekonomiczną, a także odpowiednie instrumenty polityki publicznej, bodźce inwestycyjne i regulacje sprzyjające ich upowszechnianiu. Należy również uwzględnić możliwość występowania efektów przeciwnych, w tym zwiększonego zapotrzebowania na energię i zasoby związane z rozwojem infrastruktury cyfrowej oraz efektu odbicia, polegającego na wzroście konsumpcji wskutek poprawy efektywności.

Tym samym zaawansowanie transformacji cyfrowej należy traktować jako potencjalny czynnik wspierający transformację środowiskową, a nie jako wystarczający warunek osiągania korzystnych wyników środowiskowych. O rzeczywistym znaczeniu cyfryzacji dla realizacji celów środowiskowych decydują mechanizmy jej wykorzystania oraz uwarunkowania gospodarcze, technologiczne i instytucjonalne, które mogą zarówno wzmacniać, jak i ograniczać efekty środowiskowe wdrażanych rozwiązań.

Podsumowaniem prowadzonych analiz jest też wskazanie dalszych kierunków badań. Analiza dostępnego materiału zebranego na poziomie krajów UE wskazuje zarówno na potrzebę prowadzenia badań na niższych poziomach terytorialnych, szczególnie mikro, jak też na konieczność poszerzenia i utrzymania metodycznego bazy wskaźników

opisujących analizowane obszary. Wszelkie zmiany czy też nieciągłość w zbieraniu materiału analitycznego powoduje trudność w uogólnieniu wyników, zaś prowadzenie analiz na poziomie makro może ograniczać możliwość uchwycenia ważnych aspektów badanych procesów. Wynika stąd, że chcąc precyzyjnie uchwycić tendencje w rozwoju, źródła potencjalnych różnic, czy też czynniki determinujące postęp cyfryzacyjny, ale też i środowiskowy, konieczne jest opracowanie spójnej metodyki badawczej i realizowanie badań za jej pomocą w długim okresie.

Zakończenie

Transformacja cyfrowa może wspierać zrównoważony rozwój, jeżeli jej zastosowania prowadzą do sprawdzalnego ograniczania presji środowiskowej, a korzyści pozostają dostępne dla obywateli i przedsiębiorstw. Przegląd literatury, regulacji i danych nie uzasadnia jednak założenia, że wzrost cyfryzacji samoczynnie poprawia stan środowiska. Rozwój usług cyfrowych zależy od materialnej infrastruktury, której zużycie energii, wody i surowców musi zostać uwzględnione w ocenie. Głównym kryterium jest zatem całkowity rezultat wdrożenia w przyjętych granicach czasu i przestrzeni.

Odpowiedź na pytanie Q1 wymaga odróżnienia digitalizacji informacji, cyfryzacji procesów i transformacji cyfrowej. Pierwsza zmienia postać informacji, druga sposób wykonywania czynności, a trzecia obejmuje szersze przekształcenia modeli działania, kompetencji i relacji z otoczeniem. Transformacja gospodarki i administracji nie kończy się na zakupie sprzętu lub udostępnieniu formularzy elektronicznych. Obejmuje zdolność wykorzystywania technologii do zmian organizacyjnych i instytucjonalnych.

W odniesieniu do Q1.2 istotny jest wielofazowy i adaptacyjny charakter tego procesu. Nakłady na infrastrukturę, integrację systemów i szkolenia mogą poprzedzać korzyści. Wdrożeniom towarzyszą eksperymentowanie, korekty i dostosowywanie strategii do zachowań użytkowników. Ocena krótkookresowa może więc pomijać koszty wcześniejszych etapów lub nie rejestrować późniejszych rezultatów. Nie istnieją podstawy do traktowania jednej sekwencji zmian jako uniwersalnego modelu wszystkich organizacji.

Odpowiedź na Q2 wskazuje na komplementarność infrastruktury i łączności, umiejętności, cyfryzacji przedsiębiorstw oraz cyfrowych usług publicznych. Infrastruktura i kompetencje umożliwiają wdrożenia, natomiast przedsiębiorstwa i administracja określają sposoby wykorzystania tych zasobów. Finansowanie, przywództwo, interoperacyjność, zaufanie i jakość instytucji warunkują przełożenie

zastosowań technologicznych na rezultaty. Rozwój jednego obszaru nie kompensuje automatycznie niedoborów w pozostałych. Podobny poziom dostępu do internetu może współistnieć z odmienną zdolnością użytkowników do samodzielnego działania.

W odniesieniu do Q3 aktualne dane za 2025 r. potwierdzają szerokie uczestnictwo cyfrowe w UE, lecz również luki w umiejętnościach i zróżnicowanie wykorzystania technologii przez przedsiębiorstwa. Wskaźniki kompetencji, zatrudnienia specjalistów i intensywności cyfrowej pozostają poniżej celów na 2030 r. Średnia unijna nie opisuje sytuacji każdego państwa ani grupy przedsiębiorstw. Prawidłowe porównanie wymaga zgodnych definicji, populacji i okresów oraz uwzględnienia zmian składowych wskaźników.

Rozwój programu Cyfrowej Dekady, DSA, DMA, aktu w sprawie danych i AI Act wzmacnia instytucjonalne ramy transformacji, ale nie zastępuje oceny skuteczności ich wykonania. Zarządzanie cyfrowe należy oceniać także przez interoperacyjność, odpowiedzialność instytucji i rzeczywistą sprawczość użytkowników. Przykład Ukrainy podkreśla znaczenie odporności usług i dostępności różnych kanałów obsługi.

Odpowiedź na Q4 wskazuje na warunkowy charakter korzyści środowiskowych. Technologie mogą usprawniać sterowanie produkcją, budynkami, transportem i energetyką, wspierać naprawę produktów oraz poprawiać jakość informacji środowiskowych. Korzystny bilans zależy od celu wdrożenia, skali działalności, źródeł energii, trwałości urządzeń i reakcji użytkowników. Efektywność jednostkowa może wzrastać równocześnie ze wzrostem zużycia całkowitego, a lokalne oszczędności mogą współistnieć z kosztami przeniesionymi do innych krajów.

W odniesieniu do Q4.1 i Q4.2 integracja europejska, wspólne reguły i fundusze mogą sprzyjać koordynacji działań, dostępności danych i podnoszeniu zdolności organizacyjnych. Współpraca z partnerami powinna uwzględniać również środowiskowe koszty łańcuchów dostaw. W końcowej fazie RRF szczególnego znaczenia nabiera trwałość wspartych rozwiązań i finansowanie ich utrzymania. Wysokość wydatków, etykieta klimatyczna projektu i liczba cyfrowych paszportów nie są samodzielnymi dowodami poprawy środowiskowej.

W odpowiedzi na Q4.3 i Q4.4 korzyści cyfrowego zarządzania miastami oraz transportem zależą od jakości usług i faktycznej zmiany zużycia zasobów. Monitoring wycieków,

zarządzanie energią i optymalizacja dostaw wymagają działań organizacyjnych po uzyskaniu informacji. W transporcie trzeba jednocześnie mierzyć emisje jednostkowe i całkowite oraz zmiany pracy przewozowej. System zwiększający atrakcyjność przejazdów samochodem może ograniczać część strat, a zarazem pobudzać popyt, osłabiając rezultat środowiskowy.

Odpowiedź na Q4.5 wymaga rozpatrywania miksu energetycznego, skali obliczeń i cyklu życia sprzętu łącznie. Rozwój centrów danych i AI wzmacnia znaczenie tego warunku: spadek kosztu energetycznego pojedynczego zadania może współistnieć ze wzrostem zapotrzebowania całego sektora. Finlandia i Szwecja pokazują znaczenie warunków zasilania, ale ich przykłady nie dowodzą przyczynowego wpływu cyfryzacji na udział OZE. Niezbędne są odrębne miary emisyjności energii, zużycia wody, materiałów i powstawania odpadów.

Z przedstawionych ustaleń wynika potrzeba powiązania polityki cyfrowej z mierzalnymi celami środowiskowymi, oceną cyklu życia i ochroną praw użytkowników. Priorytetem powinny być zastosowania rozwiązujące określony problem, wraz z rozwojem kompetencji, naprawialnością sprzętu i kontrolą skutków po wdrożeniu. Potencjał podwójnej transformacji staje się rzeczywistą korzyścią dopiero wtedy, gdy oszczędności przewyższają dodatkowe obciążenia i nie wynikają jedynie z przeniesienia kosztów poza granice analizy. Przegląd uzasadnia tę warunkową tezę i wyznacza kierunki jej dalszej weryfikacji empirycznej; nie zastępuje pomiaru zależności przyczynowych.

Literatura

AlNuaimi, B. K., Singh, S. K., Ren, S., Budhwar, P., & Vorobyev, D. (2022). Mastering digital transformation: The nexus between leadership, agility, and digital strategy. *Journal of Business Research*, *145*, 636-648. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.03.038

Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy: Toward a next generation of insights. *MIS Quarterly*, *37*(2), 471-482. https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37:2.3

Boratyńska, K., Cieślik, E., Kacperska, E., Łukasiewicz, K., & Milewska, A. (2021). *Gospodarka cyfrowa we współczesnym świecie – kraje V4*. Wydawnictwo SGGW. ISBN 978-83-8237-061-4. https://www.ieif.sggw.pl/wp-content/uploads/2021/12/Gospodarka_cyfrowa.pdf (dostęp: 15.10.2026)

Burtscher, M., Piano, S., & Welby, B. (2024). Developing skills for digital government: A review of good practices across OECD governments. *OECD Social, Employment, and Migration Working Papers*, (303), 1-56. https://doi.org/10.1787/f4dab2e9-en

Chang, L., & Zhang, X. (2024). Introduction: Platforms for social good. *Global Media and China*, *9*(3), 253-259. https://doi.org/10.1177/20594364241241777

Cordella, A., & Tempini, N. (2015). E-government and organizational change: Reappraising the role of ICT and bureaucracy in public service delivery. *Government information quarterly*, *32*(3), 279-286. https://doi.org/10.1016/j.giq.2015.03.005

Deursen van, A. J., & van Dijk, J. A. (2014). The digital divide shifts to differences in usage. *New Media & Society*, *16*(3), 507-526. https://doi.org/10.1177/1461444813487959

Feng B., & Q. Ye. (2021). Operations Management of Smart Logistics: A Literature Review and Future Research, *Frontiers of Engineering Management*, *8*(3), 344-355. https://doi.org/10.1007/s42524-021-0156-2

Greenstein, S. (2021). Digital Infrastructure. [In:] *Economic Analysis and Infrastructure Investment*. Ed. E. L. Glaeser, & J. M. Poterba, (pp. 409-447). University of Chicago Press. https://doi.org/10.7208/chicago/9780226800615.003.0009

Hanelt, A., Bohnsack, R., Marz, D., & Antunes Marante, C. (2021). A systematic review of the literature on digital transformation: Insights and implications for strategy and organizational change. *Journal of Management Studies*, *58*(5), 1159–1197. https://doi.org/10.1111/joms.12639

Hargittai, E. (2002). Second-level digital divide: Differences in people's online skills. *First Monday*, *7*(4). https://doi.org/10.5210/fm.v7i4.942

Hook, A., Court, V., Sovacool, B. K., & Sorrell, S. (2020). A systematic review of the energy and climate impacts of teleworking. *Environmental Research Letters*, *15*(9), 093003. https://doi.org/ 10.1088/1748-9326/ab8a84

Horlacher, A., Klarner, P., & Hess, T. (2016). Crossing boundaries: Organization design parameters surrounding CDOs and their digital transformation activities. *AMCIS 2016 Proceedings*. Human Capital in Information Systems (SIGLEAD). https://aisel.aisnet.org/amcis2016/HumanCap/Presentations/7/ (dostęp: 15.10.2026)

Karabag, S. F., Simonsson, J., Berggren, C., Andreasson, M., &Eriksson, R. (2026). Digital transformation as a multi-phase process: A longitudinal study of corporate strategy and business unit adaptation. *Journal of Business Research*, *202*, 115796. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2025.115796

Karimi, J., Walter, Z. (2015). The role of dynamic capabilities in responding to digital disruption: A factor-based study of the newspaper industry. *Journal of Management Information Systems*, *32*(1), 39-81. https://doi.org/10.1080/07421222.2015.1029380

Kawka, I. (2024). E-government and Environmental Protection Towards Greater Sustainability, [in]: Sikora, A., Kawka I., (eds.). *The European Green Deal and the Impact of Climate Change on the EU Regulatory Framework*. Presses universitaires Saint-Louis Bruxelles. https://doi.org/10.4000/12kfd

Kleiber, M. (2025). Technologie cyfrowe a społeczne nierówności. Rosnące nierówności, zwiększane przez postęp technologiczny, przeradzają się w zagrożenie dla całej naszej cywilizacji. *Nauka*, 2, 127-130. https://doi.org/10.24425/nauka.2025.154962

Kukuła, K. (1999). Metoda unitaryzacji zerowanej na tle wybranych metod normowania cech diagnostycznych, *Acta Scientifica Academiae Ostroviensis, 4*, 5-31.

Lyytinen, K., & Newman, M. (2008). Explaining information systems change: a punctuated socio-technical change model. *European journal of information systems*, *17*(6), 589-613. https://doi.org/10.1057/ejis.2008.50

Mäkinen, M. (2006). Digital empowerment as a process for enhancing citizens' participation. *E-Learning*, 3(3), 381-395. https://doi.org/10.2304/elea.2006.3.3.381

Mergel, I., Edelmann, N., & Haug, N. (2019). Defining digital transformation: Results from expert interviews. *Government information quarterly*, *36*(4), 101385. https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.06.002

Meshulam, T., Font-Vivanco, D., Blass, V., & Makov, T. (2023). Sharing economy rebound: The case of peer-to-peer sharing of food waste. *Journal of Industrial Ecology*, *27*(3), 882-895. https://doi.org/10.1111/jiec.13319

Muench, S., Stoermer, E., Jensen, K., Asikainen, T., Salvi, M., & Scapolo, F. (2022). *Towards a green & digital future: Key requirements for successful twin transitions in the European Union*. Publications Office of the European Union. EUR 31075 EN, JRC129319. https://doi.org/10.2760/977331

Nambisan, S., Wright, M., & Feldman, M. (2019). The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes. *Research Policy*, 48(8), 103773. https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.03.018

O'Brien, W., & Aliabadi, F. Y. (2020). Does telecommuting save energy? A critical review of quantitative studies and their research methods. *Energy and buildings*, *225*, 110298. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110298

Rad, F. F., Oghazi, P., Palmié, M., Chirumalla, K., Pashkevich, N., Patel, P. C., & Sattari, S. (2022). Industry 4.0 and supply chain performance: A systematic literature review of the benefits, challenges, and critical success factors of 11 core technologies. *Industrial Marketing Management*, *105*, 268-293. https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.06.009

Satinet, C., Ducarroz, C., & Fouss, F. (2025). Understanding the impact of sustainability-oriented recommender systems on consumers' choices. *Electronic Commerce Research and Applications*, *74,* 101540. https://doi.org/10.1016/j.elerap.2025.101540

Singh, A., & Hess, T. (2020). How chief digital officers promote the digital transformation of their companies. [In:] *Strategic information management* (pp. 202-220). Routledge.

Tao, Y., Yang, L., Jaffe, S., Amini, F., Bergen, P., Hecht, B., & You, F. (2023). Climate mitigation potentials of teleworking are sensitive to changes in lifestyle and workplace rather than ICT usage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *120*(39), e2304099120. https://doi.org/10.1073/pnas.2304099120

Ullah A., S. Iqbal, S.M.R. Shams. (2020). Impact of CRM Adoption on Organizational Performance: Moderating Role of Technological Turbulence, *Competitiveness Review*, *30*(1), 59-77. https://doi.org/10.1108/CR-11-2019-0128

Vedum, T. S. (2024). *Financing change: Norway's experience in sharing wealth*. Wystąpienie w Rio de Janeiro z 24.07.2024, opublikowane 25.07.2024. Ministerstwo Finansów Norwegii. https://www.regjeringen.no/en/whats-new/financing-change-norways-experience-in-sharing-wealth/id3048722/ (dostęp: 15.10.2026)

Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., i Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889-901. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022

Vial G. (2019). Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda, *The Journal of Strategic Information Systems*, *28*(2), 118-144. https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003

Vial, G. (2021). Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda. In A. Hinterhuber, T. Vescovi, & F. Checchinato (Eds.), Managing Digital Transformation (pp. 13-66). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003008637-4

Ward, J. H., Jr. (1963). Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, *58*(301), 236-244. https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845

Welby, B. & E. Hui Yan Tan. (2022). *Designing and delivering public services in the digital age*. OECD Going Digital Toolkit Notes, No. 22, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/e056ef99-en

Ząbkowicz, A. (2022). Opowieść o kapitalizmie inwigilacji. Zapiski na marginesie. *Ekonomista*, 4, 509-525. https://doi.org/10.52335/ekon/156782

Zonta, T., Da Costa, C. A., da Rosa Righi, R., De Lima, M. J., Da Trindade, E. S., & Li, G. P. (2020). Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review. *Computers & industrial engineering*, *150*, 106889. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106889

Zuboff, S. (2020). *Wiek kapitalizmu inwigilacji. Walka o przyszłość ludzkości na nowej granicy władzy*. (przeł. A. Unterschuetz). Zysk i S-ka.

Akty prawne

Traktat o Unii Europejskiej (wersja skonsolidowana). Dz. Urz. UE C 202 z 7.06.2016, s. 13. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:12016M/TXT (dostęp: 15.10.2026)

Traktat o funkcjonowaniu Unii Europejskiej (wersja skonsolidowana). Dz. Urz. UE C 202 z 7.06.2016, s. 47. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:12016E/TXT (dostęp: 15.10.2026)

Dyrektywa 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiająca infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE). Dz. Urz. UE L 108 z 25.04.2007, s. 1. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2007/2/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016 r. w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych osobowych i w sprawie swobodnego przepływu takich danych oraz uchylenia dyrektywy 95/46/WE (ogólne rozporządzenie o ochronie danych). Dz. Urz. UE L 119 z 4.05.2016, s. 1–88. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/241 z dnia 12 lutego 2021 r. ustanawiające Instrument na rzecz Odbudowy i Zwiększania Odporności. Dz. Urz. UE L 57 z 18.02.2021, s. 17. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/241/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/696 z dnia 28 kwietnia 2021 r. ustanawiające Unijny program kosmiczny i Agencję Unii Europejskiej ds. Programu Kosmicznego oraz uchylające rozporządzenia (UE) nr 912/2010, (UE) nr 1285/2013 i (UE) nr 377/2014 oraz decyzję nr 541/2014/UE. Dz. Urz. UE L 170 z 12.05.2021, s. 69–148. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/696/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/1925 z dnia 14 września 2022 r. w sprawie kontestowalnych i uczciwych rynków w sektorze cyfrowym oraz zmiany dyrektyw (UE) 2019/1937 i (UE) 2020/1828 (akt o rynkach cyfrowych). Dz. Urz. UE L 265 z 12.10.2022, s. 1–66. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2022/1925/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2065 z dnia 19 października 2022 r. w sprawie jednolitego rynku usług cyfrowych oraz zmiany dyrektywy 2000/31/WE (akt o usługach cyfrowych). Dz. Urz. UE L 277 z 27.10.2022, s. 1–102. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2022/2065/oj (dostęp: 15.10.2026)

Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2481 z dnia 14 grudnia 2022 r. ustanawiająca program polityki „Droga ku cyfrowej dekadzie" do 2030 r. Dz. Urz. UE L 323 z 19.12.2022, s. 4–26. https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2022/2481/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2023/1669 z dnia 16 czerwca 2023 r. uzupełniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/1369 w odniesieniu do etykietowania energetycznego smartfonów i komputerów typu slate. Dz. Urz. UE L 214 z 31.08.2023, s. 9–46. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2023/1669/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/1670 z dnia 16 czerwca 2023 r. ustanawiające wymogi dotyczące ekoprojektu dla smartfonów, telefonów komórkowych innych niż smartfony, telefonów bezprzewodowych i komputerów typu slate na podstawie dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE oraz zmieniające rozporządzenie Komisji (UE) 2023/826. Dz. Urz. UE L 214 z 31.08.2023, s. 47. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1670/oj (dostęp: 15.10.2026)

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1791 z dnia 13 września 2023 r. w sprawie efektywności energetycznej oraz zmieniająca rozporządzenie (UE) 2023/955 (wersja przekształcona). Dz. Urz. UE L 231 z 20.09.2023, s. 1–111. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/2854 z dnia 13 grudnia 2023 r. w sprawie zharmonizowanych przepisów dotyczących sprawiedliwego dostępu do danych i ich wykorzystywania oraz w sprawie zmiany rozporządzenia (UE) 2017/2394 i dyrektywy (UE) 2020/1828 (akt w sprawie danych). Dz. Urz. UE L, 2023/2854, z 22.12.2023. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2854/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/903 z dnia 13 marca 2024 r. w sprawie ustanowienia środków na rzecz wysokiego poziomu interoperacyjności sektora publicznego na terytorium Unii (akt w sprawie Interoperacyjnej Europy). Dz. Urz. UE L, 2024/903, z 22.03.2024. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/903/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2024/1364 z dnia 14 marca 2024 r. w sprawie pierwszego etapu ustanawiania wspólnego unijnego systemu oceny centrów przetwarzania danych. Dz. Urz. UE L, 2024/1364, z 17.05.2024. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_del/2024/1364/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1689 z dnia 13 czerwca 2024 r. w sprawie ustanowienia zharmonizowanych przepisów dotyczących sztucznej inteligencji oraz zmiany rozporządzeń (WE) nr 300/2008, (UE) nr 167/2013, (UE) nr 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1139 i (UE) 2019/2144 oraz dyrektyw 2014/90/UE, (UE) 2016/797 i (UE) 2020/1828 (akt w sprawie sztucznej inteligencji). Dz. Urz. UE L, 2024/1689, z 12.07.2024. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1781 z dnia 13 czerwca 2024 r. w sprawie ustanowienia ram ustalania wymogów ekoprojektu w odniesieniu do zrównoważonych produktów oraz zmiany dyrektywy (UE) 2020/1828 i rozporządzenia (UE) 2023/1542 i uchylenia dyrektywy 2009/125/WE. Dz. Urz. UE L, 2024/1781, z 28.06.2024. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj (dostęp: 15.10.2026)

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1799 z dnia 13 czerwca 2024 r. w sprawie wspólnych zasad promujących naprawę towarów oraz zmiany rozporządzenia (UE) 2017/2394 oraz dyrektyw (UE) 2019/771 i (UE) 2020/1828. Dz. Urz. UE L, 2024/1799, z 10.07.2024. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1799/oj (dostęp: 15.10.2026)

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2026/1744 z dnia 8 lipca 2026 r. w sprawie zmiany rozporządzeń (UE) 2024/1689, (UE) 2018/1139 i (UE) 2023/1230 w odniesieniu do uproszczenia wdrażania zharmonizowanych przepisów dotyczących sztucznej inteligencji (akt zbiorczy prawa cyfrowego dotyczący AI). Dz. Urz. UE L, 2026/1744, z 24.07.2026. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2026/1744/oj (dostęp: 15.10.2026)

Dokumenty

Copernicus. (b.d.). *About Copernicus*. https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus (dostęp: 15.10.2026).

European Environmental Agency (EEA). (2023a). *Conditions and pathways for sustainable and circular consumption in Europe*, http://doi.org/10.2800/137584

European Environmental Agency (EEA). (2023b). *Transport and environment report 2022: Digitalisation in the mobility system – Challenges and opportunities*. EEA Report 07/2022. https://doi.org/10.2800/47438

Eurostat. (2026a). *Digitalisation in Europe – 2026 edition*. Dane za 2025 r. https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/digitalisation-2026 (dostęp: 15.10.2026).

Eurostat. (2026b). *Renewable energy statistics*. Statistics Explained. Dane pobrane 13.07.2026; wydanie PDF z 23.07.2026. Zbiór nrg_ind_ren. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics; https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/7177.pdf (dostęp: 15.10.2026)

Eurostat. (2026c). *Towards Digital Decade targets for Europe*. Statistics Explained. Dane pobrane w czerwcu 2026 r. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Towards_Digital_Decade_targets_for_Europe (dostęp: 15.10.2026)

Eurostat. (b.d.). *Digital Intensity Index (DII) composition overview 2015–2025*. Zestawienie składowych i oznaczeń wersji wskaźnika. https://ec.europa.eu/eurostat/documents/341889/725524/DII%2Bv1%2Bv2%2Bv3%2Bv4%2B2015-2023.pdf/2d0e55ee-8306-54db-a6e2-29a86583c1fe?t=1703234324067 (dostęp: 15.10.2026)

Eurostat. *Circular material use rate* (sdg_12_41). Metadane.

Eurostat. *Domestic net greenhouse gas emissions* (sdg_13_10). Metadane obejmujące warianty z LULUCF i bez LULUCF.

Eurostat. *Final energy consumption* (sdg_07_11). Metadane.

Eurostat. *ICT usage in enterprises* (isoc_e). Metadane.

Eurostat. *ICT usage in households and by individuals* (isoc_i). Metadane.

Eurostat. *Material flow accounts* (env_ac_mfa). (env_ac_rp).

Główny Urząd Statystyczny, Urząd Statystyczny w Szczecinie (2022*). Zeszyt metodologiczny. Wskaźniki społeczeństwa informacyjnego. Badania wykorzystania technologii informacyjno-komunikacyjnych*. Warszawa–Szczecin.

IEA. (2024). *Sweden 2024: Energy Policy Review*. International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/sweden-2024 (dostęp: 15.10.2026)

IEA. (2026). *Key Questions on Energy and AI*. International Energy Agency, 16.04.2026. https://www.iea.org/reports/key-questions-on-energy-and-ai (dostęp: 15.10.2026)

ITU (2024). *Measuring digital development: Facts and Figures 2024*. International Telecommunication Union.

ITU i UNITAR. (2024). *The Global E-waste Monitor 2024*. International Telecommunication Union i United Nations Institute for Training and Research. https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Publications/The-Global-E-waste-Monitor-2024.aspx (dostęp: 15.10.2026)

ITU. (2025). *Measuring digital development: Facts and Figures 2025*. International Telecommunication Union. https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/facts-figures-2025/; https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx (dostęp: 15.10.2026)

ITU. (2026). *Four-year report on the implementation of the Strategic Plan and the activities of the Union*. International Telecommunication Union. https://www.itu.int/epublications/es/publication/four-year-report-on-the-implementation-of-the-strategic-plan-and-the-activities-of-the-union (dostęp: 15.10.2026)

Komisja Europejska (2018). *Digital Economy and Society Index* (DESI) 2018. Digital Public Services.

Komisja Europejska (2022). *Education and Training Monitor* 2022. Comparative report.

Komisja Europejska (2024a). *The Digital Economy and Society Index* (DESI).

Komisja Europejska (2024c). *Digital Decade 2024: DESI Methodological Note*.

Komisja Europejska (2025). *The Digital Economy and Society Index*

Komisja Europejska. (2019). *Europejski Zielony Ład*. COM(2019) 640 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640 (dostęp: 15.10.2026)

Komisja Europejska. (2020). *Kształtowanie cyfrowej przyszłości Europy*. COM(2020) 67 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:52020DC0067 (dostęp: 15.10.2026)

Komisja Europejska. (2021). *Cyfrowy kompas na 2030 r.: europejska droga w cyfrowej dekadzie*. COM(2021) 118 final, 9.03.2021. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:52021DC0118 (dostęp: 15.10.2026)

Komisja Europejska. (2025). *Ecodesign for Sustainable Products and Energy Labelling Working Plan 2025–2030*. COM(2025) 187 final, 16.04.2025. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52025DC0187 (dostęp: 15.10.2026)

Komisja Europejska. (2026a). *AI Act*. Shaping Europe's digital future. Aktualizacja 3.08.2026. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai (dostęp: 15.10.2026).

Komisja Europejska. (2026b). *DESI 2026 methodological note*. SWD(2026) 154 final, 17.06.2026. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-decade-2026-desi-methodological-note (dostęp: 15.10.2026)

Komisja Europejska. (2026c). *Recovery and Resilience Facility Annual Report 2026*. COM(2026) 546 final, 7.10.2026. https://reforms-investments.ec.europa.eu/publications-0/recovery-and-resilience-facility-annual-report-2026_en (dostęp: 15.10.2026)

Komisja Europejska. (2026d). *State of the Digital Decade 2026: Closing structural gaps and mobilising investments for 2030 and beyond*. COM(2026) 288 final, 17.06.2026. Wraz z załącznikami i sprawozdaniami krajowymi. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/state-digital-decade-2026-closing-structural-gaps-and-mobilising-investments-2030-and-beyond (dostęp: 15.10.2026)

Komisja Europejska. (b.d.). *Digital Product Passport: Explore our FAQs*. https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/digital-product-passport/explore-our-faqs_en (dostęp: 15.10.2026)

Komisja Europejska. (b.d.). *Energy performance of data centres*. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive/energy-performance-data-centres_en (dostęp: 15.10.2026)

Komisja Europejska. (b.d.). *INSPIRE – Overview*. https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/overview_en (dostęp: 15.10.2026)

OECD. (2020). *The OECD Digital Government Policy Framework: Six dimensions of a Digital Government*. OECD Public Governance Policy Papers, 2. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/f64fed2a-en

OECD. (2021a). *The Digital Transformation of SMEs*, OECD Publishing, Paris.

OECD. (2021b). *The Digital Transformation of SMEs, OECD Studies on SMEs and Entrepreneurship*, OECD Publishing, Paris.

OECD. (2024a). *Digital Public Infrastructure for Digital Governments*. OECD Public Governance Policy Papers, No. 68, OECD Publishing, Paris.

OECD. (2024b). *OECD Digital Economy Outlook 2024 (Volume 2): Strengthening Connectivity, Innovation and Trust*. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/3adf705b-en

OECD. (2025). *OECD Economic Surveys: Ukraine 2025*. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/940cee85-en

OECD. (2026a). *Digital Government Outlook 2026: From Foundations to Transformational Impact*. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/0496b2bc-en

OECD. (2026b). *Public Governance Review of Ukraine*. OECD Public Governance Reviews. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/7810f059-en

OECD/European Union/EC-JRC (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/9789264043466-en

Parlament Europejski, Rada i Komisja Europejska. (2023). *Europejska deklaracja praw i zasad cyfrowych w cyfrowej dekadzie*. 2023/C 23/01. Dz. Urz. UE C 23 z 23.01.2023, s. 1-7. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX:32023C0123(01) (dostęp: 15.10.2026)

UNCTAD. (2024). *Digital Economy Report 2024: Shaping an environmentally sustainable and inclusive digital future*. United Nations. UNCTAD/DER/2024. https://unctad.org/publication/digital-economy-report-2024 (dostęp: 15.10.2026)

Narzędzia cyfrowe

Digital Decade DESI visualisation tool (b.d.), https://digital-decade-desi.digital-strategy.ec.europa.eu/datasets/desi/charts/desi-indicators?period=desi_2026&indicator=desi_genai&breakdown=i_iuai&unit=pc_ind&country=AT,BE,BG,HR,CY,CZ,DK,EE,EU,FI,FR,DE,EL,HU,IE,IT,LV,LT,LU,MT,NL,PL,PT,RO,SK,SI,ES,SE (dostęp: 15.10.2026).

Spis tabel

Tabela 1. Wybrane wskaźniki transformacji cyfrowej w UE w 2025 r. 21

Tabela 2. Wybrane zastosowania technologii cyfrowych i warunki uzyskiwania korzyści środowiskowych 26

Tabela 3. Proponowane mierniki zaawansowania cyfrowego 38

Tabela 4. Proponowane mierniki wyników środowiskowych 38

Tabela 5. Etapy postępowania badawczego 39

Tabela 6. Dostępność wskaźników szczegółowych w ramach czterech grup DESI 40

Tabela 7. Braki w wartości wskaźników DESI 43

Tabela 8. Ostateczne wskaźniki wybrane do badania 45

Tabela 9. Statystyki opisowe dla wskaźnika *Zasięg stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN)* (w % gospodarstw domowych) 47

Tabela 10. Statystyki opisowe dla *wskaźnika Odsetek osób z co najmniej podstawowymi umiejętnościami cyfrowymi)* (w % osób w wieku 16-74 lata) 50

Tabela 11. Statystyki opisowe dla wskaźnika *odsetek MŚP z co najmniej podstawową intensywnością cyfrową* (w % MŚP) 53

Tabela 12. Statystyki opisowe dla wskaźnika *dostępność kluczowych usług online dla przedsiębiorstw* (w pkt.) 55
Tabela 13. Statystyki opisowe dla wskaźnika *dostępność kluczowych usług online dla obywateli* (w pkt.) 57
Tabela 14. Ostateczne wskaźniki środowiskowe wybrane do badania 60
Tabela 15. Statystyki opisowe dla wskaźnika *emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca* (w t/p.c.) 60
Tabela 16. Statystyki opisowe dla wskaźnika *końcowe zużycie energii na mieszkańca* (w TOE/p.c.) 63
Tabela 17. Statystyki opisowe dla wskaźnika *krajowego zużycia materiałów (DMC) na mieszkańca* (w t/p.c.) 64
Tabela 18. Statystyki opisowe dla wskaźnika *cyrkularnego wykorzystania materiałów* (w %) 66
Tabela 19. Statystyki opisowe dla wskaźnika *produktywności zasobów* (w PPS/kg) 68
Tabela 20. Wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona dla wskaźników DESI w 2021 i 2023 r. 71
Tabela 21. Wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona dla wskaźników środowiskowych w 2021 i 2023 r. 72
Tabela 22. Wartości współczynnika korelacji liniowej Pearsona dla wskaźników DESI i wskaźników środowiskowych w 2021 i 2023 r. 73
Tabela 23. Wartości mierników syntetycznych dla grupy DESI i środowiskowej za 2021 i 2023 r. 75
Tabela 24. Przynależność krajów do klastrów na podstawie wartości w grupie wskaźników DESI i wskaźników środowiskowych za lata 2021 i 2023 78
Tabela 25. Przynależność krajów do klastrów na podstawie łącznych wartości analizowanych wskaźników za lata 2021 i 2023 81

Spis wykresów

Wykres 1. Zasięg stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN) w 2019 r. 47
Wykres 2. Zasięg stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN) w 2024 r. 48
Wykres 3. Zasięg stacjonarnych sieci o bardzo dużej przepustowości (VHCN) w 2025 r. 48
Wykres 4. Odsetek osób z co najmniej podstawowymi umiejętnościami cyfrowymi w 2019 r. 50
Wykres 5. Odsetek osób z co najmniej podstawowymi umiejętnościami cyfrowymi w 2021 r. 51
Wykres 6. Odsetek osób z co najmniej podstawowymi umiejętnościami cyfrowymi w 2025 r. 52
Wykres 7. Odsetek MŚP z co najmniej podstawową intensywnością cyfrową w 2021 r. 53

Wykres 8. Odsetek MŚP z co najmniej podstawową intensywnością cyfrową w 2025 r. 54
Wykres 9. Dostępność kluczowych usług online dla przedsiębiorstw w 2018 r. 55
Wykres 10. Dostępność kluczowych usług online dla przedsiębiorstw w 2024 r. 56
Wykres 11. Dostępność kluczowych usług online dla obywateli w 2018 r. 57
Wykres 12. Dostępność kluczowych usług online dla obywateli w 2024 r. 58
Wykres 13. Emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca w 2018 r. 61
Wykres 14. Emisje gazów cieplarnianych na mieszkańca w 2024 r. 61
Wykres 15. Końcowe zużycie energii na mieszkańca w 2018 r. 63
Wykres 16. Końcowe zużycie energii na mieszkańca w 2024 r. 64
Wykres 17. Krajowe zużycie materiałów (DMC) na mieszkańca w 2018 r. 65
Wykres 18. Krajowe zużycie materiałów (DMC) na mieszkańca w 2025 r. 66
Wykres 19. Wskaźnik cyrkularnego wykorzystania materiałów w 2018 r. (w %) 67
Wykres 20. Wskaźnik cyrkularnego wykorzystania materiałów w 2024 r. (w %) 68
Wykres 21. Wskaźnik produktywności zasobów w 2018 r. 69
Wykres 22. Wskaźnik produktywności zasobów w 2025 r. 70
Wykres 23. Diagram drzewa dla wskaźników DESI za 2021 r. 76
Wykres 24. Diagram drzewa dla wskaźników DESI za 2023 r. 76
Wykres 25. Diagram drzewa dla wskaźników środowiskowych za 2021 r. 77
Wykres 26. Diagram drzewa dla wskaźników DESI za 2023 r. 77
Wykres 27. Diagram drzewa dla obu grup wskaźników za 2021 r. 79
Wykres 28. Diagram drzewa dla obu grup wskaźników za 2023 r. 80
Wykres 29. Kartogram przynależności krajów UE do grup w 2021 r. 82
Wykres 30. Kartogram przynależności krajów UE do grup w 2023 r. 82

Komunikat z realizacji modułu Jean Monnet: Cyfrowa transformacja gospodarki w UE i krajach partnerskich (eEconEU+)

Projekt nr 101126789
w Uniwersytecie Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie (UKEN)
w latach 2023 – 2026

Cyfrowa Europa: między technologią, gospodarką a społeczeństwem

Transformacja cyfrowa to znacznie więcej niż rozwój nowych technologii – to głęboka przemiana sposobów funkcjonowania gospodarki, instytucji i społeczeństwa. Otwiera nowe możliwości rozwoju przedsiębiorstw, usprawnia usługi publiczne, zmienia relacje społeczne i stawia przed Europą wyzwania związane z konkurencyjnością, dostępnością technologii oraz zrównoważonym rozwojem.

W odpowiedzi na te wyzwania w ramach projektu Jean Monnet Module „Cyfrowa transformacja gospodarki w UE i krajach partnerskich" (eEconEUplus) połączono edukację akademicką, badania naukowe i współpracę z otoczeniem społeczno-gospodarczym. Poprzez zajęcia dydaktyczne, warsztaty, seminaria, konferencje i publikacje naukowe projekt tworzył przestrzeń do poznawania, analizowania i krytycznej refleksji nad cyfrową przyszłością Europy.

Komponent dydaktyczny eEconEUplus połączył zagadnienia unijnych polityk publicznych, ekonomii, zrównoważonego rozwoju i infrastruktury cyfrowej w trzech uzupełniających się przedmiotach. Łączny wymiar zajęć wyniósł 270 godzin dydaktycznych dla ponad 660 studentów. Przedmioty obejmowały mechanizmy finansowania cyfryzacji przedsiębiorstw ze środków UE, związki cyfryzacji ze zrównoważonym rozwojem oraz infrastrukturę cyfrową i zróżnicowanie jej rozwoju w gospodarkach UE.

Szczególną wartością przedsięwzięcia było aktywne zaangażowanie studentów – nie tylko jako odbiorców wiedzy, lecz także uczestników badań, dyskusji naukowych i współtwórców rezultatów projektu. Tematy badawcze podejmowane przez studentów oraz ich aktywność podczas wydarzeń akademickich obrazują szersze środowisko naukowe stworzone wokół modułu. Zaangażowanie studentów wykraczało poza formalne zajęcia i obejmowało działalność badawczą, komunikację naukową oraz udział w wydarzeniach związanych z projektem. W trakcie konferencji projektowej 15 maja 2026 r. studenci z różnych uczelni Polski przedstawili 23 referaty oraz 7 posterów.

Badania studentów charakteryzowała różnorodność podejmowanych pytań badawczych. Materiały studenckie umieszczane na stronie projektu „Komunikaty studentów" ilustrują prace nad tematami rozwijanymi w module: (i) społeczno-ekonomicznymi konsekwencjami transformacji cyfrowej i kontraktami online; (ii) cyfrowymi usługami publicznymi i infrastrukturą wspierającą uchodźców z Ukrainy; oraz (iii) pozycją infrastruktury cyfrowej UE w porównaniu ze Stanami Zjednoczonymi i Chinami.

Działania dydaktyczne uzupełniały warsztaty praktyczne realizowane we współpracy z urzędami statystycznymi i Zakładem Ubezpieczeń Społecznych (ZUS). Dotyczyły one statystyki publicznej, wykorzystania ICT w gospodarstwach domowych i cyfrowych usług publicznych dla przedsiębiorców. Seminarium polsko-ukraińskie poświęcone sztucznej inteligencji w szkolnictwie wyższym (18 maja 2026 r.) wniosło dodatkową perspektywę prawną i etyczną. Wydarzenia sprzyjały kontaktom studentów, badaczy i praktyków.

Dorobek publikacyjny powiązany z projektem obejmuje badania dotyczące cyfrowej transformacji usług publicznych, transformacji cyfrowej jako czynnika wzmacniającego demokrację, umów online, cyfrowych wymiarów potencjału gospodarczego, wyrażania poglądów obywatelskich i politycznych w sieci w obliczu wrogości i upokorzeń oraz transformacji na rzecz zrównoważonego rozwoju.

Dydaktyka, zainteresowania badawcze studentów, warsztaty i publikacje tworzyły wzajemnie uzupełniające się elementy modułu Jean Monnet.



"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the granting authority. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them."

Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie

ul. Podchorążych 2

30-084 Kraków

Kraków 2026

e-ISBN: 978-83-68260-99-1