

**Prace Komisji Geografii Przemysłu  
Polskiego Towarzystwa Geograficznego**  
kwartalnik naukowy

**Studies of the Industrial Geography Commission  
of the Polish Geographical Society**  
a scientific quarterly

**PRZEMIANY GOSPODARCZE REGIONÓW  
W OBLCZU WIELOWYMIAROWYCH GLOBALNYCH KRYZYSÓW**

pod redakcją  
Wioletty Kilar i Sławomira Dorockiego

**ECONOMIC CHANGES IN THE REGIONS  
IN THE CONTEXT OF MULTIDIMENSIONAL GLOBAL CRISES**

edited by  
edited by Wioletta Kilar and Sławomir Dorocki

DOI 10.24917/20801653.401

**40(1) • 2026**

Polskie Towarzystwo Geograficzne – Komisja Geografii Przemysłu  
Polish Geographical Society – Industrial Geography Commission  
Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie  
University of the National Education Commission, Krakow

**PRACE KOMISJI GEOGRAFII PRZEMYSŁU POLSKIEGO TOWARZYSTWA GEOGRAFICZNEGO**  
**STUDIES FROM THE INDUSTRIAL GEOGRAPHY COMMISSION OF THE POLISH GEOGRAPHICAL SOCIETY**

**40(1)**

**Redaktor naczelny / Editor-in-chief:** Wioletta Kilar

**Zastępca redaktora naczelnego / Associate editor:** Sławomir Dorocki

**Honorowy Redaktor Naczelny / Honorary Editor:** Zbigniew Ziolo

**Redaktorzy tomu / Volume Editors:** Wioletta Kilar, Sławomir Dorocki

**Rada Redakcyjna / Editorial Board**

Felix Arion, György Csomós, Paweł Czapliński, Ben Derudder, Sławomir Dorocki, Wiesława Gierańczyk, Anatol Jakobson, Wioletta Kilar, Ana María Liberali, Tadeusz Marszał, Tomasz Rachwał, Piotr Raźniak, Andrés Rodríguez-Pose, Eugeniusz Rydz, Tadeusz Stryjakiewicz, Yolanda Carbajal Suárez, Zdeněk Šzczyrba, Anna Tobolska, Géza Tóth, Krzysztof Wiedermann, Nuri Yavan, Natalia Zdanowska, Zbigniew Ziolo

**Lista recenzentów dostępna na stronie internetowej czasopisma / The list of reviewers is available on the journal's website**

**Redaktor prowadzący z Wydawnictwa / Managing editor of the Publishing House:** Natalia Majoch

**Redaktor językowy / Language editor:** Roksana Blech

**Korekta w języku angielskim / Proofreading of English texts:** Richard Bolt

**Deklaracja wersji pierwotnej / Definition of primary version**

Wersja elektroniczna jest wersją pierwotną publikacji / The primary version of the journal is the electronic version

**Czasopismo jest indeksowane w bazach / Journal is abstracted and indexed in:**

BazEkon, BazHum, CEJSH (Central European Journal of Social Sciences and Humanities), CEEOL (Central and Eastern European Online Library), DOAJ (Directory of Open Access Journals), ERIH PLUS (European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences), IndexCopernicus, PBN – Polska Bibliografia Naukowa / Polish Scientific Bibliography, Pedagogiczna Biblioteka Cyfrowa / Pedagogical Digital Library, POL-index, Web of Science Core Collection – Emerging Sources Citation Index (ESCI)

**Strona internetowa czasopisma z informacjami dla autorów i dostępem do pełnych tekstów archiwalnych artykułów w wersji elektronicznej / Journal website with information for authors and access to the full-text electronic versions of archive papers:** <https://prace-kgp.uken.krakow.pl>, ISSN (ON-LINE): 2449-903X

**Kontakt z redakcją / Journal contact**

Sekretarz Redakcji (Editorial Secretary): Karolina Smętkiewicz, Monika Noviello

Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, ul. Podchorążych 2, 30–084 Kraków, p. 519a

tel. (+48) 12 662 64 13, e-mail: [pracekgp@uken.krakow.pl](mailto:pracekgp@uken.krakow.pl)

ISSN 2080–1653

© Copyright by Wydawnictwo Naukowe UKEN, Kraków 2026

**Wydawca/Publisher**

Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie

University of the National Education Commission, Krakow

Wydawnictwo Naukowe Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie

e-mail: [wydawnictwo@uken.krakow.pl](mailto:wydawnictwo@uken.krakow.pl); <http://www.wydawnictwoup.pl>

**Współwydawca/Co-publisher**

Polskie Towarzystwo Geograficzne – Komisja Geografii Przemysłu

Polish Geographical Society – Industrial Geography Commission

Druk / Printed by Zespół Poligraficzny WN UKEN

## WPROWADZENIE

Transformacja przestrzeni światowej charakteryzuje się zróżnicowanymi uwarunkowaniami rozwoju gospodarki. Poszczególne regiony, zarówno w Europie, jak i w innych obszarach na świecie, stwarzają dogodne warunki dla przemian w sektorze przemysłu oraz usług. Warunki te są jednak zmienne, zwłaszcza współcześnie, gdy w gospodarce światowej relatywnie często występują wielowymiarowe kryzysy zmieniające kierunki i tempo rozwoju gospodarczego.

W obliczu przedstawionych uwarunkowań istotnym problemem badawczym jest identyfikacja wstrząsów i trendów dotyczących zmian we współczesnej gospodarce światowej, ponieważ zmieniają one trajektorie rozwoju poszczególnych regionów świata. Mowa przede wszystkim o pandemii COVID-19 oraz wojnie rosyjsko-ukraińskiej, które uwydatniły zdolność regionów do adaptacji i reagowania na globalne wstrząsy. Jak wynika z przeprowadzonych analiz, większość objętych badaniami regionów Europy sklasyfikowano jako regiony podatne na zagrożenia gospodarcze, których wzrost gospodarczy znacząco spowolnił się w okresie kryzysu. Wiele wspomnianych regionów znajduje się w Europie Środkowej, m.in. w Niemczech, Polsce i Czechach. Z kolei obszary położone na peryferiach geograficznych świata cechują się większą odpornością na globalne kryzysy polityczne i gospodarcze (Kwaśny, Mroczek, Ulbrych).

Największe miasta w Polsce, będące historycznie ważnymi ośrodkami, a nawet okręgami przemysłowymi, wykazują się dużą dynamiką przemian przestrzennych w aspekcie nowych kierunków rozwoju globalnego. Przykładem jest miasto i aglomeracja Wrocław, gdzie w latach 2008–2024 zaobserwowano procesy deglomeracji. W strukturze występującego na tym obszarze przemysłu dominują mikroprzedsiębiorstwa, a kluczową rolę odgrywa przemysł elektromaszynowy, metalowy, chemiczny i spożywczy. Świadczy to o tym, że w regionie kontynuuje się tradycję przemysłową. Ponadto w artykule dowiedziono, że omawiane procesy wpływają na przestrzeń Wrocławia, która podlega silnym przemianom (Sikorski).

Na podstawie analizy wyników finansowych morskich farm wiatrowych zauważono, iż pandemia COVID-19 wywołała globalne spowolnienie gospodarcze. Doprowadziło ono do spadku cen energii, co w konsekwencji przełożyło się na obniżenie przychodów morskich farm wiatrowych i na spowolnienie planów inwestycyjnych. Z kolei wybuch wojny rosyjsko-ukraińskiej spowodował gwałtowny wzrost cen energii, co z jednej strony zwiększyło przychody producentów, a z drugiej – znacząco podniosło koszty operacyjne (OPEX) z powodu utrudnień w łańcuchach logistycznych. Oznacza to, że globalne kryzysy determinują tempo transformacji energetycznej, wpływając na sztywność podaży i wzrost kosztów inwestycyjnych, a jednocześnie wymuszają przyspieszenie planów rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Europie w celu zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego (Smutek).

Czynniki makroekonomiczne uznano za istotne zmienne zakłócające rozwój lokalny również w odniesieniu do gmin województwa śląskiego. Proces ten odbywa się głównie

przez zagrożenie związane z trwałą zależnością jednostek samorządu terytorialnego od środków pomocowych. To zaś może prowadzić do braku trwałości efektów projektów, jeśli samorzady nie rozwijają własnych, lokalnych potencjałów endogenicznych (Żurawska-Bartosik).

Innym przykładem globalnych przemian jest Przemysł 4.0, stanowiący istotny etap transformacji przemysłowej, który wymusza zmiany w kompetencjach pracowników na całym świecie. Wpływa to pośrednio na lokalne rynki pracy i systemy edukacji. Jak wykazała autorka, realizowany w Badenii-Wirtembergii Program Learning Factories 4.0 dowodzi, że tworzenie „inteligentnych fabryk” w szkołach pozwala na naukę w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, choć wymaga wysokich nakładów i odpowiedniego przeszkolenia nauczycieli (Noviello).

Mamy nadzieję, że problematyka niniejszego numeru spotka się z Państwa zainteresowaniem. Zachęcamy do dzielenia się wynikami swoich badań na łamach naszego czasopisma.

*Wioletta Kilar, Sławomir Dorocki*

## INTRODUCTION

The transformation of the global landscape is characterised by diverse conditions for economic development. Individual regions, both in Europe and elsewhere in the world, provide favourable conditions for change in the industrial and service sectors. However, these conditions are volatile, particularly today, when the global economy is relatively frequently affected by multidimensional crises that alter the direction and pace of economic development.

In light of these conditions, a key research challenge is to identify the shocks and trends in the contemporary global economy that alter the development trajectories of individual regions of the world. These have primarily included, as observed in recent years: the COVID-19 pandemic and the Russia-Ukraine war, events which have highlighted the regions' capacity to adapt and respond to global shocks. According to the research, most of the European regions covered by the study were classified as vulnerable to economic shocks, meaning that their economic growth slowed significantly during the crisis. Many of these are located in Central Europe, including in Germany, Poland and the Czech Republic. In contrast, areas situated on the geographical peripheries of the world were characterised by greater resilience to global political and economic crises (Kwaśny, Mroczek, Ulbrych).

In Poland, the largest cities – which have historically been important centres and even industrial regions – are undergoing significant spatial transformation in line with new trends in global development. One example is the city and conurbation of Wrocław, where processes of deglomeration were observed between 2008 and 2024. The industrial structure of this area is dominated by micro-enterprises, with the electrical machinery, metal, chemical and food industries playing a key role, confirming the continuation of the region's industrial tradition. Thus, the processes in question are influencing the urban fabric of Wrocław, which is undergoing significant transformation (Sikorski).

Based on an analysis of the financial results of offshore wind farms, it was noted that the COVID-19 pandemic triggered a global economic slowdown, which led to a fall in energy prices and, consequently, resulted in a reduction in the revenues of offshore wind farms and a slowdown in investment plans. Conversely, the outbreak of the Russia-Ukraine war caused a sharp rise in energy prices, which on the one hand increased producers' revenues, but on the other significantly raised operating costs (OPEX) due to disruptions in logistics chains. Global crises are determining the pace of the energy transition, affecting supply rigidity and driving up investment costs, whilst simultaneously forcing the acceleration of offshore wind energy development plans in Europe to ensure energy security (Smutek).

In the case of municipalities in the Silesian Voivodeship, macroeconomic factors were also identified as significant variables hindering local development. This is mainly due to the risk associated with the persistent dependence of local government units

on aid funds, which may lead to a lack of sustainability in project outcomes if they do not develop their own local endogenous potential (Żurawska-Bartosik).

Another example of global change is Industry 4.0 as a significant stage of industrial transformation, which is forcing changes in workers' skills worldwide, indirectly affecting local labour markets and education systems. As demonstrated by M. Noviello, the Learning Factories 4.0 programme implemented in Baden-Württemberg has shown that the creation of 'smart factories' in schools allows for learning in conditions similar to real-life scenarios, although it requires significant investment and teacher training

We hope that the topics covered in this issue will be of interest to you. We encourage you to share the results of your research in the pages of our journal.

*Wioletta Kilar, Slawomir Dorocki*

JAKUB KWAŚNY

Krakow University of Economics, Krakow, Poland

ARKADIUSZ MROCZEK

Krakow University of Economics, Krakow, Poland

MARTA ULBRYCH

Krakow University of Economics, Krakow, Poland

## Regional resilience and anti-fragility in the EU

**Abstract:** Supply and demand shocks through the COVID-19 pandemic and the Russia-Ukraine war have underscored the critical importance of the ability of regional economies to adjust to external shocks. The need to increase regional resilience and mitigate their adverse effects has become a subject of discussion among researchers and policymakers. More recently, another concept related to resilience, namely anti-fragility, has entered the debate. The purpose of the article is to discuss the concepts of regional resilience and anti-fragility from a theoretical perspective, as well as to present the results of an empirical analysis which explores regional economic resilience and anti-fragility (measured at the same scale) of EU NUTS-2 regions while including a structural analysis of contributing factors. NUTS-2 GVA data for 225 regions from 19 EU member states were used; the time series ranged from 2013 to 2023. The GVA growth rate for 2013–2019 served as the background period, and the data for 2010–2023 as the crisis period to compute each region's resilience score. In the second part of the empirical analysis, a hierarchical regression model was employed to investigate whether structural factors influence the resilience scores of the regions. The picture of regional resilience in the EU is complex, with several key findings. First, a great many of the vulnerable regions were located in Central Europe, moreover, a significant number of geographically peripheral regions proved to be anti-fragile. While strong manufacturing sectors are often associated with more resilient economies, our findings revealed a surprising result: a higher share of manufacturing in gross value added has a negative impact on resilience. This may be explained by the nature of recent shocks, the interconnections of European industry within global value chains, and energy price volatility. The findings may contribute to the contemporary debate on economic resilience and, given that they were obtained at the regional (sub-national) level, allow for a focus on structural factors rather than the policy issues that were decisive at the national level.

**Keywords:** anti-fragility, industrial policy, regional economic growth, regional anti-fragility, resilience, regional resilience

**Received:** 15 December 2025

**Accepted:** 28 January 2026

**Suggested citation:**

Kwaśny, J., Mroczek, A., Ulbrych, M. (2026). Regional resilience and anti-fragility in the EU. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego* [Studies of the Industrial Geography Commission of the Polish Geographical Society], 40(1), 7–21. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.401.1>

## INTRODUCTION

In the contemporary world, external economic shocks occur every few years. Financial system crises, pandemics and the results of nearby wars provide examples of those shocks. Different regions respond differently, and this response is an interesting field for empirical study, especially given regional variations in population size, metropolitan character, economic development and economic structure.

From a theoretical standpoint, the relatively new concepts of resilience and, more recently, anti-fragility have emerged as promising tools for studying the outcomes of shocks at various levels. While these concepts are still being refined and their use sometimes lacks precision, a deeper understanding can be achieved through clear definitions. Originally derived from systems theory and applied in ecology and engineering, the concept of resilience has also been adopted by economics. Anti-fragility, a term closely related to resilience, can also be studied within the systems framework, and this paper will draw on its basic concepts. In essence, both terms denote a response to adverse shocks, with resilience often indicating low vulnerability, and anti-fragility signifying the ability to benefit from primarily adverse factors. However, there are instances where the terms overlap, a concern that warrants initial attention.

Rimidis & Butkus (2025) highlight that cascading, or simultaneous shocks, are evident in recent global events, such as the COVID-19 pandemic, supply chain disruptions, and the war in Ukraine, indicating that they are a significant societal phenomenon. Despite their relevance, the systematic literature review found that the analysed papers did not explicitly address cascading shocks. This is noted as a significant research gap. Our study spans a period that allows for the complexity of the situation to be considered, thereby enabling a better understanding of the nature of regional resilience and anti-fragility. The empirical part of the study will present resilience scores for European regions, based on data from Eurostat covering the period 2013–2023. This analysis involves calculating and mapping resilience scores for 225 NUTS-2 regions, distinguishing between the pre-crisis period (2013–2019) and the crisis period (2020–2023), and accounting for the impacts of the COVID-19 pandemic and the Russian invasion of Ukraine. As described previously, the resilience score was derived by comparing average GVA growth rates across these two periods to assess each region's ability to restructure and adapt to external shocks. Covering the recent cascade crisis period (pandemics and full-scale war in Europe) from the resilience perspective is also a distinctive contribution of this study.

In the empirical section, the results of a structural analysis aimed at identifying potential determinants of resilience are presented. This involves examining regional structural features, such as the sectoral composition of gross value added (GVA), including manufacturing, other industries, trade and high-tech employment, as well as indicators of structural diversity and structural change over time. Data from Eurostat's Structural Business Statistics and Regional Innovation Scoreboard were utilised. The hypothesis tested at this stage is that the regional economy's structure affects its resilience.

The empirical analysis aims to uncover relationships between regional resilience and various structural, technological and economic factors, providing insights into what underpins a region's ability to withstand and adapt to external shocks. By integrating quantitative resilience scores with detailed structural indicators, this part of the research contributes to a deeper understanding of the drivers of regional resilience and anti-fragility within the European context.

The paper is organised into three main sections. The first introduces the concepts of regional resilience and anti-fragility, focusing on their definitions, theoretical foundations and relevance. The second section details the research methodology, including data sources from Eurostat (2013–2023), the calculation of resilience scores, and the structural analysis of regional factors such as sectoral composition, diversity, technological sophistication and innovation. It also describes the classification of regions based on these concepts and the statistical approaches used. The third section presents the empirical findings, discusses their implications compared to existing literature, and offers conclusions. Thus, the paper aims to deepen understanding of regional resilience and anti-fragility, with findings that help close the existing research gap in this area.

## LITERATURE REVIEW

In a constantly evolving global economy that poses new challenges, the concepts of resilience and anti-fragility are becoming increasingly popular and essential for understanding how systems can not only survive but thrive in the face of adversity. Resilience refers to the ability of a system to absorb, adjust and recover from shocks or economic disruptions while maintaining essential functions and continuing on a long-term growth trajectory (Walker et al., 2004). Resilience is a complex and multidimensional notion, initially developed by Holling (1973) as a framework for ecological research. In this article, the concept of economic resilience will be considered closely. It has its roots in broader resilience theory but focuses specifically on the ability of an economic system to cope with shocks while maintaining functionality. A resilient economy better withstands an adverse shock and returns faster to the pre-shock growth rate trend, i.e. minimising the cumulative GDP loss relative to potential output (Sánchez et al., 2015). Regional economies can be thrown off their growth paths through structural change (resulting from global or domestic competition or changes in demand) or other external shocks (like a natural disaster, recession due to their heightened interconnectedness with the global economy) (Hill et al., 2008). The ability of a system to maintain function (e.g. continue production) in the face of a shock is consistent with the fundamental economic problem of efficiently allocating resources and is identical to static economic resilience. A definition incorporating dynamic considerations is that of a system recovering from a severe shock to reach a desired state. This version of dynamic resilience is relatively more complex because it involves the long-term investment problem of recovery (Rose, 2007).

Martin (2012), who proposes a framework for understanding regional economic resilience, advocates a dynamic perspective, recognising that resilience is not just about returning to a pre-shock state but also about adapting to new economic realities and opportunities. He distinguishes between engineering resilience, which refers to the speed of return to a pre-shock state, and ecological resilience, which focuses on the system's ability to absorb shocks and reorganise. Considering this approach and based on the literature review, the essential elements of the analysed phenomenon can be identified. Definitions listed in Table 1 provide a comprehensive view of how economic resilience is conceptualised, covering the essential elements of absorption, adaptation, recovery and sustainable growth.

Table 1. Key elements of a resilient notion based on selected definitions

Key elements	Definition	Authors
Absorption of shocks The ability of a system to endure economic disturbances (equilibrium approach)	"The capability of a system to maintain its functions and structure in the face of internal and external change and to degrade gracefully when it must."	Allenby, Fink (2000)
	"The ability of a region to recover successfully from shocks to its economy that either throw it off its growth path or have the potential to throw it off its growth path."	Hill et al. (2008)
<b>Adaptation</b> The process through which economic entities adjust their strategies or structures in response to changing conditions	"Resilience as the capacity to avoid, withstand or adapt to crises has become a catchword to describe the capabilities to cope with negative shocks and adverse conditions."	Wink (2014)
	"When we say that an ecosystem, or city is resilient, we generally mean that in the face of shock or stress, it either "returns to normal" (i.e. equilibrium) rapidly afterward or at the least does not easily get pushed into a "new normal" (i.e. an alternative equilibrium)."	Pendall (2007)
<b>Recovery</b> The capacity to bounce back and restore economic stability, while potentially improving processes or structures (transformative resilience)	"The ability of regional economies to resist and adapt to or transform in the face of shocks and subsequently recover to maintain or improve their pre-shock economic performance."	Sutton et al. (2023)
	"Adaptability emerges through decisions to leave a path that may have proven successful in the past in favour of a new, related or alternative trajectory."	Pike (2010)
	"The capacity of regions to respond to shocks and crises by pushing an alternative agenda for regional economic development, one that is less oriented towards short-term growth and more focused on environmental sustainability and inclusive development."	Trippel et al. (2023)
<b>Growth sustainability</b> The ability to recover from shocks and sustain and potentially enhance economic development	"Economic resilience encompasses the ability to recover from shocks while ensuring long-term growth and development sustainability, integrating recovery efforts into broader economic advancement strategies."	Martin (2012)
	"Regional resilience is about a long-term capacity to foster structural change... We would stress that the long-term evolution of a regional economy will most likely involve both adaptation and adaptability. Moreover, how they interact over time indicates the differentiation of regional economic resilience."	Hu, Hassink (2019)

Source: authors' elaboration based on references listed in the table

Linking the notion of regional economic resilience with the concept of adaptation and placing the analysis in an evolutionary perspective allows us to distinguish four conceptual frameworks and empirical approaches to the analysed phenomenon (Simmie, Martin, 2009):

- generalised Darwinism, which emphasises diversity, e.g. in terms of economic structure and variability of firm behaviour. Regions with diversified economies are more likely to be resilient in the face of shocks
- path dependence theory, which focuses on historical continuity and the trajectory of socio-economic development
- a theory of complexity that emphasises self-organisation and adaptive growth. The process of self-organisation gives complex systems the potential to adjust their structures and dynamics in response to external shocks or internal co-evolutionary mechanisms
- panarchy, which emphasises resilience and adaptive cycles. It combines key attributes and processes of regional development, such as innovation, capital accumulation dynamics and mechanisms that generate linkages between local firms and institutions.

Among those approaches, the emphasis on diversity can be traced to the work of Jacobs (1969), who argued for stronger innovation capacity and faster adaptation in economically diversified cities. Additionally, in nature, variety is vital to the resilience of ecosystems (Stanley, 2011). Regarding regional economic resilience, variety can take the form of structural (sectoral) diversification and variation in firm behaviour and influence such resilience in several ways (Simmie, Martin, 2009). The degree of sectoral variety is thought to influence a regional economy's vulnerability to shocks, with those regions having a more diversified economic structure being less prone to shocks or, at least, more able to recover than those with an economically specialised structure. Self-organisation, industrial mutation and adaptive growth can, in turn, be linked to the Schumpeterian concept of creative destruction (Martin, Sunley, 2015).

Of course, the mutual penetration of levels of analysis is characteristic. However, this distinction is crucial for understanding the full spectrum of economic resilience, particularly with respect to the operational approach. From this viewpoint, resilience should be regarded as the potential of a given system to preserve its configurations and functions, suggesting that the structure can reorganise itself.

Resilience is generally understood in two basic senses (Chiffi, Curci, 2024). According to the first, narrower, view, resilience aims to restore the system's functions and outputs to pre-shock conditions (bouncing back). However, according to the extended view of resilience, previous functions are restored, and the system may even generate better outcomes than before the shock (bouncing forward). The literature generally defines resilience as the ability to bounce back and move on following a shock (Cowell, 2013; Manyena et al., 2011). Nevertheless, policymakers need to be able to assess potential bounce-forward trajectories and harness the self-organising mechanism that facilitates recovery (Grinberger, Felsenstein, 2014).

In this context, the concept of anti-fragility comes to mind, particularly the possibility of obtaining favourable outcomes after a shock in uncertain conditions (Buhman et al., 2021). Taleb (2012) defines anti-fragility as the property of systems, entities, or units that not only resist damage from shocks but also benefit from them, becoming stronger. At the same time, he notes that "anti-fragility is beyond resilience or robustness. The

resilient are shocked and stay the same; the anti-fragile get better.” Anti-fragility characterises the benefit a dynamic system derives from perturbation variability (Axenie et al., 2024) and is exhibited by an ability to change for the better after an impact of initially unfavourable circumstances (Munoz et al., 2021). If the system is not resilient, it cannot sustain its functions under specific stress. However, according to Aven (2015), unlike any other form of resilience, the critical contribution of the concept of anti-fragility lies in the possibility of coping with the future stages of a system in which new functions can emerge. Resilient systems exhibit an ex-post adjustment to “black swans,” while an anti-fragile system also shows an ex-ante adjustment to them (de Bruijn et al., 2020).

Summing up and, to some extent, simplifying the above, some authors use a broad concept of resilience, applying it both to the ability of a system to bounce back and to bounce forward. Since Taleb coined the term, other authors have preferred anti-fragility to describe a system that can bounce forward. In this paper, the latter approach will be utilised. From a conceptual point of view, the distinction between staying unchanged and moving forward in the face of demanding conditions is valid. Using just one term would often require sub-terms or describing which meaning applies to a situation. Empirically, as will be shown, it is easy to distinguish between them. Therefore, even though resilience and anti-fragility are parts of the same debate, distinguishing between them brings clarity.

## RESEARCH METHODS

In the study, an approach to resilience based on the equilibrium perspective was employed, which conceptualises resilience as the ability of regional economies to absorb shocks and maintain their current equilibrium with minimal structural change. However, an adaptive understanding of regional resilience is also accepted, meaning that resilience is viewed as the region’s capacity to recover from shocks or even enhance its core performance by adapting to external shocks (in the latter case, the term anti-fragile can also be used). Such adaptability involves undergoing structural changes in response to changing conditions. In addition, borrowing from systems theory, resilience is a system’s ability to regenerate itself in response to external factors. Returning to regional science, it may also be said that a resilient region should have the capacity to return to its previous growth path, and an anti-fragile region should be able to transition to a new, better-performing growth path. Measuring and presenting those concepts with numbers should be possible, because we can say that they exist on a “continuum of fragility,” where fragile means degrading with stress, robust stands for unchanged by stress, and anti-fragile represents improving with stress (Johnson, Gheorghe, 2013). To operationalise those concepts, a representation of regional performance should be specified, and some factors representing the structure of regional economies should be selected.

The EU NUTS-2 regions were selected for research. Data availability was the basis for this selection and in the first part, data were collected for 225 such regions across 19 member states. This way, most EU regions were included, except those for which data were unavailable. In the second part of the research, which focused on structural factors, 217 regions were included and the structural data collected in 2019 were to best represent the regions under study before the crisis. For the factor representing structural dynamics, the data for 2020 were compared to those for 2019. The lack of further data limited this part of the work as it showed only the initial changes resulting from the crisis

but overall, the European regional data at the NUTS-2 level is rich in terms of both the number of regions and statistical coverage. One can argue, however, that any specific of the EU economy and society can influence the results, and this fact should be included in the interpretation.

Regional economic performance can be represented by unemployment (or employment) and GDP or GVA growth rates; gross value added (GVA) rates were chosen for this study. The reason is that the labour market in Europe currently responds only modestly to shocks, so indicators based on it would not be valid. GVA, on the other hand, is a valuable proxy for the region's economic performance; the data are available, and changes in their value are in response to shocks on a noticeable scale. Based on this, the following indicator was created. First, the data for GVA growth for 225 EU NUTS2 regions for 2013–2023 were collected. In the next step, the time series was divided into the “background” period of relative prosperity (2013–2019) and the “crisis” period (2020–2023). Then, the average values for each region for both were calculated. The crisis period is based on the COVID-19 pandemic, which began in 2020, and a further shock, i.e. the full-scale Russian invasion of Ukraine and its consequences, which started from 2022.

In line with the evolutionary perspective on resilience and path plasticity, the study utilizes a resilience score defined as the divergence between the average regional performance in 2020–2023 and the 2013–2019 baseline. The result of this subtraction is called the resilience score. This methodological choice warrants a brief comparison with alternative approaches prevalent in regional science. A widely adopted framework, proposed by Martin (2012), utilizes resistance and recovery indices to measure a region's sensitivity to shocks relative to a national or supra-national benchmark. While effective for identifying immediate cyclical vulnerability, such indices often focus on short-term deviations rather than long-term structural shifts (Martin, Sunley, 2015). Other scholars advocate for statistical time series models such as VAR to estimate a region's hypothetical growth path in the absence of shock (Doran, Fingleton, 2014). While these econometric techniques offer high precision, they often require longer time series and may struggle to account for the overlapping nature of recent crises.

In contrast, the subtraction method employed here aligns with the evolutionary and adaptive perspective of resilience. By comparing multi-year averages of pre-crisis and crisis-period performance, this approach captures the enduring shift in a region's growth trajectory. This is particularly relevant for operationalizing the concept of “anti-fragility,” as it allows for the identification of regions that do not merely return to a previous state but establish a superior performance level following a disturbance (Taleb, 2012)

The resilience score was interpreted as follows: if it was lower than  $-0.5$ , the region was described as vulnerable. If the resilience score was between  $-0.5$  and  $0.5$ , the region was classified as resilient; if it was above  $0.5$ , it was considered anti-fragile. Those ranges reflect the understanding of the concept of resilience presented in this work, where resilience means the ability to maintain performance at a previous level (bounce back), and anti-fragility means improving performance after the crisis (bounce forward). Given the substantial number of definitions in the literature, it was hard to find a ready-to-use numerical classification of resilience scores. Therefore, the above approach was taken, and an original classification has been proposed. The results of this classification are then presented, discussed, and used in regression analysis to gain more insight into the possible causes of regional resilience.

FORMALLY, THE FINAL RESILIENCE SCORE WAS OBTAINED AS FOLLOWS:

$$R_i = G_{i1} - G_{i0}$$

where  $R_i$  is the resilience score for region  $i$ ,  $G_{i1}$  is the average growth rate for region  $i$  during the crisis period (2020–2023), and  $G_{i0}$  is the average growth rate for this region during the background period (2013–2019).

In the second part of the empirical research, a hypothesis saying that the regional economy's structure affects its resilience was tested. To do this, a hierarchical regression model was used which was helpful because the regions under study are located in different countries, with different local conditions, and the member states they belong to pursue different policies. This approach allowed for control of those country-level factors. The general hierarchical model can be presented as follows:

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{10} X_{ij} + \gamma_{01} Z_j + \gamma_{11} Z_j X_{ij} + U_{1j} X_{ij} + U_{0j} + R_{ij}$$

where:  $\gamma_{00}$  – global average,  $\gamma_{01}$ ,  $\gamma_{10}$ ,  $\gamma_{11}$  – regression coefficients,  $X_{ij}$  – individual variable value  $X$  for unit  $i$  from the group  $j$ ,  $Z_j$  – group variable value  $Z$  for the group  $j$ ,  $U_{0j}$  – group random component,  $R_{ij}$  – individual random term (Więziak, 2007). The very aim of this approach is also its basic strength. It allows for a focus on the structural factors of the regions, and any conclusions drawn from it may relate to those factors. At the same time, this approach does not allow for addressing any anti-shock policy conducted by the EU or the member states.

## RESULTS

The general result of a classification of regions according to their resilience score is shown in Table 2.

Table 2. Resilience score of EU regions

	Anti-fragile	Resilient	Vulnerable	Total (N)
No. of regions	48	50	127	225
% of regions	21%	22%	56%	100%

Resilience score: vulnerable < -0.5; resilient > -0.5 and < 0.5; anti-fragile > 0.5

Statistical character of the resilience score: min: -5.5; max: 6.6; mean: -0.7; standard dev: 1.7

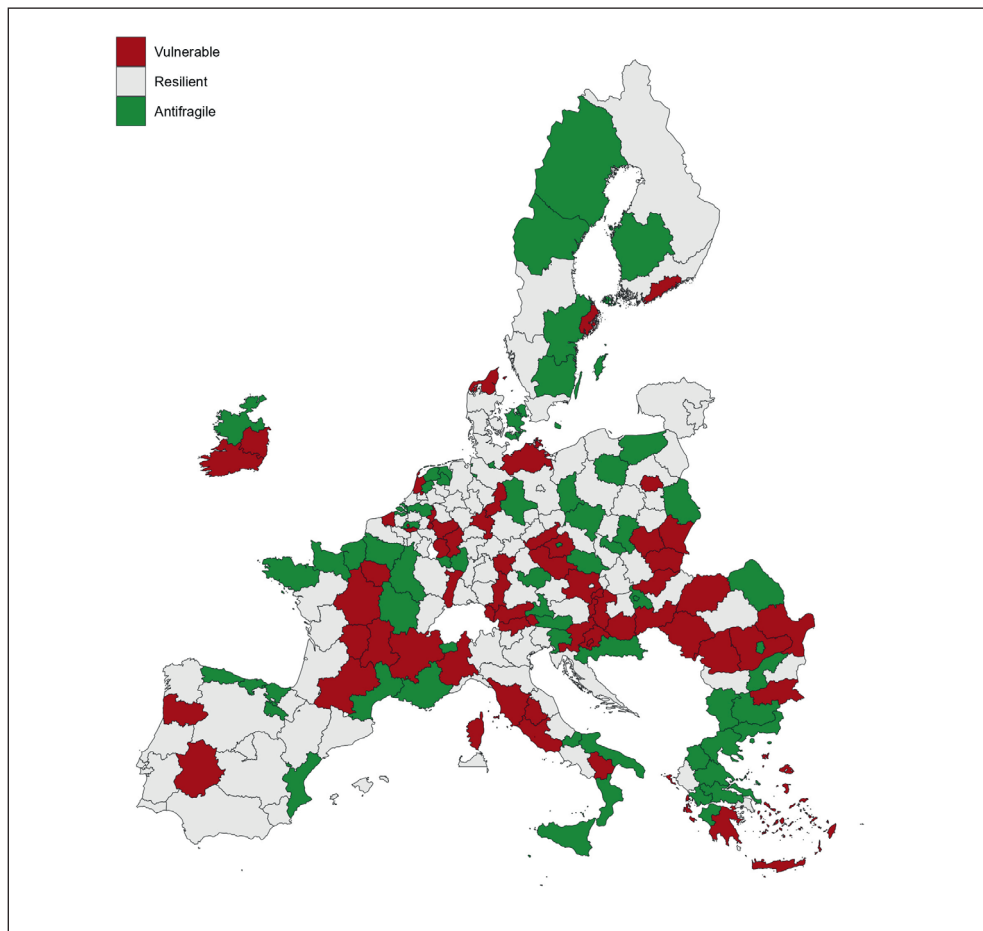
Source: authors' elaboration based on Eurostat data: (nama\_10r\_3gva\_custom\_12285674)

Most regions turned out to be vulnerable, meaning their growth slowed by more than 0.5 p.p. during the crisis period compared to the background period. This fact confirms that the crisis is severe from a regional perspective. The three-year period was not enough for the economies of the vulnerable regions to bounce back, let alone bounce forward. The share of regions classified here as resilient was 22%, and those regions can also be called robust if we use systems terminology. The share of regions classified as anti-fragile was lower by just one per cent, corroborating the usefulness of this group from an empirical perspective. Combining anti-fragile and resilient regions into a single

group will account for about 43%, a fraction that can be understood as the share of regions that have emerged from the crises relatively well.

Figure 1 presents the detailed results for the regions graphically and analysing the map may help better understand whether resilience follows any geographic patterns.

Figure 1. Resilience score of EU regions



Source: authors' elaboration based on Eurostat data: (naa\_10r\_3gva\_custom\_12285674)

The figure shows that the vulnerable regions can be found mainly in Central Europe, including Germany, Czechia, most of Austria, Poland and Romania. Such regions also appeared in France and Mediterranean member states. Resilient regions appeared in many somewhat peripheral areas, both in the east and the west; however, parts of the European development corridor, often called the "Blue Banana," such as Benelux and Northern Italy, were also classified this way.

The most interesting and complex pattern can be attributed to the anti-fragile regions. They tend to be located peripherally, although some are part of the EU's core. Some of them are also the capital regions of their countries, but most of them are peripheral

in their national context. Such regions can be less prone to international economic disruptions, as their connections to the global economy are weaker. Overall, the map suggests that the regional resilience studied here is a complex phenomenon that warrants further reflection.

Therefore, a regression analysis was conducted to check whether some structural factors may have influenced the resilience factors obtained. Identifying causal pathways and selecting explanatory variables, particularly given their availability at a regional level, is challenging. The set of structural factors is based on the previous literature review (Annoni et al., 2019; Giannakis, Bruggeman, 2017; Sutton et al., 2023) and includes shares of the six sections covering the entire GVA, except for agriculture and forestry excluded because of their negligible share in the economic structure of almost all regions. The sections included: 1. Manufacturing; 2. Industry without manufacturing and construction; 3. Construction; 4. Wholesale and retail trade, transport, accommodation and food service activities, information and communication; 5. Financial and insurance activities, real estate activities, professional, scientific and technical activities, administrative and support service activities; 6. Public administration and defence, compulsory social security, education, human health and social work activities, arts, entertainment and recreation, repair of household. Two other indicators were additionally calculated. The first one shows the structural diversity of the regional economy, which is understood as the share of other sections, excluding the one with the highest share. This factor was obtained based on the Structural Business Statistics section of Eurostat and was calculated using the data for 83 NACE sections, for which the 2019 data were available as the basis for future resilient reactions. Structural diversity is the opposite of structural concentration, understood as the dominance of just one industry. This approach is related to Glaeser et al. (1991). The other indicator was created to depict structural changes in the regions under discussion and aligns with Schumpeter's approach to economic dynamics. It shows the total change in shares across all 74 NACE sections for which data were available in the region's economy between 2019 and 2020, as no more recent data were available.

Innovation as a determinant of resilience is also frequently considered in research, including studies such as Bristow and Healy (2018) which highlight the importance of innovation capacity in explaining regional performance differences in Europe. Three variables were used to control for technological sophistication: human resources in science and technology – percentage of population in the labour force, employment in high-tech sectors – percentage of total employment, and the Regional Innovation Scoreboard overall score. Finally, regional GDP per capita was used to check whether its level influences resilience.

As this work is focused on regional phenomena, it is essential to note that besides regional factors, there are also global, European (EU policy and the general market) and national factors. Global and European factors can be treated as neutral when comparing EU regions, an assumption based on the simple fact that the conditions created by those factors are the same for all the regions. For national factors, however, it is not the same. Different countries can apply different fiscal policies; some EU members conduct their own monetary policy, and national governments have reacted in many ways to the pandemic. A hierarchical model of regression was used to account for this by allowing for the creation of different classes of region, depending on the member state to which each belongs. The results of modelling in terms of statistically significant factors and their influence on the resilience score are presented in Table 3.

Table 3. Structural factors and regional resilience in the EU

Variable	p value	Influence
Manufacturing	0.005	Negative
Public administration and defence; compulsory social security; education; human health and social work activities; arts, entertainment and recreation; repair of household	0.057	Negative
Industry without manufacturing and construction	0.056	Negative

Hierarchical regression model (REML), N = 217, number of classes (countries): 19

Source: authors' calculations based on Eurostat data: (nama\_10r\_3gva\_custom\_12285674; nama\_10r\_2g\_dp\_custom\_12191111; tgs00038; tgs00039)

The only statistically significant variable at the level normally used in social science ( $p < 0.05$ ) is the share of manufacturing in a region's economy. The other two variables are also close to this level, so together they can serve as a basis for the conclusion. All three variables are negative, meaning that as they increase, the resilience score decreases. In other words, no factors were identified as positively influencing resilience, and only negative factors were pointed out.

## DISCUSSION

Considering the geographical pattern of regional resilience, it is worth mentioning the study by Annoni et al. (2019), which examined regions' ability to recover and return to a path of economic growth and sustain prosperity during the recession and financial crisis between 2008 and 2015, focusing on the factors determining economic growth and resilience. They also investigated whether these determinants are similar across different groups of EU regions and their analysis found that the determinants of regional growth and resilience varied across spatial regimes (core vs. periphery). This division was based on the spatial distribution of GDP per capita in 2008. Regions surrounded by other regions with a higher initial GDP per capita (in 2008) tended to experience faster growth, results consistent with the empirical literature on convergence. In our work, no clear pattern like that was found, and even its opposite seemed true, as the anti-fragile regions were spread across the EU, often surrounded by more vulnerable regions.

The finding that manufacturing negatively influenced resilience may be striking and counterintuitive. It is, however, supported by another finding, showing that other industries also negatively influence resilience. Furthermore, returning to the map, it indicates that many vulnerable regions are those that were traditionally considered industrial. Such results are not unprecedented in the literature, as similar have been found by other researchers, indicating a negative effect of a large manufacturing sector on regions' ability to withstand recessionary shocks (Giannakis, Bruggeman, 2017).

Even if our findings may be unexpected based on some traditional literature, they are, however, explicable, and there may be several justifications for the results obtained. Foremost, the specifics of the pandemic crisis disrupted supply chains and caused a decline in demand for many products, such as vehicles. In addition, other crises whose effects are evident in the data might contribute to the poor performance of the industrial sector in Europe. The increase in energy prices triggered by the Russian invasion and the reaction to it, in the context of an energy transformation that was not going smoothly in many member states, indeed worsened the conditions for a large part of this sector.

Taken together, they formed a cascade of crises in which negative consequences multiplied.

The negative influence of the public sector's share on the resilience score may also be worth discussing. On the one hand, public expenses are traditionally considered to play a stabilising role in the economy. Independent of the business cycle, they may smooth it by providing spending during times when the private sector fails. In the long run, however, the public sector must also cut expenses. Moreover, a relatively high share in the economy may indicate the weak potential of the private sector. The public sector tends to be less adaptable, which is another argument supporting its potential negative influence over resilience.

## CONCLUSIONS

The pandemic and war in Eastern Europe have increased interest in economic resilience and security, particularly considering disruptions to global value chains and the imperative to strengthen the EU's strategic autonomy. This context provides empirical material to study this concept at a regional level. The geographic pattern of regional resilience in the EU presents no clear picture contrasting with classical studies of regional development. Even though the main development corridor is partly visible, some other anti-fragile regions were positioned in the peripheral parts of the EU. Regions of Central Europe proved vulnerable to shocks, including large parts of the new member states, which had been leaders in European economic growth.

The results of this study also show no universal factor contributing positively to resilience. Negative influence was, however, demonstrated, and a factor contributing to regions' vulnerability was their share of industry, including manufacturing, in the economy. This vulnerability is partly rooted in long-term structural shifts, particularly the accelerated delocalisation of EU industrial capacity since the 1990s, driven by globalisation and cost-efficiency. Multinational corporations systematically offshored manufacturing to Asian economies with lower labour costs, laxer environmental regulations and state-subsidised production ecosystems. This hollowing-out of Europe's industrial base progressively eroded its comparative advantage in energy-intensive sectors, mid-to high-tech manufacturing and value-added production. Energy cost variability remains a separate negative factor influencing industrial regions.

Some of the findings can be interpreted more positively. The lack of relationship between the current level of development and resilience shows that the former offers no particular advantage to a region, and that a crisis may be an opportunity for some poor regions to change their development paths. In general, it must be noted that, from an empirical perspective, resilience remains a complex phenomenon, and research on the factors contributing to it should continue. As more recent data become available, an effort should be made to examine the relationships between structural diversity, structural dynamics and resilience, as this study has found a lack of them, but this may be specific to the current crisis stage.

Policy recommendations should prioritise rebuilding the EU's comparative advantage through endogenous mobilisation, including industrial modernisation and strategic autonomy in critical sectors. Despite industry's vulnerability, it remains vital for long-term economic security, technological leadership and GVC repositioning. The industrial restructuring strategy is crucial for strengthening economic resilience in the face of long-term

challenges (Peng et al., 2025). An EU-wide industrial strategy must address secure and diversified supply chains, competitive energy systems, and the development of human capital in advanced technologies, particularly amid demographic decline. This aligns with efforts to counter decades of offshoring and re-anchor high-value production within the EU, as seen in initiatives such as the European Critical Raw Materials Act.

The limitations of the current study come from data availability. The 2020 to 2023 period provides interesting insight, but further studies with more recent data are necessary. This will allow for the full effects of post-pandemic recovery or the economic results of the war in Ukraine.

Future research could overcome the above obstacles. Because of the complex nature of resilience, studies that focus on a deeper analysis of regions that performed especially well after the crisis could provide insights into the factors that contribute to resilience. Further analysis should investigate regions that successfully leveraged endogenous assets (e.g. local innovation ecosystems or workforce upskilling) to enhance resilience, offering insights for EU-level strategies.

## References

- Allenby, B., Fink, J. (2005). Toward inherently secure and resilient societies. *Science*, 309(5737), 1034–1036. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1111534>
- Annoni, P., de Dominicis, L., Khabirpour, N. (2019). The great recession: Main determinants of regional economic resilience in the EU. *Working Paper, 2019–02*.
- Aven, T. (2015). The concept of antifragility and its implications for the practice of risk analysis. *Risk Analysis*, 35(3), 476–483. doi: <https://doi.org/10.1111/risa.12279>
- Axenie, C., López-Corona, O., Makridakis, M.A. (2024). Antifragility in complex dynamical systems. *npj Complex*, 1, 12. doi: <https://doi.org/10.1038/s44260-024-00014-y>
- Bristow, G., Healy, A. (2018). Innovation and regional economic resilience: an exploratory analysis. *The Annals of Regional Science*, 60, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s00168-017-0841-6>
- Buhmann, E., Stephen, E., Hehl-Lange, S., Palmer, J., Pietsch, M. (2021). Conceptualising a model of antifragility for dense urban areas. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 6(2021), 75–84. doi: <https://doi.org/10.14627/537705004>
- Caldera Sánchez, A., Rasmussen, M., Röhn, O. (2015). Economic resilience: What role for policies? *OECD Economics Department Working Papers*, No.1251. doi: <https://doi.org/10.1787/5jrxhgf61q5j-en>
- Chiffi, D., Curci, F. (n.d.). Disentangling antifragility from resilience. W: *Fragility and Antifragility in Cities and Regions: Space, Uncertainty and Inequality* (Elgar Studies in Planning Theory, Policy and Practice). doi: <https://doi.org/10.4337/9781035312559>
- Cowell, M.M. (2013). Bounce back or move on: Regional resilience and economic development planning. *Cities*, 30, 212–222. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.04.001>
- De Bruijn, H., Größler, A., Videira, N. (2020). Antifragility as a design criterion for modelling dynamic systems. *Systems Research and Behavioural Science*, 37, 23–37. doi: <https://doi.org/10.1002/sres.2574>
- Doran, J., Fingleton, B. (2014). Economic shocks and growth: spatio-temporal perspectives on Europe's economies in a time of crisis. *Papers in Regional Science*, 93(S1), s. 137–165.
- Eurostat. (2024). *Industrial production statistics*. Pozyskano z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics\\_explained/index.php?title=Industrial\\_production\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics_explained/index.php?title=Industrial_production_statistics) (dostęp: 30.11.2025).
- Giannakis, E., Bruggeman, A. (2017). Determinants of regional resilience to economic crisis: a European perspective. *European Planning Studies*, 25(8), 1394–1415. doi: <https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1319464>
- Glaeser, E.L., Kallal, H.D., Scheinkman, J.A., Shleifer, A. (1991). Growth in cities. *NBER Working Paper Series*, 3787. doi: <https://doi.org/10.3386/w3787>

- Grinberger, J., Felsenstein, D. (2014). Bouncing back or bouncing forward? Simulating urban resilience. *Urban Design and Planning*, 167(3), 115–124. doi: <https://doi.org/10.1680/udap.13.00021>
- Hill, E., Wial, H., Wolman, H. (2008). Exploring regional economic resilience. *Working Paper, 2008–04*.
- Holling, C.S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1–23.
- Hu, X., Hassink, R. (2020). Adaptation, adaptability and regional economic resilience: A conceptual framework. W: G. Bristow, A. Healy (red.), *Handbook on regional economic resilience*. Edward Elgar, 54–68.
- Jacobs, J. (1969). *The economy of cities*. Vintage Books.
- Johnson, J., Gheorghe, A.V. (2013). Antifragility analysis and measurement framework for systems of systems. *International Journal of Disaster Risk Science*, 4(4), 159–168. doi: <https://doi.org/10.1007/s13753-013-0017-7>
- Manyena, B., O'Brien, G., O'Keefe, P., Rose, J. (2011). Disaster resilience: A bounce back or bounce forward ability? *Local Environment*, 16(5), 417–434. doi: <https://doi.org/10.1080/13549839.2011.583049>
- Martin, R. (2012). Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. *Journal of Economic Geography*, 12(1), 1–32. doi: <https://doi.org/10.1093/jeg/lbr019>
- Martin, R., Sunley, P. (2015). On the notion of regional economic resilience. *Journal of Economic Geography*, 15(1), 1–42. doi: <https://doi.org/10.1093/jeg/lbu015>
- Munoz, A., Todres, M., Rook, L. (2021). Empowering organisations to gain from uncertainty: A conceptualisation of antifragility through leveraging organisational routines in uncertain environments. *Australian Accounting, Business and Finance Journal*, 15(3), 202. doi: <https://doi.org/10.14453/aabfj.v15i3>
- Pendall, R., Foster, K.A., Cowell, M. (2007). Resilience and Regions: Building Understanding of the Metaphor. *Institute of Urban and Regional Development Working Paper*, 12.
- Pendall, R., Foster, K.A., Cowell, M. (2010). Resilience and regions: Building understanding of the metaphor. *Working Paper, 2007–12*.
- Peng, C., Qiao, Y., Long, H., Wang, Y. (2025). Assessing economic resilience in a manufacturing-based region through industrial restructuring with environmental thresholds: An updating framework. *China Economic Review*, 92, 102441. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2025.102441>
- Pike, A., Dawley, S., Tomaney, J. (2010). Resilience, adaptation and adaptability. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 3, 59–70. doi: <https://doi.org/10.1093/cjres/rsq001>
- Rimidis, M., Butkus, M. (2025). From adversity to advantage: A systematic literature review on regional economic resilience. *Urban Science*, 9(4), 118. doi: <https://doi.org/10.3390/urbansci9040118>
- Rose, A. (2007). Economic resilience to natural and artificial disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions. *Environmental Hazards*, 7(4), 383–398. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.10.001>
- Simmie, J., Martin, R. (2009). The economic resilience of regions: Towards an evolutionary approach. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 3(1), 27–43. doi: <https://doi.org/10.1093/cjres/rsp029>
- Stanley, C. (2011). *The Ecological Economics of Resilience: Designing a Safe-Fail Civilization*. Waterloo, Ontario: Thesis.
- Sutton, J., Arcidiacono, A., Torrissi, G., Arku, R.N. (2023). Regional economic resilience: A scoping review. *Progress in Human Geography*, 47(4), 500–532. doi: <https://doi.org/10.1177/03091325231174183>
- Taleb, N.N. (2012). *Antifragile: Things that gain from disorder*. Random House.
- Trippel, M., Fastenrath, S., Isaksen, A. (2023). Rethinking regional economic resilience: Preconditions and processes shaping transformative resilience. *European Urban and Regional Studies*, 31. doi: <https://doi.org/10.1177/09697764231172326>
- Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S.R., Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2). doi: <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>

- Więziak, D. (2007). Wielopoziomowe modelowanie regresyjne w analizie danych. *Wiadomości Statystyczne*, 9, 1–12.
- Wink, R. (2014). Regional economic resilience: Policy experiences and issues in Europe. *Raumforschung und Raumordnung*, 72, 83–84. doi: <https://doi.org/10.1007/s13147-014-0283-x>

**Acknowledgment:**

The article presents the result of the Project no 081/EEG/2024/POT, financed from the subsidy granted to the Krakow University of Economics, and the result of the Project no 082/EEG/2024/POT, financed from the subsidy granted to the Krakow University of Economics.

**Jakub Kwaśny**, PhD, Krakow University of Economics, Department of International Economics. He is an Assistant Professor at the Department of International Economics at the Krakow University of Economics, Mayor of the City of Tarnów and local government official. His academic interests focus on issues of local and regional development, the European Union's cohesion policy, and international economics. He is the author of numerous publications on local government and regional development, as well as a participant in research projects analysing economic processes in EU countries, with particular emphasis on territorial organizations and urban development.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0786-304X>

**Address:**

Krakow University of Economics  
Department of International Economics  
ul. Rakowicka 27  
31-510 Kraków, Poland  
e-mail: [kwasnyj@uek.krakow.pl](mailto:kwasnyj@uek.krakow.pl)

**Arkadiusz Mroczek**, PhD, Krakow University of Economics, Department of International Economics. His research interests focus on urban and regional development, metropolitan economics and the location of the business service sector.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3736-437X>

**Address:**

Krakow University of Economics  
Department of International Economics  
ul. Rakowicka 27  
31-510 Kraków, Poland  
e-mail: [mroczeka@uek.krakow.pl](mailto:mroczeka@uek.krakow.pl)

**Marta Ulbrych**, PhD, Krakow University of Economics, Department of International Economic Relations. Her research interests focus on international economic integration, globalization, industrial policy and energy transition. She is the author of numerous publications on industrial competitiveness and regional development, as well as a participant in research projects analyzing economic processes in EU countries, with particular emphasis on the Visegrad Group.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3886-371X>

**Address:**

Krakow University of Economics  
Department of International Economics  
ul. Rakowicka 27  
31-510 Kraków, Poland  
e-mail: [ulbrychm@uek.krakow.pl](mailto:ulbrychm@uek.krakow.pl)



DOMINIK SIKORSKI

Uniwersytet Wrocławski, Polska / University of Wrocław, Poland

## Wrocław i aglomeracja wrocławska jako ośrodek przemysłowy w latach 2008–2024: dynamika i przestrzenne kierunki zmian

### Wrocław and its agglomeration as an industrial center in 2008–2024: dynamics and spatial directions of change

**Streszczenie:** Celem badań jest identyfikacja oraz analiza prawidłowości w zmianach przestrzennych i ilościowych działalności przemysłowej w aglomeracji wrocławskiej w latach 2008–2024. W pracy zastosowano metody statystyczne oraz narzędzia GIS, a podstawowym źródłem informacji były dane z rejestru REGON. Wyniki wskazują na tendencje deglomeracyjne, widoczne szczególnie w strefie podmiejskiej – liczba podmiotów gospodarczych w sektorze przemysłu wzrosła tam o 17.6%, przy czym dynamika wzrostu była znacznie wyższa w strefie podmiejskiej (+73,3%) niż w samym Wrocławiu (+6.8%). W strukturze przemysłu dominują mikroprzedsiębiorstwa, natomiast największe zakłady koncentrują się wzdłuż głównych arterii transportowych. Najsilniej rozwinięte branże to przemysł elektromaszynowy, metalowy, chemiczny i spożywczy, co potwierdza kontynuację tradycji przemysłowej regionu. Wyniki prezentowanych badań mogą wspierać planowanie przestrzenne i politykę rozwoju aglomeracji w warunkach długookresowych skutków transformacji postsocjalistycznej.

**Abstract:** The aim of the research is to identify and analyse patterns in quantitative and spatial change in industrial activity in the Wrocław agglomeration: 2008–2024. Statistical methods and GIS tools were used in the study, and the primary source of information is data from the REGON register. The results indicate deglomeration trends, particularly evident in the wider agglomeration where the number of industrial entities increased by 17.6%, with the growth rate being significantly higher (+73.3%) than in Wrocław itself (+6.8%). Micro-enterprises dominate the industrial structure while the largest plants are concentrated along the main transport arteries. The most developed industries are electrical engineering, metalworking, chemical and food processing, confirming the region's industrial tradition. The results of the research can support spatial planning and agglomeration development policy in the context of the long-term effects of post-socialist transformation.

**Słowa kluczowe:** aglomeracja wrocławska, działalność przemysłowa, dane REGON, deglomeracja  
**Keywords:** Wrocław agglomeration, industrial activity, REGON data, deglomeration

**Otrzymano:** 22 grudnia 2025

**Received:** 22 December 2025

**Zaakceptowano:** 9 lutego 2026

**Accepted:** 9 February 2026

**Sugerowana cytacja / Suggested citation**

Sikorski, D. (2026). Wrocław i aglomeracja wrocławska jako ośrodek przemysłowy w latach 2008–2024: dynamika i przestrzenne kierunki zmian. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 40(1), 23–41. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.401.2>

**WSTĘP**

Współczesne aglomeracje miejskie w Polsce, w tym aglomeracja wrocławska, podlegają dynamicznym przemianom społeczno-gospodarczym. Zmiany te wpływają na ich strukturę przestrzenną, funkcjonalną oraz rolę odgrywaną w krajowym i regionalnym systemie osadniczym. Jednym z kluczowych aspektów tych przemian jest ewolucja funkcji i znaczenia działalności przemysłowej, która – choć w wielu miastach uległa redukcji w wyniku procesów deindustrializacji – w przypadku Wrocławia i jego otoczenia wykazuje oznaki reindustrializacji oraz przestrzennej relokacji działalności produkcyjnej z rdzenia aglomeracji do jej strefy podmiejskiej (Sikorski, 2019; Sikorski, Kryczka, 2023). Jak wykazały badania P. Brezdenia i R. Szmytkie (2019), za oznaki reindustrializacji należy uznać wzrost liczby podmiotów obserwowany zarówno w rdzeniu, jak i w strefie podmiejskiej, co świadczy o odradzaniu się funkcji produkcyjnych, lecz nie oznacza powrotu do skali historycznej industrializacji (Brezdeń, Szmytkie, 2019).

W niniejszym artykule kluczowe jest precyzyjne rozróżnienie trzech procesów przestrzennych dotyczących badanej tutaj działalności przemysłowej: dekoncentracji, deglomeracji i relokacji. Choć są one ze sobą powiązane, to mają odmienne znaczenie analityczne i zachodzą w różnym porządku przestrzennym i czasowym:

- Dekoncentracja oznacza spadek intensywności lub gęstości działalności przemysłowej w dotychczasowych obszarach jej koncentracji, bez konieczności równoległego wzrostu w innych częściach aglomeracji. Jest to zatem proces „rozluźniania” koncentracji, niekoniecznie związany z przenoszeniem działalności.
- Deglomeracja jest rozumiana jako przesuwanie działalności przemysłowej z obszarów centralnych ku peryferiom i do strefy podmiejskiej, co prowadzi do zmiany przestrzennego układu działalności w skali całej aglomeracji. W przeciwieństwie do dekoncentracji wiąże się ona z wyraźną zmianą lokalizacji i redystrybucją działalności.
- Relokacja odnosi się do konkretnych decyzji podmiotów o fizycznym przeniesieniu zakładu lub siedziby firmy w inne miejsce. Jest to więc proces mikroskali, który nie zawsze generuje widoczne zmiany w skali całej aglomeracji.

W przeprowadzonym badaniu kluczowym obiektem analizy jest deglomeracja, rozumiana jako przesuwanie działalności produkcyjnej z centrum ku strefie podmiejskiej. Dekoncentracja oraz relokacja pojawiają się w analizie pomocniczo, jednak z racji ich odmiennego charakteru i innego porządku przestrzennego są one traktowane jako procesy towarzyszące, a nie równorzędne.

Wrocław jest jednym z największych i najbardziej dynamicznie rozwijających się miast w Polsce, pełni funkcję regionalnego centrum gospodarczego, naukowego i infrastrukturalnego (Kunc i in., 2023). Jego rola jako ośrodka przemysłowego nie ogranicza się do granic administracyjnych miasta, lecz w coraz większym stopniu obejmuje również jego strefę podmiejską, w której obserwuje się intensywny i coraz bardziej skoncentrowany rozwój działalności przemysłowej, szczególnie w gminach takich jak Kobierzyce, Długołęka czy Siechnice (Brezdeń, Szmytkie, 2019; Brezdeń, 2020). Zaobserwowane

prawidłowości wpisują się w szerszy kontekst suburbanizacji ekonomicznej (w tym przypadku – suburbanizacji funkcji produkcyjnych), który początkowo był obserwowany w wielu aglomeracjach Europy Zachodniej, a od niecałych dwóch dekad jest coraz bardziej widoczny w aglomeracjach postsocjalistycznych Europy Środkowo-Wschodniej (Hall, Pain, 2006; Scott, 2001).

W krajowej literaturze przedmiotu stosunkowo rzadko podejmowane są szczegółowe analizy rozwoju działalności produkcyjnej w strefach aktywności gospodarczej, takich jak aglomeracje miejskie, zwłaszcza w odniesieniu do pojedynczych osiedli lub miejscowości, a nie całych gmin (jednostek samorządowych). Ogólnie badania nad przemysłem w Polsce koncentrują się przede wszystkim na jego transformacji w skali krajowej i regionalnej lub na jego wymiarze ekonomicznym i wpływie na cały rozwój gospodarczy kraju. W ostatnich latach szczególną uwagę poświęca się wpływowi pandemii COVID-19 na kondycję sektora (zob. Brezdeń, 2023; Jabłoński, Killar, 2024). Istotnym nurtem analiz jest także deindustrializacja dużych miast (Sagan, Olchowska, 2020; Sikorski, Kryczka, 2023; Gwosdz, 2019; Krzysztofik, Szmytkie, 2018). Ponadto coraz popularniejsze stają się badania dotyczące ogólnych prawidłowości w procesie przekształceń przemysłu, przede wszystkim w kontekście rewitalizacji terenów poprzemysłowych (Mastalerz, 2017; Gyurkovich, Gyurkovich, 2021; Wyszyńska, 2024; Modern Concrete, 2024).

Nadal jednak niewiele jest szczegółowych empirycznych analiz dotyczących m.in. przestrzennej relokacji przemysłu w obrębie aglomeracji miejskich, a także roli struktury wielkościowej podmiotów oraz ich przynależności branżowej w tym procesie (Micek, Pietrzko, Fiedeń, 2022; Dusza-Zwolińska, Kiepas-Kokot, 2020; Mytnik, 2022; Malycha, 2025). W znacznym stopniu wynika to z ograniczonej dostępności do wiarygodnych i szczegółowych danych statystycznych na poziomie lokalnym, które pozwalałyby na rzetelną analizę przemian zachodzących w skali lokalnej (Celińska-Janowicz, 2016).

W tym kontekście celem badań są identyfikacja oraz analiza prawidłowości w zmianach przestrzennych i ilościowych działalności przemysłowej w aglomeracji wrocławskiej w latach 2008–2024. Aby móc zrealizować powyższy cel badawczy, w niniejszej pracy postawiono następujące pytania badawcze:

- Jak zmieniały się liczba i rozmieszczenie podmiotów przemysłowych w aglomeracji wrocławskiej w latach 2008–2024?
- Jak kształtowała się struktura wielkościowa podmiotów przemysłowych na badanym obszarze w latach 2008–2024?
- Jakie gałęzie przemysłowe dominują w aglomeracji wrocławskiej i jak zmieniała się ich struktura przestrzenna w analizowanym okresie?
- Jakie czynniki i uwarunkowania wpływały na zaobserwowane zmiany w rozmieszczeniu, strukturze wielkościowej i gałęziowej przemysłu badanego miasta i jego strefy podmiejskiej?

## PRZEGLĄD BADAŃ NAD PRZEMIANAMI PRZESTRZENNYMI I STRUKTURALNYMI PRZEMYSŁU W AGLOMERACJI WROCŁAWSKIEJ

Działalność produkcyjna we Wrocławiu i w jego otoczeniu była przedmiotem analiz od wielu dekad (Brezdeń, 2024). Początkowo koncentrowano się na lokalizacji przemysłu, jego strukturze branżowej oraz uwarunkowaniach surowcowych (Jeżowski, 1961; Walczak, 1969; Golachowski, 1966). Wrocławski ośrodek geograficzny, wywodzący się z tradycji lwowskiej, odegrał istotną rolę w kształtowaniu geografii przemysłu w Polsce,

czego świadectwem są liczne opracowania syntetyczne i empiryczne (Łoboda, Slenczek, 1997; Slenczek, 1994, 1996).

W latach 90. XX w., w związku z transformacją ustrojową, badania przesunęły akcent na procesy restrukturyzacji, deindustrializacji oraz wpływ przemysłu na środowisko (Korcznik, 1994; Wójcik, 2011). W kolejnych dekadach coraz większą uwagę poświęcano zagadnieniom napływu kapitału zagranicznego, roli specjalnych stref ekonomicznych oraz innowacyjności przemysłu (Brezdeń, 2004, 2006; Brezdeń, Spallek, 2008, 2012).

W ostatnich latach szczególne znaczenie zyskały badania nad przestrzenną relokacją działalności przemysłowej w obrębie aglomeracji wrocławskiej. Wykazano wyraźny proces deglomeracji, polegający na przesuwaniu działalności produkcyjnej z centrum Wrocławia do jego strefy podmiejskiej – zwłaszcza do gmin takich jak Kobierzyce, Długołęka czy Siechnice (Sikorski, 2019; Sikorski, Kryczka, 2023). Proces ten wpisuje się w szerszy kontekst suburbanizacji funkcji produkcyjnych, który jest również obserwowany w innych aglomeracjach Europy Środkowo-Wschodniej (Hall, Pain, 2006; Scott, 2001).

Wrocław i jego otoczenie, mimo postępującej dekoncentracji przemysłu, nadal odgrywa kluczową rolę w strukturze przemysłowej regionu, głównie dzięki dynamicznie rozwijającej się strefie podmiejskiej. Dominują tutaj przemysł elektromaszynowy, metalowy, chemiczny i spożywczy, których rozwój silnie koreluje z dostępnością infrastruktury transportowej. Jednocześnie obserwuje się wzrost znaczenia dużych zakładów przemysłowych wzdłuż głównych arterii komunikacyjnych, takich jak autostrada A4 czy droga krajowa nr 94 (Brezdeń, 2020; Sikorski, Kryczka, 2023).

Wydaje się jednak, że w literaturze krajowej, także tej odnoszącej się do wrocławskiego ośrodka przemysłowego, wciąż brakuje pogłębionych analiz empirycznych dotyczących relokacji przemysłu, roli struktury wielkościowej i rodzajowej podmiotów przemysłowych oraz wpływu lokalnych polityk przestrzennych na rozmieszczenie tego rodzaju działalności gospodarczej. W tym kontekście proponowane badania mogą stanowić istotny wkład w rozwój geografii przemysłu w Polsce, dostarczając zarówno danych ilościowych, jak i interpretacji procesów przestrzennych zachodzących w realiach rozwoju obszarów miejskich ukształtowanych przez transformację ustrojowo-gospodarczą po 1989 r.

## METODY BADAŃ I ŹRÓDŁA DANYCH

Niniejsza praca opiera się w całości na analizie danych z bazy REGON zakupionych z Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) dla badanej aglomeracji wrocławskiej dla lat: 2008, 2016 i 2024. Dla potrzeb tych badań z bazy zaczerpnięto następujące informacje: dane identyfikujące podmioty (nazwa), dane teleadresowe (adres siedziby badanych podmiotów), dane klasyfikujące (działy PKD – Polskiej Klasyfikacji Działalności), struktura zatrudnienia.

Podmioty przemysłowe zidentyfikowano jako podmioty gospodarcze przynależne do sekcji PKD: B, C, D i E. Następnie, na podstawie danych teleadresowych, przypisano każdy podmiot przemysłowych do konkretnego osiedla i dzielnicy miasta Wrocław oraz miejscowości statystycznej strefy podmiejskiej. Dodatkowo, dzięki wykorzystaniu narzędzi GIS w postaci georeferencji w programie QGIS, określono szacunkową odległość badanych podmiotów przemysłowych od centrum aglomeracji wrocławskiej (które zidentyfikowano jako rynek we Wrocławiu). Korzystając z danych o strukturze pracujących w przedsiębiorstwach: 0–9, 10–49, 50–249, 250–999 oraz 1000 i więcej, określono wielkość badanych podmiotów przemysłowych. Bazując na działach PKD, każdy

podmiot przemysłowy został przypisany do poszczególnych gałęzi przemysłu według poniższego schematu:

- górnictwo i wydobywanie: 05, 06, 07, 08 i 09 (dział PKD),
- przemysł spożywczy: 10, 11 i 12,
- przemysł tekstylny: 13, 14 i 15,
- przemysł drzewny i papierniczy: 16 i 17,
- przemysł poligraficzny: 18,
- przemysł chemiczny: 19, 20, 21, 22 i 23,
- przemysł metalowy: 24 i 25,
- przemysł elektromaszynowy: 26, 27 i 33,
- przemysł precyzyjny: 28 i 32,
- przemysł motoryzacyjny: 29 i 30,
- przemysł energetyczny i inny: 35 i 36,
- recykling: 37, 38 i 39.

W analizie empirycznej wykorzystano dane REGON w podziale na działy PKD, stanowiącej obowiązującą współcześnie podstawę statystyki publicznej. Ze względu na chęć zachowania porównywalności z wcześniejszymi badaniami dotyczącymi wrocławskiego ośrodka przemysłowego, w szczególności z pracami M. Slenczka (1994, 1996), poszczególne działy PKD zostały zagregowane w większe grupy sektorowe odpowiadające w przybliżeniu dawnym gałęziom przemysłu funkcjonującym w klasyfikacji KGN GUS sprzed 1993 r.

Przejsie między dawną klasyfikacją gałęziową KGN a współczesną strukturą PKD nie jest jednoznaczne, co podkreślano już w opracowaniach GUS z lat 90. Wynika to z faktu, że wiele działów PKD obejmuje działalności należące wcześniej do kilku różnych gałęzi przemysłu. W niniejszym artykule zastosowano więc uproszczoną agregację o charakterze analitycznym i opisowym, służącą uchwyceniu głównych kierunków transformacji strukturalnej przemysłu.

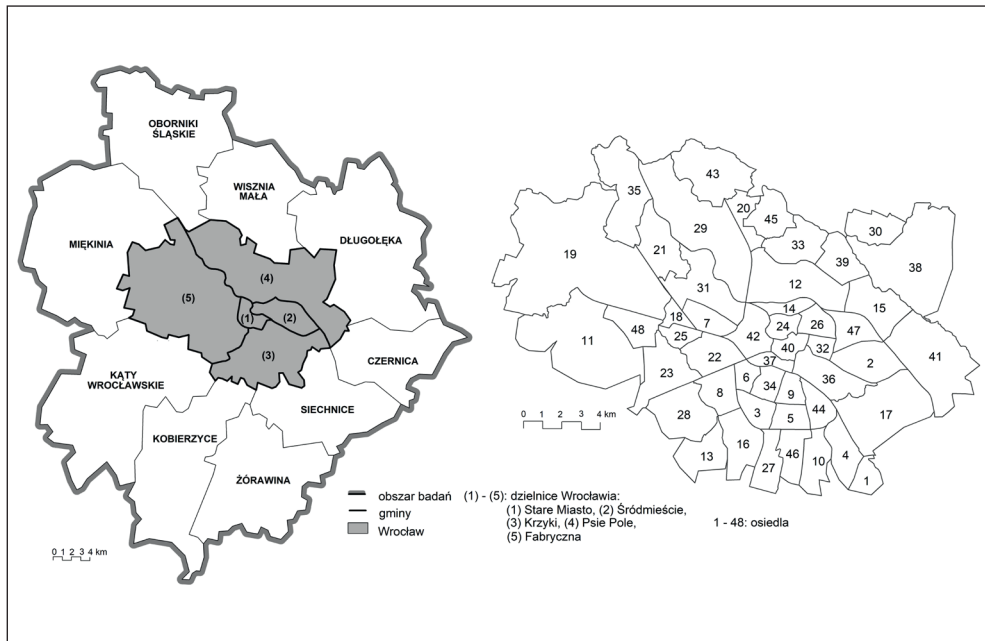
Tak zdefiniowane źródła i metody postępowania badawczego mają swoje ograniczenia wynikające głównie z charakteru bazy REGON. Przede wszystkim chodzi o to, że baza REGON zawiera dane teleadresowe odnoszące się do siedziby firmy, a nie miejsca realnie prowadzonej działalności gospodarczej. Według różnych szacunków adres siedziby firmy z miejscem faktycznie realizowanej działalności pokrywa się w ok. 70–80% (Raczyk, 2009). Taka konstrukcja bazy danych może prowadzić do częściowej błędnej interpretacji rzeczywistego rozmieszczenia badanej działalności przemysłowej. Jednocześnie baza REGON jest jedyną tego rodzaju bazą danych o działalności gospodarczej zawierającą tak dużą ilość informacji, która jest prowadzona przez powołaną do tego celu instytucję państwową.

## OBSZAR BADAŃ

Agglomeracja wrocławska obejmuje miasto Wrocław oraz dziewięć otaczających gmin tworzących jego strefę podmiejską (rycina 1). Obszar ten zamieszkuje łącznie 899 711 osób, z czego aż 672 882 (74.8%) mieszka w samym Wrocławiu (BDL, 2024). Powierzchnia aglomeracji wynosi 1391,8 km<sup>2</sup>, a powierzchnia miasta Wrocław to 292,8 km<sup>2</sup>.

Według ustaleń E. Chądzyńskiej (2012) na początku drugiej dekady XXI w. aglomeracja wrocławska należała do najdynamiczniej rozwijających się obszarów miejskich w Polsce, charakteryzując się intensywnym wzrostem gospodarczym, rosnącą liczbą

Rycina 1. Obszar badań w podziale na dzielnice i osiedla Wrocławia oraz gminy strefy podmiejskiej



Osiedla Wrocławia: 1. Bieńkowice, 2. Biskupin – Sępolno – Dąbie – Bartoszowice, 3. Borek, 4. Brochów, 5. Gaj, 6. Gajowice, 7. Gądów – Popowice Płd., 8. Grabiszyn – Grabiszyniek, 9. Huby, 10. Jagodno, 11. Jerzmanowo – Jarnołów – Strachowice – Osiniec, 12. Karłowice – Różanka, 13. Klecina, 14. Kleczków, 15. Kowale, 16. Krzyki – Partynice, 17. Księżę, 18. Kuźniki, 19. Leśnica, 20. Lipa Piotrowska, 21. Maślice, 22. Muchobór Mały, 23. Muchobór Wielki, 24. Nadodrże, 25. Nowy Dwór, 26. Ołbin, 27. Ołtaszyn, 28. Oporów, 29. Osobowice – Rędzin, 30. Pawłowice, 31. Pilczyce – Kozańów – Popowice Płn., 32. Plac Grunwaldzki, 33. Polanowice – Poświętne – Ligota, 34. Powstańców Śląskich, 35. Prace Odrzańskie, 36. Przedmieście Oławskie, 37. Przedmieście Świdnickie, 38. Psie Pole – Zawidawie, 39. Sołtysowice, 40. Stare Miasto, 41. Strachocin – Swojczyce – Wojnów, 42. Szczepin, 43. Świniary, 44. Tarnogaj, 45. Widawa, 46. Wojszyce – Zalesie – Szczytniki, 48. Żerniki.

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Sikorski, Kryczka, 2023)

mieszkańców oraz wysoką atrakcyjnością inwestycyjną (Chądzyńska, 2012). Wrocław jako centralny ośrodek aglomeracji odgrywa rolę regionalnego lidera w zakresie innowacji, przemysłu wysokich technologii oraz usług biznesowych, co czyni go jednym z najważniejszych punktów rozwoju Dolnego Śląska (Kunc i in., 2023; Brezdeń, 2020).

Działalność przemysłowa w aglomeracji wrocławskiej początkowo miała charakter typowo miejski i była związana z rozwojem przemysłu w mieście Wrocław lub dla jego mieszkańców w strefie podmiejskiej. Rozwój był napędzany głównie przez działanie efektów korzyści skali aglomeracji, takich jak dostęp do rozbudowanego rynku zbytu, oraz przez bliskość zasobów surowcowych zlokalizowanych w Sudetach (Slenczek, 1996). Przez dziesięciolecia przemysł stanowił fundamentalny element rozwoju gospodarczego centralnej części aglomeracji, wpływając na kształtowanie jej struktury przestrzennej i społecznej.

Rozwój przemysłu we Wrocławiu rozpoczął się intensywnie w XIX w., kiedy miasto – będące wówczas częścią Prus – stało się ważnym ośrodkiem produkcji maszyn, urządzeń transportowych i chemikaliów. Po II wojnie światowej, w okresie PRL-u, Wrocław przekształcił się w jeden z najważniejszych ośrodków przemysłowych Polski. Powstały

tu zakłady: PaFaWag (produkcja wagonów i lokomotyw), Elwro (elektronika i komputery), Fadroma (maszyny rolnicze) oraz Pollena (chemia gospodarcza; Braszka, 2023)

Historycznie lokalizacja działalności przemysłowej we Wrocławiu była silnie związana z układem komunikacyjnym miasta, obejmującym szlaki zarówno wodne, jak i kolejowe. Takie rozmieszczenie lokalizacji działalności produkcyjnej we Wrocławiu wynikało przede wszystkim z zależności zakładów przemysłowych od dostaw surowców i półfabrykatów przewożonych środkami transportu kolejowego i wodnego lub z powstających więzi kooperacyjnych, tzw. korzyści natury techniczno-technologicznej, jakie mogły wywiązać się między zakładami (Slenczek, 1996).

Po roku 1989, w wyniku transformacji ustrojowej i gospodarczej, rozpoczął się proces deglomeracji, któremu częściowo towarzyszy dekoncentracja działalności przemysłowej, co w niektórych przypadkach wynikało z relokacji poszczególnych podmiotów. W rezultacie znaczna część obszarów przemysłowych we Wrocławiu uległa głębokim przeobrażeniom funkcjonalno-przestrzennym. Przekształcenia te objęły m.in. adaptację terenów poprzemysłowych do nowych funkcji, w tym usługowych i turystycznych, co wpisuje się w szerszy trend rewitalizacji przestrzeni miejskiej (Sikorski, 2019; Sikorski, Kryczka, 2025).

## WYNIKI BADAŃ

**Ogólna charakterystyka działalności przemysłowej.** W latach 2008–2024 liczba podmiotów przemysłowych w aglomeracji wrocławskiej wzrosła z 8739 do 10 275 (+1536; +17,6%), jednak wzrost ten był nierównomierny. O wiele większą dynamiką wzrostu cechowała się strefa podmiejska, gdzie liczba podmiotów przemysłowych wzrosła z 1416 do 2454 (+1038; +73,3%). W tym czasie w rdzeniu aglomeracji – we Wrocławiu – liczba podmiotów przemysłowych wzrosła z 7323 do 7821 (+498; +6,8%). Warto jednak zwrócić uwagę, że mimo zdecydowanie większej dynamiki wzrostu w strefie podmiejskiej rdzeń aglomeracji nadal charakteryzuje się ponad trzykrotnie wyższą bezwzględną liczbą podmiotów przemysłowych (7821 vs 2454; tabela 1).

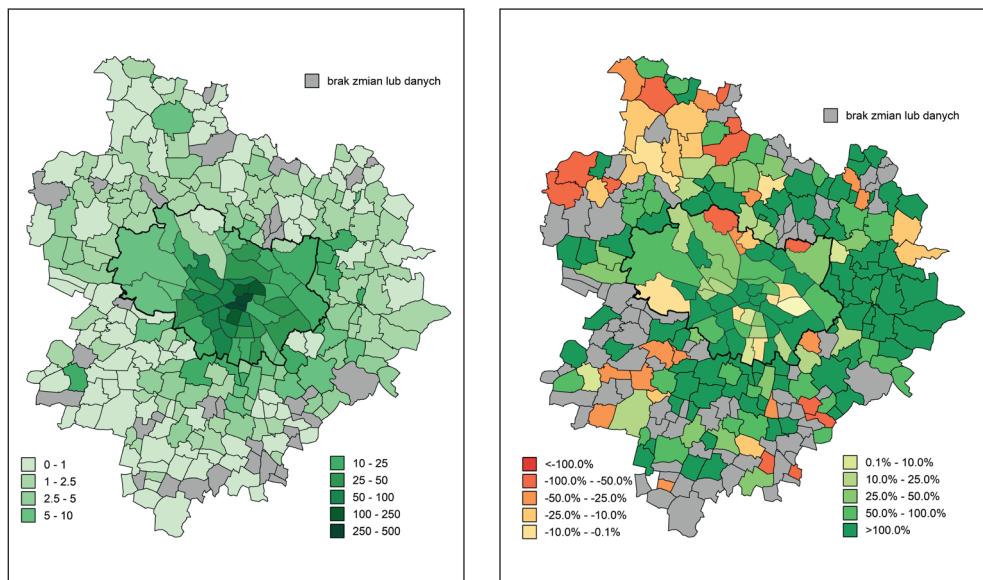
W strefie podmiejskiej największą dynamikę przyrostu zanotowano w gminach Kobierzyce (+172; +119,4%) oraz Czernica (+123; +107,9%). Wysokie tempo wzrostu odnotowano również w gminach Długołęka (+248; +105,1%), Żórawina (+92; +122,7%) oraz Siechnice (+151; +85,8%). Wyjątkiem była gmina Oborniki Śląskie, gdzie liczba podmiotów przemysłowych nieznacznie spadła (-2; -0,8%).

W samym Wrocławiu największy wzrost liczby podmiotów przemysłowych miał miejsce w dzielnicy Stare Miasto (+326; +34,8%), natomiast spadek odnotowano w Śródmieściu (-265; -21,4%). Pozostałe dzielnice wykazały umiarkowany wzrost, szczególnie Krzyki (+234; +13,0%) i Psie Pole (+85; +7,2%).

Analiza rozmieszczenia gęstości podmiotów przemysłowych w 2024 r. wskazuje na współwystępowanie dwóch procesów: koncentracji działalności przemysłowej w rdzeniu aglomeracji oraz stopniowych tendencji deglomeracyjnych widocznych w strefie podmiejskiej. Zjawiska te się nie wykluczają, lecz zachodzą równolegle. We Wrocławiu gęstość podmiotów przemysłowych wynosiła 26,49 podmiotów/km<sup>2</sup>, a tymczasem w strefie podmiejskiej – tylko 1,97 (rycina 2).

Z kolei analiza zmian dynamiki gęstości tych podmiotów w latach 2008–2024 pokazuje, że w rozmieszczeniu działalności przemysłowej stopniowo występuje tendencja do jej coraz większej koncentracji w strefie podmiejskiej – ogólnie wokół Wrocławia (w miejscowościach tuż przy granicy z miastem), w jej części południowej (w miejscowościach

Rycina 2. Gęstość podmiotów przemysłowych w poszczególnych osiedlach i gminach aglomeracji wrocławskiej w 2024 roku i ich zmiana w latach 2008–2024



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy REGON

Tabela 1. Zmiany liczby podmiotów przemysłowych w aglomeracji wrocławskiej w latach 2008 i 2024

Obszar		Podmioty przemysłowe			
		ogółem		wzrost	
				w liczbach	w %
		2008	2024	2008–2024	
strefa podmiejska	Czernica	114	237	+123	+107,9
	Długołęka	236	484	+248	+105,1
	Kąty Wrocławskie	159	255	+96	+60,4
	Kobierzyce	144	316	+172	+119,4
	Miękinia	154	265	+111	+72,1
	Oborniki Śląskie	248	246	-2	-0,8
	Siechnice	176	327	+151	+85,8
	Wisznia Mała	110	157	+47	+42,7
	Żórawina	75	167	+92	+122,7
	ogółem	1416	2454	+1038	+73,3
Wrocław	Fabryczna	2168	2223	+55	+2,5
	Krzyki	1802	2036	+234	+13,0
	Psie Pole	1176	1261	+85	+7,2
	Stare Miasto	938	1264	+326	+34,8
	Śródmieście	1239	974	-265	-21,4
	b. d.	-	63	+63	-
ogółem	7323	7821	+498	+6,8	
aglomeracja wrocławska		8739	10275	+1536	+17,6

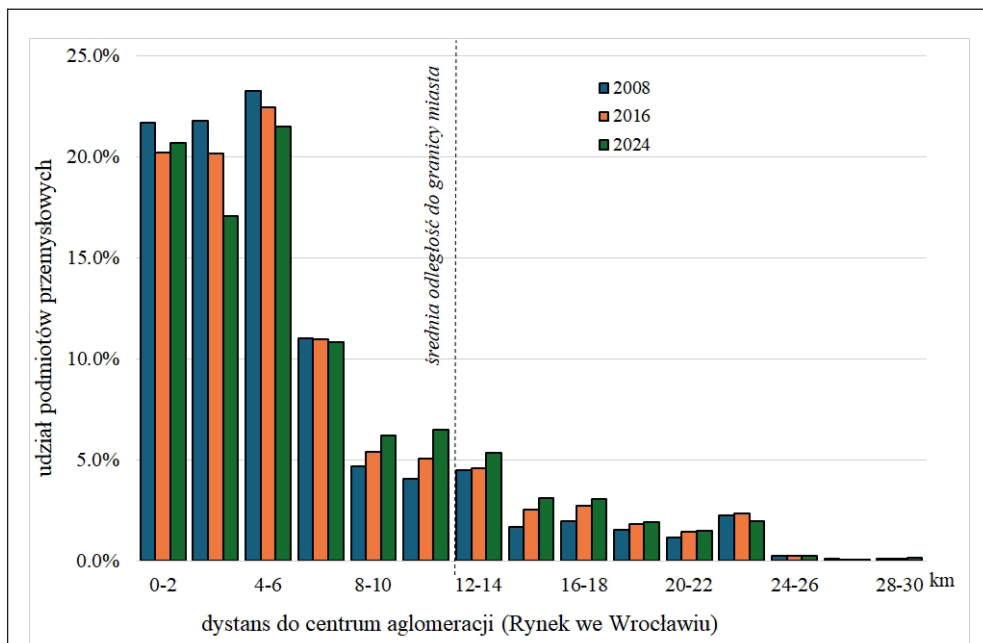
Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy REGON

gm. Siechnice i Kobierzyce) oraz w jej części wschodniej (głównie w miejscowościach gm. Długołęka i Czernica).

Wzrost gęstości w centrum nie przeczy tendencjom deglomeracyjnym, ponieważ odnoszą się one do zmiany udziałów przestrzennych działalności, a nie do bezwzględnej gęstości w jednej strefie.

Rozmieszczenie podmiotów przemysłowych w strefach odległości od centrum aglomeracji, czyli od rynku we Wrocławiu, wykazuje powolny, ale stopniowy proces deglomeracji przemysłu badanej aglomeracji w latach 2008–2024. W badanym okresie udział podmiotów przemysłowych zmalał z 43,5% do 37,7% (–5,8 p.p.) w strefie do 4 km od centrum aglomeracji, a wzrósł tuż przy granicy miasta Wrocław, zarówno w obrębie miasta, jak i w miejscowościach bezpośrednio graniczących z miastem – z 18,4% do 26,1% (+7,7 p.p.) w strefie 8–20 km od rynku we Wrocławiu (rycina 3).

Rycina 3. Struktura rozmieszczenia podmiotów przemysłowych w strefach odległościowych od centrum Wrocławia w latach 2008 i 2024



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy REGON

**Struktura wielkościowa podmiotów przemysłowych.** We Wrocławiu, tak jak w całej aglomeracji wrocławskiej, dominują podmioty przemysłowe – tzw. mikroprzedsiębiorstwa – zatrudniające do dziewięciu pracowników. Ich udział w ogólnej liczbie podmiotów przemysłowych przez cały badany okres oscylował na poziomie zbliżonym do 90%. Cechą charakterystyczną jest to, że w latach 2008–2024 liczba mikroprzedsiębiorstw przemysłowych w strefie podmiejskiej wzrosła z 1220 do 1908 (zmiana udziału z 86,2% do 90,4%), a we Wrocławiu zmalała z 6683 do 5504 (zmiana udziału 91,3% do 92,4%; tabela 2). Zjawisko to wynika z faktu, że liczba większych przedsiębiorstw zmniejszała się w badanym okresie szybciej niż liczba mikroprzedsiębiorstw, co skutkowało wzrostem ich udziału procentowego – mimo spadku wartości bezwzględnych.

Tabela 2. Struktura wielkościowa podmiotów przemysłowych w aglomeracji wrocławskiej w latach 2008 i 2024

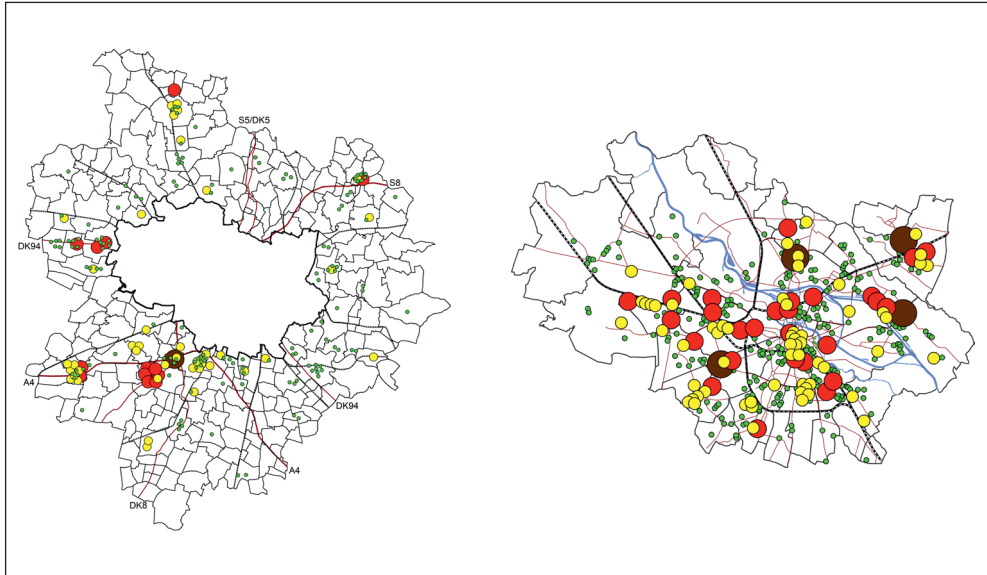
Obszar		Wielkość podmiotów przemysłowych										b.d.
		0-9		10-49		50-249		250-999		> 1000		
		ogółem										
		2008	2024	2008	2024	2008	2024	2008	2024	2008	2024	
strefa podmiejska	Czernica	105	194	7	10	2	1	-	-	-	-	32
	Długołęka	206	391	22	27	8	6	-	1	-	-	59
	Kąty Wrocławskie	130	193	20	14	7	11	2	2	-	1	34
	Kobierzyce	111	199	15	19	9	12	7	6	2	1	79
	Miękinia	127	201	15	29	5	3	1	3	-	-	35
	Oborniki Śląskie	218	209	20	14	6	5	1	1	-	-	20
	Siechnice	158	258	16	19	5	2	-	-	-	-	45
	Wisznia Mała	94	126	15	9	1	1	-	-	-	-	21
	Żórawina	71	137	10	5	-	-	-	-	-	-	19
b.d.	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ogółem	1220	1908	140	146	43	41	11	13	2	2	344
Wrocław	Fabryczna	1986	1676	141	124	29	21	10	8	2	1	393
	Krzyki	1638	1416	122	85	37	18	3	5	2	-	512
	Psie Pole	1028	942	111	73	28	13	6	6	3	3	224
	Stare Miasto	858	687	61	43	15	9	4	5	-	-	520
	Śródmieście	1173	747	56	31	8	4	2	3	-	-	189
	b.d.	-	36	-	2	-	-	-	1	-	-	-
	ogółem	6683	5504	491	358	117	65	25	28	7	4	1862
aglomeracja wrocławska		7903	7412	631	504	160	106	36	41	9	6	2206

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy REGON

Analiza lokalizacji największych podmiotów przemysłowych w badanej aglomeracji wrocławskiej w 2024 r. pokazuje, że we Wrocławiu bardzo duże podmioty przemysłowe (powyżej 1000 pracujących) są zlokalizowane w śródmieściu lub na obrzeżach miasta. Ponadto zauważalne są w tym rozmieszczeniu tendencje tych podmiotów do lokalizacji wzdłuż linii transportowych wyższego rzędu w postaci linii kolejowych lub głównych arterii miasta. Z kolei w strefie podmiejskiej lokalizacja największych podmiotów przemysłowych jest ściśle związana z przebiegiem dróg kołowych najwyższych kategorii, np. koło tzw. Węzła Bielany Wrocławskie i wzdłuż autostrady A4 są zlokalizowane wszystkie podmioty przemysłowe zatrudniające powyżej 1000 pracowników w Biskupice Podgórne (gm. Kobierzyce) i Nowa Wieś Wrocławska (gm. Kąty Wrocławskie) oraz osiem z 13 zakładów przemysłowych zatrudniających od 250 do 999 pracujących. Duże znaczenie ma także droga krajowa nr 94 w zachodniej części aglomeracji, gdzie dodatkowo są zlokalizowane jeszcze trzy tego rodzaju podmioty (dwa w Wróblowicach i jeden w Błoniach w gm. Miękinia; rycina 4).

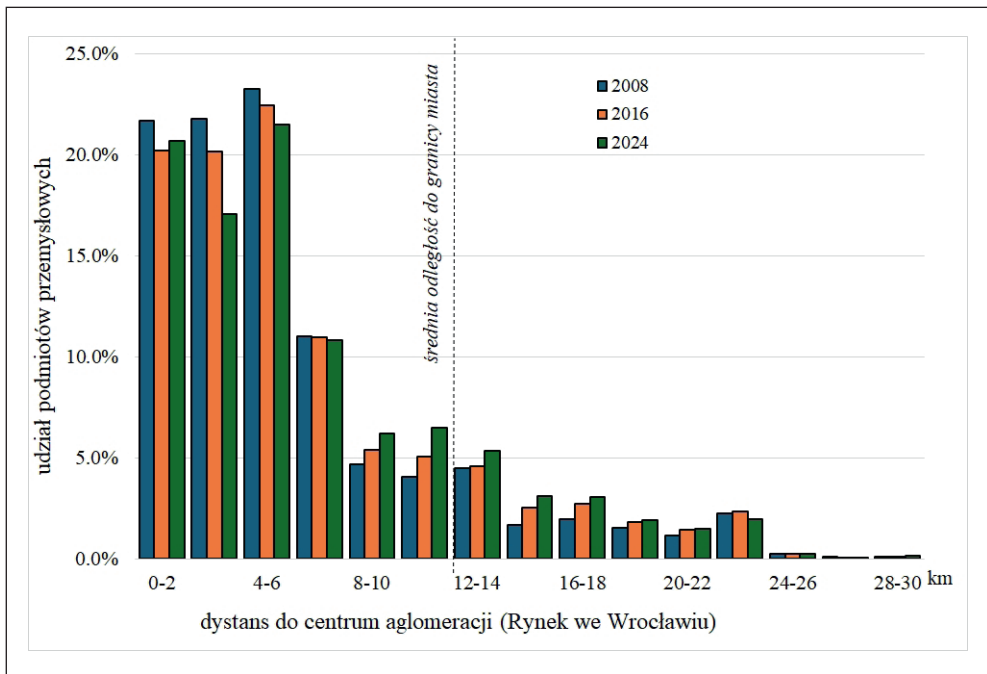
Rozmieszczenie podmiotów przemysłowych zatrudniających powyżej 10 pracowników w strefach odległości od centrum aglomeracji także wykazuje stopniową tendencję do deaglomeracji w latach 2008–2024. W badanym okresie udział podmiotów przemysłowych zmalał z 35,2% do 29,2% (-6,0 p.p.) w strefie do 4 km od centrum aglomeracji, a wzrósł tuż przy granicy miasta Wrocław – zarówno w obrębie miasta, jak i w miejscowościach bezpośrednio graniczących z miastem – z 25,2% do 32,3% (+7,1 p.p.) w strefie 8–20 km od rynku we Wrocławiu (rycina 5).

Rycina 4. Rozmieszczenie podmiotów przemysłowych zatrudniających powyżej 10 pracowników w aglomeracji wrocławskiej w 2024 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy REGON

Rycina 5. Struktura rozmieszczenia podmiotów przemysłowych zatrudniających powyżej 10 pracowników w strefach odległości od centrum aglomeracji wrocławskiej w latach 2008 i 2024



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy REGON

**Struktura gałęziowa podmiotów przemysłowych.** We Wrocławiu i w całej aglomeracji wrocławskiej dominują cztery główne branże przemysłu: elektromaszynowa, metalowa, chemiczna oraz spożywcza. W latach 2008–2024 liczba podmiotów zaliczanych do tych gałęzi wzrosła łącznie z 4014 do 5199 (+1185 podmiotów), a udział w ogólnej liczbie podmiotów zwiększył się z 45,9% do 50,6% (+ 4,7 p.p.). Co ciekawe, wzrost ten aglomeracja wrocławska zawdzięcza głównie miastu Wrocław, gdzie liczba podmiotów zwiększyła się z 3214 do 3848 (+634), a udział z 43,9% do 49,2% (+5,3 p.p.). Natomiast liczba podmiotów przemysłowych tych gałęzi w strefie podmiejskiej uległa zmianie z 800 do 1351 (+551), ale w wartościach bezwzględnych ich znaczenie zmalało z 56,5% do 55,1% na tym obszarze (-1,4 p.p.).

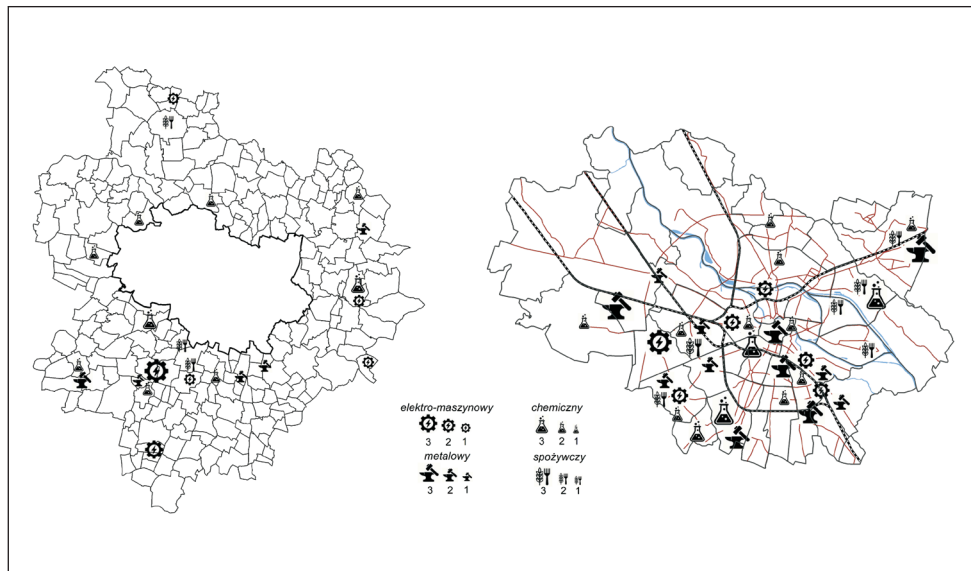
Najliczniej reprezentowaną gałęzią przemysłu na badanym obszarze był przemysł elektromaszynowy, który wykazał wzrost z 1307 do 1970 podmiotów (+663; +50,7%), głównie dzięki intensywnemu rozwojowi w strefie podmiejskiej, gdzie w latach 2008–2024 przybyło aż 270 podmiotów przemysłowych tego rodzaju (z 185 do 455; +145,9%). Drugie miejsce pod względem liczebności zajmuje przemysł metalowy, który wzrósł z 1234 do 1395 podmiotów (+13,0%), głównie w strefie podmiejskiej (z 257 do 425; +168; +65,4%). Wzrost odnotowano także w przypadku działalności spożywczej, gdzie liczba podmiotów zwiększyła się z 486 do 894 (+508; +84,0%), głównie dzięki wzrostowi w mieście Wrocław (z 340 do 691; +351; +103,2%). Z kolei działalność chemiczna, trzecia pod względem liczebności, wykazała globalny spadek z 987 do 940 podmiotów (-47; -4,8%), głównie dzięki redukcji liczebności we Wrocławiu (z 775 do 672; -103; -13,3%; tabela 3).

Tabela 3. Struktura gałęziowa podmiotów przemysłowych w aglomeracji wrocławskiej w latach 2008 i 2024

Gmina		Struktura gałęziowa przemysłu									
		elektromaszynowy		metalowy		chemiczny		spożywczy		pozostałe	
		liczba podmiotów									
		2008	2024	2008	2024	2008	2024	2008	2024	2008	2024
strefa podmiejska	Czernica	16	48	17	47	28	32	6	4	47	106
	Długołęka	26	97	54	80	41	55	22	29	93	223
	Kąty Wrocławskie	29	38	27	42	23	30	20	32	60	113
	Kobierzyce	31	70	20	47	23	33	18	36	52	130
	Miękinia	9	44	38	62	20	28	21	21	66	110
	Oborniki Śl.	23	30	31	35	25	24	24	29	145	128
	Siechnice	28	69	29	52	23	29	17	30	79	147
	Wisznia Mała	10	27	33	37	15	22	10	12	42	59
Żórawina	13	32	8	23	14	15	8	10	32	87	
	ogółem	185	455	257	425	212	268	146	203	616	1103
Wrocław	Fabryczna	365	511	339	334	222	186	89	149	1153	1043
	Krzyki	279	396	227	244	187	180	83	178	1026	1038
	Psie Pole	163	227	202	195	141	150	60	88	610	601
	Stare Miasto	131	208	106	110	89	93	35	105	577	748
	Śródmieście	184	173	103	87	136	63	73	171	743	480
		ogółem	1122	1515	977	970	775	672	340	691	4109
aglomeracja wrocławska		1307	1970	1234	1395	987	940	486	894	4725	5076

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z bazy REGON

Rycina 6. Rozmieszczenie największych podmiotów z przemysłu elektromaszynowego, metalowego, chemicznego i spożywczego w aglomeracji wrocławskiej w 2024 r.

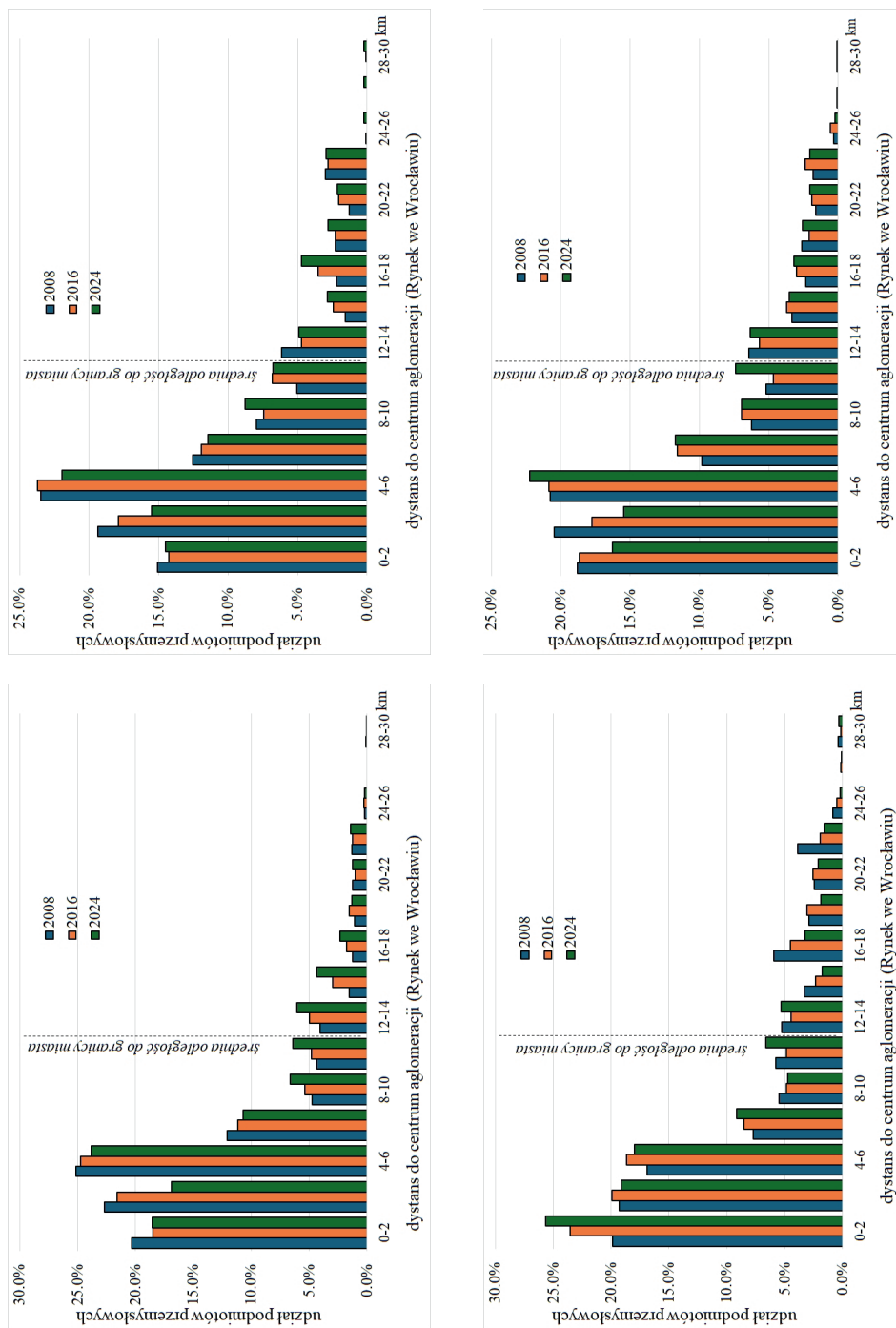


Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy REGON

Analiza rozmieszczenia największych podmiotów przemysłowych z przemysłu elektromaszynowego, metalowego, chemicznego i spożywczego we Wrocławiu i w aglomeracji wrocławskiej w 2024 r. pokazuje, że największa koncentracja tego rodzaju zakładów przemysłowych występuje głównie we Wrocławiu, w jej części południowej i północno-zachodniej, a w strefie podmiejskiej – w jej części południowej, głównie przy tzw. węźle Bielany Wrocławskie (np. Biskupice Podgórne w gm. Kobierzyce) i wzdłuż autostrady A4 (np. Kąty Wrocławskie; rycina 6).

Analiza rozmieszczenia podmiotów przemysłowych reprezentujących największe gałęzie przemysłu Wrocławia i aglomeracji wrocławskiej w strefach odległości od centrum miasta wskazuje, że w większości przypadków obserwuje się tendencję do deglomeracji. W przypadku przemysłu elektromaszynowego udział podmiotów przemysłowych w latach 2008–2024 spadał do odległości 8 km od centrum Wrocławia (z 80,2% do 70,0%; -10,2 p.p.), a następnie stopniowo rósł. Podobnie w przemyśle metalowym – odległość do 8 km od centrum rdzenia aglomeracji była tą odległością, przy której notowano spadek koncentracji działalności (z 70,5% do 63,4%; -7,1 p.p.). Z kolei w przemyśle chemicznym deglomerację jej podmiotów widoczna była do odległości do 4 km od centrum miasta (z 39,3% do 31,7%; -7,5 p.p.). Całkowicie odmiennie prawidłowości w zmianie koncentracji rozmieszczenia podmiotów wykazuje przemysł spożywczy. W tym przypadku w badanym okresie odnotowano wzrost koncentracji tej działalności w strefach odległości od centrum Wrocławia do odległości 14 km (z 80,2% do 88,7%; +8,5 p.p.; rycina 7).

Rycina 7. Struktura rozmieszczenia podmiotów przemysłowych z gałęzi elektromaszynowej (A), metalowej (B), chemicznej (C) i spożywczej (D) w strefach odległości od centrum aglomeracji wrocławskiej w latach 2008 i 2024



Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy REGON

## DISKUSJA

Opisane powyżej przemiany liczebności, rozmieszczenia oraz struktury działalności produkcyjnej w aglomeracji wrocławskiej w latach 2008–2024 wpisują się w szerszy kontekst procesów zachodzących w aglomeracjach miejskich w Polsce i w całej Europie. Jak wykazały analizy, na badanym obszarze szczególnie widoczna jest tendencja do deglomeracji przemysłu, czyli do stopniowego przesuwania działalności produkcyjnej z centrum miasta na jego obrzeża oraz do strefy podmiejskiej. Proces ten jest efektem czynników zarówno ekonomicznych, jak i przestrzennych – takich jak dostępność terenów inwestycyjnych, niższe koszty działalności, a także lepsza dostępność transportowa w obszarach peryferyjnych (Rodrigue, Comtois, Slack, 2017) – i występował on lub wciąż występuje w wielu częściach Europy, np. w Hiszpanii (Escalona-Orcao, Climent-López, 2012) czy we Francji (Gros-Balthazard, Talandier, 2023).

Mimo postępującej deglomeracji przemysłu w aglomeracji wrocławskiej jej rdzeń w postaci miasta Wrocławia nadal odgrywa najważniejszą rolę w strukturze przemysłowej regionu, choć jego udział w liczbie podmiotów przemysłowych systematycznie maleje (o 7,7 p.p.; z 83,8% do 76,1% w latach 2008–2024). Z kolei gminy podmiejskie, takie jak Długołęka, Kobierzyce czy Siechnice, cechują się dynamicznym wzrostem liczby zakładów przemysłowych (Długołęka: +248; Kobierzyce: +172; Siechnice: +151), co potwierdza tezę o deglomeracji funkcji produkcyjnych w badanej aglomeracji. Podobne zjawiska są obserwowane w innych aglomeracjach europejskich, gdzie przemysł coraz częściej lokalizuje się w strefie podmiejskiej aglomeracji miejskich, korzystając ze wspomnianych już przewag konkurencyjnych względem rdzenia aglomeracji w postaci dostępności przestrzeni lub niższych kosztów działalności (Rodrigue, Comtois, Slack, 2017; Sägeatä i in., 2023).

Deglomeracja przemysłu znajduje odzwierciedlenie również w strukturze wielkościowej podmiotów przemysłowych funkcjonujących w aglomeracji wrocławskiej. W latach 2008–2024 liczba przedsiębiorstw przemysłowych zatrudniających powyżej 10 pracowników na terenie Wrocławia zmniejszyła się z 640 do 455, co oznacza spadek o 28,9%. W tym samym okresie w strefie podmiejskiej odnotowano niewielki wzrost liczby takich podmiotów – z 196 do 202, czyli o 3,1%.

Z kolei analiza przyrostu branż przemysłowych najliczniej reprezentowanych w aglomeracji wrocławskiej (przemysłu elektromaszynowego, metalowego, chemicznego i spożywczego) nie wykazuje cech typowych dla deglomeracji (spadek w rdzeniu, wzrost na peryferiach; rycina 7). Jednocześnie dowodzi ona, że tempo przyrostu jest o wiele większe w strefie podmiejskiej. W latach 2008–2024 podmioty z tych branż we Wrocławiu były początkowo reprezentowane przez 3 214 jednostek w 2008 r., a w 2024 r. – już przez 3 848 (+19,7%). W strefie podmiejskiej tych podmiotów było 800 w roku 2008, a w roku 2024 – 1 351 (+68,9%).

Na podstawie analizy rozmieszczenia podmiotów przemysłowych (ryciny 2, 4 i 6) można dojść do wniosku, że kluczowe znaczenie w kształtowaniu ich przestrzennego układu mają czynniki dostępności – zarówno transportowej, jak i infrastrukturalnej. W aglomeracji wrocławskiej szczególną rolę w tym zakresie odgrywają m.in. Węzeł Bielany Wrocławskie, autostrada A4, drogi krajowe nr 5 i nr 94 oraz główne linie kolejowe, które stanowią główne osie koncentracji dużych zakładów przemysłowych. Zgodnie z ustaleniami M. Slenczka (1996) czynniki dostępności odgrywały istotną rolę dla lokalizacji działalności przemysłowej w aglomeracji wrocławskiej również w przeszłości.

Z tą różnicą, że w ostatnich dekadach zauważalny jest coraz większy wzrost znaczenia dla lokalizacji działalności przemysłowej osi transportowych i wyposażenia infrastrukturalnego w strefie podmiejskiej i spadek jej roli wewnątrz samego miasta Wrocław.

Przeprowadzone badania wykazują także, że w znacznej mierze profil działalności przemysłowej aglomeracji wrocławskiej na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat istotnie się nie zmienił. Badania M. Slenczka (1996) wykazały, że w aglomeracji wrocławskiej w latach 90. XX w. dominował przemysł metalowy i maszynowy, który w okresie prosperity skupiał ponad 50% ogółu zatrudnionych w przemyśle. Rozwinięty był wtedy także przemysł środków transportu, precyzyjny, elektrotechniczny i elektroniczny (Slenczek, 1996). W ostatnich latach największe znaczenie w aglomeracji wrocławskiej ma przemysł elektromaszynowy, metalowy, chemiczny oraz spożywczy, które skupiają łącznie ponad połowę (50.6%) tamtejszych podmiotów przemysłowych.

Na zakończenie warto podkreślić, że rozwój funkcji przemysłowej w strefie podmiejskiej dużych miast generuje wielowymiarowe skutki o zróżnicowanym charakterze. Z jednej strony dekoncentracja przemysłu sprzyja poprawie jakości środowiska w rdzeniu aglomeracji, redukując emisje zanieczyszczeń i hałas, co jest zgodne z postulatem zrównoważonego rozwoju (Sikorski, Kryczka, 2023; Kryczka, 2024). Z drugiej strony przenoszenie działalności przemysłowej poza obszary centralne prowadzi do rozproszenia przestrzennego i osłabienia mechanizmów koordynacji, co w warunkach słabej hierarchizacji planowania oraz outsourcingu usług planistycznych sprzyja powstawaniu chaosu przestrzennego i generuje wysokie koszty społeczne oraz infrastrukturalne (Śleszyński, 2013; Belof, Kryczka, 2025). Symptomy tych procesów są coraz bardziej widoczne w aglomeracji wrocławskiej, gdzie obserwuje się dominację pojedynczej funkcji w strefach podmiejskich oraz brak integracji planów na różnych poziomach, co potwierdzają zarówno analizy wskaźników zróżnicowania przestrzennego, jak i opinie ekspertów (Kryczka, 2024).

## PODSUMOWANIE

Analiza zmian rozmieszczenia i struktury przemysłu aglomeracji wrocławskiej w latach 2008–2024 ujawnia istotne zmiany zachodzące w tym aspekcie. Wrocław jako rdzeń aglomeracji utrzymuje swoją pozycję jako główny ośrodek przemysłowy, jednak w ostatnich latach dynamika wzrostu liczby zakładów przemysłowych jest znacznie wyższa w strefie podmiejskiej. Gminy takie jak Kobierzyce, Długołęka czy Czernica stały się nowymi biegunami rozwoju przemysłu na badanym obszarze, co wskazuje na wyraźny proces deglomeracji działalności produkcyjnej.

Proces ten jest zgodny z obserwacjami w innych aglomeracjach europejskich, gdzie przemysł przenosi się na obrzeża miast, w pobliże głównych arterii komunikacyjnych i węzłów transportowych (Hall, Pain, 2006; Rodrigue, Comtois, Slack, 2017; Sägeată i in., 2023). W aglomeracji wrocławskiej szczególną rolę w zaobserwowanych zmianach odgrywa infrastruktura drogowa i kolejowa – zwłaszcza Węzeł Bielany Wrocławskie, autostrada A4, droga krajowa nr 5 i nr 94 oraz główne linie kolejowe aglomeracji – która sprzyja lokalizacji dużych zakładów przemysłowych w miejscowościach takich jak Biskupice Podgórne (gm. Kobierzyce) czy Nowa Wieś Wrocławska (gm. Kąty Wrocławskie).

Dzięki przeprowadzonym badaniom stwierdzono trwałą dominację mikroprzedsiębiorstw w strukturze przemysłu przy jednoczesnym przesuwaniu większych zakładów w kierunku obszarów podmiejskich, zwłaszcza wzdłuż głównych korytarzy

transportowych. W ujęciu branżowym największe znaczenie zachowały sektory elektromaszynowy, metalowy, chemiczny i spożywczy. Oznacza to, że w aglomeracji wrocławskiej nadal występuje względna stabilność profilu gałęziowego przemysłu. Równocześnie obserwuje się jego przestrzenną relokację ku strefie podmiejskiej, szczególnie w przypadku przemysłu elektromaszynowego i metalowego. Kluczowymi czynnikami kształtującymi rozmieszczenie działalności przemysłowej są dostępność infrastruktury transportowej, dostępność terenów inwestycyjnych oraz niższe koszty lokalizacji w strefie podmiejskiej.

Wnioski płynące z niniejszej analizy mają istotne znaczenie dla polityki przestrzennej i planowania rozwoju regionalnego. Wskazują one na potrzebę zintegrowanego podejścia do zarządzania przestrzenią aglomeracyjną, uwzględniającego zarówno rozwój infrastruktury, jak i zrównoważone rozmieszczenie funkcji przemysłowych. W kontekście dalszych badań warto pogłębić analizę wpływu lokalnych polityk gminnych na lokalizację przemysłu oraz zbadać efektywność ekonomiczną różnych typów podmiotów przemysłowych w zależności od ich lokalizacji.

## Literatura

## References

- Belof, M., Kryczka, P. (2025). Challenges in outsourcing local spatial planning in Poland: is legal procedure the last remaining safeguard in the democratic decision-making process?. *Planning Practice & Research*, 1–27. doi: <https://doi.org/10.1080/02697459.2025.2528252>
- BDL. (2024). *Bank Danych Lokalnych*. Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Braszka, M. (2023). *Dawne wrocławskie zakłady pracy z okresu PRL-u: Pafawag, Fadroma, Elwro i Pollena*. Pozysskano z: <https://kochamwroclaw.pl/dawne-wroclawskie-zaklady-pracy-z-okresu-prl-u-pafawag-fadroma-elwro-i-pollena-czesc-1/> (dostęp: 30.11.2025).
- Brezdeń, P. (2004). Wpływ bezpośrednich inwestycji zagranicznych na rozwój regionalnej i lokalnej przestrzeni gospodarczej w województwie dolnośląskim. *Biuletyn KPZK PAN*, 211, 499–518.
- Brezdeń, P. (2006). Uwarunkowania bezpośrednich inwestycji zagranicznych i ich wpływ na umiędzynarodowienie działalności gospodarczej w województwie dolnośląskim. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 8, 60–73.
- Brezdeń, P. (2020). Innowacyjność a zmiany struktury przestrzennej przemysłu na przykładzie Śląska. *Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego*, 46.
- Brezdeń, P. (2023). Działalność przemysłowa i jej struktura przestrzenna w czasie trwania pandemii COVID-19 w Polsce. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 37(2), 7–24. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.372.1>
- Brezdeń, P., Spallek, W. (2008). Specjalne strefy ekonomiczne w przestrzeni gospodarczej województwa dolnośląskiego. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 10, 216–230.
- Brezdeń, P., Spallek, W. (2012). Pro-development institutions (parks and incubators) in the activation of the Polish economy. *Regional Development and Planning*, 3, 10–19.
- Brezdeń, P. (2024). Geografia przemysłu w Uniwersytecie Wrocławskim w latach 1990–2024. W: W. Killar (red.), *Problematyka badawcza geografii przemysłu w wybranych krajowych ośrodkach akademickich w latach 1996–2024*. Kraków: UKEN, 81–95.
- Celińska-Janowicz, D. (2016). Rejestry podmiotów jako źródła danych w analizach lokalizacji działalności gospodarczej w mikroskali. *Wiadomości Statystyczne*, 1, 27–43.
- Chądzyńska, E. (2012). Rozwój wybranych funkcji w aglomeracji wrocławskiej. *Studia Miejskie*, 7, 37–48.
- Dusza-Zwolińska, E., Kiepas-Kokot, Ł. (2020). Relokacja wewnątrzmijska przemysłu w strukturze przestrzennej Szczecina. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 34(4), 38–54.

- Escalona-Orcao, A.I., Climent-López, E.A. (2012). Factors and limits of interurban industrial decentralization: The case of Zaragoza (Spain). *European Urban and Regional Studies*, 21(1), 5–25. doi: <https://doi.org/10.1177/0969776411428561>
- Golachowski, S. (1966). Zagłębie Turoszowskie i Okręg Miedziowy. W: S. Golachowski, A. Jahn, W. Walczak (red.), *X Ogólnopolski Zjazd PTG. Przewodnik wycieczkowy*. Wrocław: PTG, 147–167.
- Gros-Balthazard, M., Talandier, M. (2023). Re-industrialization: the role of small and medium-sized cities in France and Europe. *EchoGéo*, 63. doi: <https://doi.org/10.4000/echo-geo.25035>
- Gwosdz, K. (2019). Czynniki i mechanizmy de- i re-industrializacji wybranych okręgów i miast przemysłowych w Polsce. *EUROREG*, Uniwersytet Warszawski. Pozyskano z: [https://www.euroreg.uw.edu.pl/dane/web\\_euroreg\\_seminary\\_files/1255/gwosdz\\_czynniki\\_deindustrializacji\\_reindustrializacji\\_04.04.19.pdf](https://www.euroreg.uw.edu.pl/dane/web_euroreg_seminary_files/1255/gwosdz_czynniki_deindustrializacji_reindustrializacji_04.04.19.pdf) (dostęp: 30.11.2025).
- Gyurkovich, M., Gyurkovich, J. (2021). New housing complexes in post-industrial areas in city centres in Poland versus cultural and natural heritage protection – with a particular focus on Cracow. *Sustainability*, 13(1), 418. doi: <https://doi.org/10.3390/su13010418>
- Hall, P., Pain, K. (2006). *The Polycentric Metropolis: Learning from Mega-City Regions in Europe*. Earthscan.
- Jabłoński, M., Kilar, W. (2024). Zróżnicowanie i dynamika działalności przemysłowej w Polsce w latach 2005–2020. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 38(2), 29–47. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.382.2>
- Jeżowski, K. (1961). *Rozwój i rozmieszczenie przemysłu na Dolnym Śląsku w okresie kapitalizmu*. Wrocław: Ossolineum.
- Korcznik, S. (1994). *Problemy restrukturyzacji regionów depresji na przykładzie Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Praca doktorska, Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu.
- Krzysztofik, R., Szymytkie, R. (2018). Procesy depopulacji w Polsce w świetle zmian bazy ekonomicznej miast. *Przegląd Geograficzny*, 90(2), 309–329. Pozyskano z: [https://rcin.org.pl/Content/66307/PDF/WA51\\_85837\\_r2018-t90-z2\\_Przeg-Geogr-Krzysztof.pdf](https://rcin.org.pl/Content/66307/PDF/WA51_85837_r2018-t90-z2_Przeg-Geogr-Krzysztof.pdf) (30.11.2025).
- Kryczka, P. (2024). Unravelling the paradox of spatial homogeneity: An analysis of land use planning and monofunctional development in Wrocław, Poland. *Land Use Policy*, 144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107247>
- Kunc, J., Sikorski, D., Novotná, M., Brezdeň, P., Ilnicki, D., Tonev, P., Marek, A. (2023). Industrial legacy towards modern urban environment: a comparative study of Wrocław and Brno. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, 61(61), 71–92. doi: <http://doi.org/10.12775/bgss-2023-0026>
- Łoboda, J., Slenczek, M. (1997). Dorobek ośrodka wrocławskiego w zakresie geografii przemysłu. *Acta Universitatis Wratislaviensis*, 1999, 5–13.
- Małycha, A. (2025). *Aglomeracje bez ustawy? Dlaczego Polska traci potencjał rozwoju*. Pozyskano z: <https://www.salon24.pl/newsroom/1450463,aglomeracje-bez-ustawy-dlaczego-polska-traci-potencjal-rozwoju> (dostęp: 30.11.2025).
- Mastalerz, A. (2017). Przekształcenia terenów poprzemysłowych a rewitalizacja – sytuacja w mniejszych ośrodkach na przykładzie Tomaszowa Mazowieckiego i Pabianic. W: P. Trzepacz, A. Warchalska-Troll (red.), *Rewitalizacja miast. Teoria, narzędzia, doświadczenia*. Kraków, 159–184.
- Micek, G., Pietrzak, M., Fiedeń, Ł. (2022). Czasowo-przestrzenna ewolucja i czynniki kształtujące rozmieszczenie przemysłu wysokiej techniki w polskich gminach. *Prace Geograficzne*, 167, 91–117.
- Modern Concrete. (2024). *Rewitalizacja terenów poprzemysłowych w Polsce*. Pozyskano z: <https://www.modernconcrete.pl/rewitalizacja-terenow-poprzemyslowych/> (dostęp: 30.11.2025).
- Mytnik, P. (2022). Przestrzenie produkcji miejskiej. *Przestrzenie Urbanistyki i Architektury*, 2, 7–14.
- Raczyk, A. (2009). Metody badania przedsiębiorczości oparte na rejestrze podmiotów gospodarki narodowej. *Przedsiębiorczość – Edukacja*, 5, 133–146.
- Rodrigue, J.-P., Comtois, C., Slack, B. (2017). *The Geography of Transport Systems* (4th ed.). Routledge.

- Sagan, M., Olchowska, P. (2020). Procesy deindustrializacji i reindustrializacji przestrzeni miejskich na przykładzie Lublina. *Przegląd Prawno-Ekonomiczny*, 4, 131–151. doi: <https://doi.org/10.31743/ppe.9947>
- Săgeată, R., Mitrică, B., Cercloux, A.-L., Grigorescu, I., Hardi, T. (2023). Deindustrialization, Tertiariation and Suburbanization in Central and Eastern Europe. Lessons Learned from Bucharest City, Romania. *Land*, 12, 1731. doi: <https://doi.org/10.20944/preprints202307.2134.v1>
- Scott, A.J. (2001). *Global City-Regions: Trends, Theory, Policy*. Oxford University Press.
- Sikorski, D. (2019). Wybrane kierunki i aspekty przemian funkcjonalnych terenów przemysłowych we Wrocławiu w latach 1989–2016. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 33(4), 227–240. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.334.14>
- Sikorski, D., Kryczka, P. (2023). Deconcentration of Industrial Activity as a Constituent of Sustainable Urban Development in a Post-Socialist City: A Case Study of Wrocław, Poland. *Sustainability*, 15(14), 14980. doi: <https://doi.org/10.3390/su152014980>
- Slenczek, M. (1994). Rozwój i przemiany przemysłu na Dolnym Śląsku. W: J.Łoboda J. (red.), *Przemiany ludnościowo-osadnicze i społeczno-gospodarcze na Dolnym Śląsku po II wojnie światowej. Acta Universitatis Wratislaviensis. Studia Geograficzne*, 61, 99–131.
- Slenczek, M. (1996). Przemiany struktury przestrzennej przemysłu w aglomeracji wrocławskiej. W: J.Łoboda (red.), *Struktura przestrzenna przemysłu w Polsce*. Wrocław: Uniwersytet Wrocławski, 123–138.
- Śleszyński, P. (2013). *Delimitacja miejskich obszarów funkcjonalnych stolic województw*. Warszawa: IGiPZ PAN.
- Walczak, W. (1969). *Stara i nowa miedź Dolnego Śląska. Poznaj Świat*, 1.
- Wójcik, J. (2011). *Przemiany wybranych komponentów środowiska przyrodniczego rejonu wałbrzyskiego w latach 1975–2000 w warunkach antropopresji*. Wrocław: Uniwersytet Wrocławski.
- Wyszyńska, K. (2024). *Dawne fabryki w Polsce zyskują nowe życie. Oto najciekawsze rewitalizacje*. Pozyskano z: <https://obiektkomercyjne.muratorplus.pl/inwestycje/dawne-fabryki-w-polsce-zyskuja-nowe-zycie-oto-najciekawsze-rewitalizacje-obiektow-przemyslowych-aa-cGAw-a2w1-doMx.html> (dostęp: 30.11.2025).

**Dominik Sikorski**, dr, adiunkt, Uniwersytet Wrocławski, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Zakład Geografii Społeczno-Ekonomicznej. Jego zainteresowania badawcze koncentrują się na procesach transformacji terenów przemysłowych w miastach, ze szczególnym uwzględnieniem ich przemian funkcjonalnych i przestrzennych. Prowadzi również badania w zakresie geografii społecznej (m.in. organizacje pozarządowe, mechanizm 1,5%), geografii miast (analizy morfologiczne) oraz geografii historycznej. Autor blisko 60 publikacji naukowych.

**Dominik Sikorski**, PhD, an assistant professor in the Department of Socio-Economic Geography at the Institute of Geography and Regional Development, University of Wrocław. His research interests are focused on transformation processes of industrial areas in the cities, especially their functional changes. In addition, he conducts research in the field of social geography (NGO, 1,5% allocation), cities (morphological research) and historical geography. He is the author of nearly 60 research papers.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2612-3490>

**Adres / Address:**

Uniwersytet Wrocławski  
Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego  
Zakład Geografii Społeczno-Ekonomicznej  
Pl. Uniwersytecki 1  
50-137 Wrocław, Polska  
e-mail: dominik.sikorski@uwr.edu.pl



JAN SMUTEK

Instytut Studiów Regionalnych, Szczecin, Polska

## Wpływ dużych ekonomicznych szoków na wyniki finansowe morskich farm wiatrowych na przykładzie farm na Morzu Północnym w wyłącznej strefie ekonomicznej Niemiec

### The impact of large economic shocks on the financial results of offshore wind farms, as exemplified by North Sea farms in the German exclusive economic zone

**Streszczenie:** Artykuł analizuje wyniki ekonomiczne farm wiatrowych w niemieckiej specjalnej strefie ekonomicznej na Morzu Północnym. Badaniem objęto osiem farm wiatrowych, a zakres czasowy to lata 2016–2023. W badaniu wykorzystano audytowane sprawozdania finansowe spółek będących farmami wiatrowymi. Ocena wyników ekonomicznych uwzględniała specyfikę badanych przedsiębiorstw (kapitałochłonność, jednorazowość przedsięwzięcia). Celem badania była ocena sytuacji finansowej przedsiębiorstw z morskiej energetyki wiatrowej i wpływu na nią różnych zjawisk ekonomicznych. W badanym okresie wystąpiły dwa duże szoki ekonomiczne. Pierwszym z nich była globalna pandemia COVID-19. Związane z nią spowolnienie gospodarcze przełożyło się na spadek cen energii, co w konsekwencji pogłębiło spadek przychodów badanej grupy przedsiębiorstw. Drugim szokiem ekonomicznym był wybuch wojny rosyjsko-ukraińskiej. Przyczynił się on do wzrostu cen energii, a w konsekwencji – do wzrostu przychodów ze sprzedaży. Oznacza to, że pozytywny wzrost był ograniczony wyższymi kosztami operacyjnymi. Wybór obszaru badań został podyktowany dostępnością danych, a także podobieństwem lokalizacji wybranych farm do budowanych farm wiatrowych w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej.

**Abstract:** In the article is conducted analysis of economic performance of selected wind farm in German Exclusive Economic Zone at North Sea. 8 Wind farms were included in the research. Research period cover years 2016–2023. As a source of economic data were used audited financial statements. Assessment of economic performances was including specific of surveyed companies (big CAPEX intensity, one-off of the enterprises). Purpose of the research was to assess the impact of economic phenomenon on economic performance off-shore windfarms. In research period occurred two big global economic shocks. The first of these was global COVID pandemic in 2020 and related to its economic slowdown, that translated into a drop in energy prices and, consequently, a slight decline in revenues of the surveyed group of companies. Second shock was a full scale aggression of Russia on Ukraine in 2022. In resulted in increase of energy prices and hence increase of revenues of surveyed enterprises. Positive impact on economic performance was significantly limited by higher operational costs. The choice of the research area was dictated by the availability of data and the

similarity of the locations of the selected farms to the wind farms currently (2025) under construction in the Polish special economic zone.

**Słowa kluczowe:** analiza finansowa, energetyka odnawialna, morska farma wiatrowa, Niemcy, szoki ekonomiczne

**Keywords:** economic shocks, financial analysis, Germany, offshore wind farm, renewable energy

**Otrzymano:** 5 stycznia 2026

**Received:** 5 January 2026

**Zaakceptowano:** 18 lutego 2026

**Accepted:** 18 February 2026

**Sugerowana cytacja / Suggested citation:**

Smutek, J. (2026). Wpływ dużych ekonomicznych szoków na wyniki finansowe morskich farm wiatrowych na przykładzie farm na Morzu Północnym w wyłącznej strefie ekonomicznej Niemiec. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 40(1), 43–56. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.401.3>

## WSTĘP

Rozwój energetyki odnawialnej, w tym jego kierunków i kosztów, jest zagadnieniem wzbudzającym ogromne emocje w debacie publicznej. Sprawiedliwa transformacja energetyczna to jedno z większych wyzwań współczesności. Istotnym elementem transformacji energetycznej jest energetyka wiatrowa, w tym morska energetyka wiatrowa.

Morska energetyka wiatrowa w Polsce (stan na grudzień 2025 r.) jest sektorem w fazie powstawania, a pierwsze morskie farmy wiatrowe znajdują się dopiero na etapie budowy. Na świecie sektor ten ma już pewną historię – wystarczy wspomnieć pierwsze morskie farmy wiatrowe w Danii wybudowane w latach 90. XX w. Morska energetyka wiatrowa jest skoncentrowana głównie w Europie, w szczególności na Morzu Północnym, a wśród liderów rozwoju tego sektora znajdują się Wielka Brytania, Niemcy, Dania, Holandia i Belgia. Sektor ten rozwija się także na pozostałych kontynentach, w szczególności w Azji (Chiny, Tajwan) oraz Ameryce Północnej (USA; Bilgili, Alphan, 2022; Laskowicz 2022; Malleret i in., 2024; Shields i in., 2021). Do analizy wybrano morskie farmy wiatrowe z południowo-zachodniego fragmentu obszaru niemieckiej wyłącznej strefy ekonomicznej na Morzu Północnym. Wybór ten podyktowany był znaczącym podobieństwem do budowanych obecnie morskich farm wiatrowych w Polsce. Mając to na uwadze, cele niniejszego artykułu są następujące:

1. weryfikacja relacji medialnych odnośnie zarówno dużych zysków, jak i problemów finansowych sektora morskiej energetyki wiatrowej (ocena zarówno pozytywnych, jak i negatywnych relacji w odniesieniu do bardziej wiarygodnych danych ekonomicznych, które charakteryzują się profesjonalną weryfikacją – są bowiem audytowane przez niezależnych audytorów),
2. rozwój wiedzy na temat sektora morskiej energetyki odnawialnej i jej popularyzacja,
3. ocena możliwości wykorzystania dostępnych danych finansowych w badaniach geograficznych dotyczących OZE.

Morska energetyka wiatrowa jest popularnym tematem w publikacjach międzynarodowych w odniesieniu do kwestii ekonomicznych (Breitschopf, Alexander-Haw, 2022; Đukan, Kitzing, 2021; Jansen i in., 2022; Luts i in., 2021; Malleret i in., 2024; Walgern i in., 2023). Stosunkowo dużo badań dotyczy analizy przed realizacją inwestycji (Botta, 2019; Breitschopf, Alexander-Haw, 2022; Đukan, Kitzing, 2021; Kell i in. 2023; Malleret

i in., 2024; Walgern i in., 2023; Ziemba, 2022), mniej zaś – już zrealizowanych inwestycji (Dopierała i in., 2022; Luts i in., 2021; Wyrobek i in., 2025). W polskiej literaturze można mówić o pewnych falach zainteresowania tematem morskiej energetyki wiatrowej (Biniak, 2017; Czapliński, 2015, 2016; Dopierała i in., 2022; Kubiak i in., 2025; Laskowicz, 2022; Wyrobek i in., 2025; Ziemba, 2022). Pierwsza fala odnosiła się do planów budowy i potencjału związanego z morską energetyką wiatrową, druga z kolei jest związana z efektywnością ekonomiczną i tempem rozwoju morskiej energetyki wiatrowej w Europie i na świecie. Lepsze poznanie funkcjonowania sektora offshore na przykładzie wybranego obszaru geograficznego (zachodnia część niemieckiej specjalnej strefy ekonomicznej na Morzu Północnym) może mieć zastosowanie w przyszłym zarządzaniu farmami budowanymi obecnie na obszarze polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej.

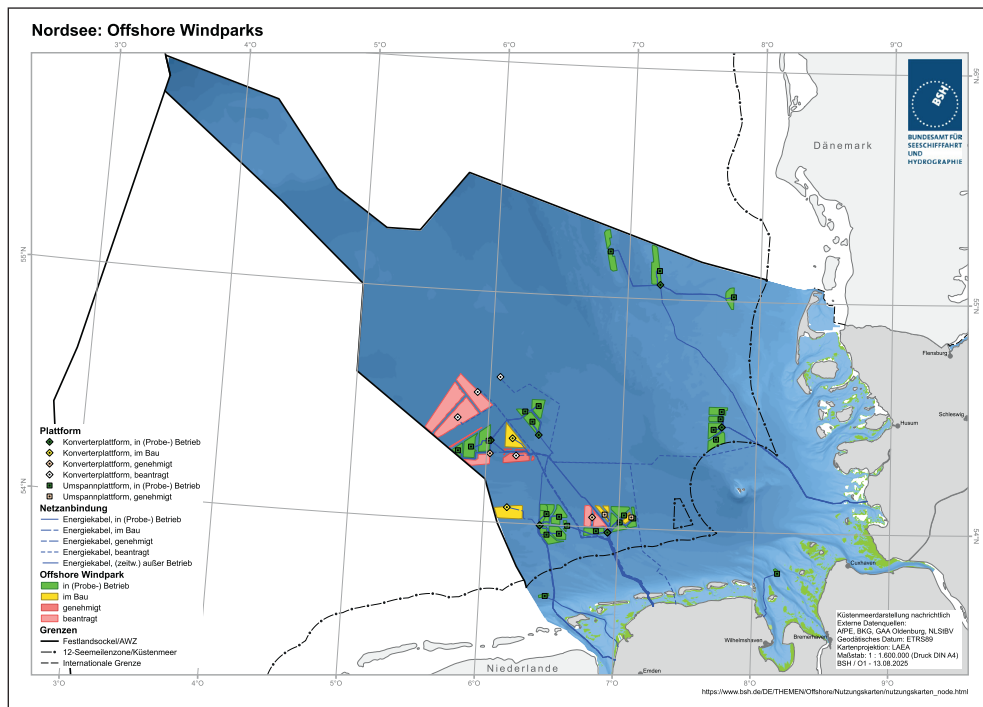
Prowadzenie badań jest uwarunkowane dostępnością danych o określonej granularności, możliwie wysokiej aktualności i wiarygodności. Dlatego też na pierwszym etapie badania starano się określić, na ile dane ze sprawozdań finansowych mogą być wykorzystane do analizy zjawisk ekonomicznych i geograficznych, w tym oddziaływania na siebie różnych obiektów. Skupiono się na analizie możliwości wykorzystania danych pod względem oceny wystąpienia efektu cienia (*wake effect*) związanego z wybudowaniem farmy wiatrowej w bezpośrednim sąsiedztwie (por. Finserås i in., 2024; Kubiak i in., 2025; Palatos-Plexidas i in., 2024; Shields i in., 2021; Walgern i in., 2023) oraz wpływu globalnych wydarzeń, takich jak pandemia i wojna w Ukrainie (por. Laskowicz, 2022; Kuzemko i in., 2022; Wyrobek i in., 2025).

Intensywność dyskusji publicznej odnośnie transformacji energetycznej jest związana z politykami publicznymi, które wpływają na jej koszty, a także na rozłożenie obciążeń i ryzyk między różnymi uczestnikami rynku. Wśród ważniejszych polityk mających wpływ na sytuację finansową morskich farm wiatrowych można wskazać istnienie w wielu krajach kontraktów różnicowych (*contract of difference*), które gwarantują określony poziom cen wyprodukowanej energii. Istnieją zarówno jednostronne kontrakty różnicowe (z minimalną ceną), jak i dwustronne (ze stałą ceną; Jansen i in., 2022; Kell i in., 2023; Malleret i in., 2024). Forma gwarantowania przez państwo ceny sprzedawanej energii w analizowanym okresie ewoluowała od cen administracyjnych, przez kontrakty różnicowe, do w pełni rynkowych rozwiązań na najbardziej rozwiniętych rynkach (Jansen i in., 2022). Obecnie (grudzień 2025), także ze względu na niepowodzenie części aukcji na niektórych rynkach, obserwuje się ponowny zwrot w kierunku wsparcia przez państwo producentów energii w ramach kontraktów różnicowych.

## CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAWCZEGO

Wybrany do analizy obszar znajduje się w południowo-zachodniej części niemieckiej wyłącznej strefy ekonomicznej na Morzu Północnym. Obszar ten od północy jest ograniczony szlakiem żegludowym do Hamburga, od zachodu – granicą z niderlandzką wyłączną strefą ekonomiczną (i parkiem wiatrowym Gemini). Odległość farm wiatrowych od lądu wynosi 30–50 km, a głębokość akwenu – 20–40 m. Położenie obszaru objętego badaniem pokazano na rycinie 1. Elipsą zakreślono analizowane farmy wiatrowe (11). Najwcześniej oddanym do użytkowania parkiem wiatrowym jest Alhpa Ventus (2010), a najnowszy Borkum-Riffgrund 03 w trakcie pisania artykułu (grudzień 2025) był jeszcze w budowie. Skrótową charakterystykę farm wiatrowych, w tym liczbę i wielkość turbin wiatrowych, przedstawiono w tabeli 1.

Rycina 1. Farmy wiatrowe w niemieckiej wyłącznej strefie ekonomicznej na Morzu Północnym



Źródło: Federalny Urząd Transportu Morskiego i Hydrografii (niem. Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie), [www.bsh.de](http://www.bsh.de) (dostęp: 30.01.2026)

Można wskazać trzy fale oddawania do użytku farm wiatrowych. Widoczny jest przy tym wzrost wielkości oddawanych turbin, a w konsekwencji – wzrost wydajności farm. Pierwsza faza obejmuje lata 2015–2017. W jej trakcie część oddanych inwestycji miała turbiny 4 MW, a część – turbiny 6MW. W drugiej fazie (lata 2019–2020) oddane do użytkowania turbiny miały moc 5–8MW. Ostatnia faza (2025–2026) obejmuje obiekty o mocy 11 MW. Obserwowany jest wzrost mocy nominalnej turbin wiatrowych, co przekłada się na zmniejszanie liczby turbin oraz poprawę ekonomicznych wskaźników budowanych farm wiatrowych (Shields i in., 2021). Znajdujące się obecnie w fazie budowy (stan na grudzień 2025) farmy wiatrowe w polskiej wyłącznej strefie ekonomicznej charakteryzują się mocą znamionową 14–15 MW. W większości analizowanych morskich farm wiatrowych zastosowano fundamenty monopalowe – wyjątkiem są Tiranel Borkum Windpark I oraz sześć turbin Adwen AD5-116 (Multibrid) M5000 w parku Alpha Ventus.

Tabela 1. Farmy wiatrowe w badanym obszarze

Nazwa	Rok uruchomienia	Liczba turbin	Typ turbin	Całkowita moc [MW]
Borkum-Riffgrund 1	2016	78	Siemens SWT-4.0-120	312
Borkum-Riffgrund 2	2019	56	Vestas V164-8.0 MW MHI	450
Borkum-Riffgrund 3	2026	83	Siemens-Gamesa SG 11.0-200	913
Gode Wind 1	2015	55	Siemens SWT-6.0-154	330
Gode Wind 2	2017	42	Siemens SWT-6.0-154	252

Gode Wind 3	2025	11	Siemens Gamesa SG 11.0-193 DD	253
Nordsee 1	2017	54	Senvion 6.2M126	332
Merkur	2019	66	GE Wind Energy Haliade 150-6MW	396
Alpha Ventus	2010	12	sześć turbin Adwen AD 5-116 sześć turbin Senvion 5M	60
Trianel Windpark Borkum (I)	2015	32	Senvion 6.3 MW	200
Trianel Windpark Borkum (II)	2020	40	Areva M5000-116	200

Źródło: opracowanie własne

Z punktu widzenia dostępności danych ważne jest, że dla każdej z farm wiatrowych stworzono spółkę celową. W tabeli 2 przedstawiono spółki, których sprawozdania finansowe zostały uwzględnione. Aby dokonać analizy zmian wskaźników, potrzebna jest odpowiednio długa seria danych. Porównywanie przedsięwzięć będących w fazie budowy z przedsięwzięciami w fazie operacyjnej jest bardzo utrudnione. Z tego powodu zrezygnowano z analizowania farm wiatrowych oddanych do użytku po roku 2021 (Borkum-Riffgrund 3 oraz Gode Wind 3).

W opracowaniu oparto się na publicznie dostępnych danych znajdujących się w rejestrach przedsiębiorców. Mają one pewne ograniczenia związane z opóźnieniem w dostępności, co jest spowodowane czasem potrzebnym na sporządzenie sprawozdania (pół roku) oraz czasem, który upływa od sporządzenia do upublicznienia danych. Uwzględniając te opóźnienia w momencie wykonywania badania (lipiec 2025), dla wszystkich analizowanych farm dostępne publicznie były dane za rok 2023. W każdym z wybranych przypadków rok fiskalny pokrywał się z rokiem kalendarzowym. Podobne opóźnienie w dostępności danych zaobserwowano w innych analizowanych pracach (np. Dopierała i in., 2022; Luts i in., 2021; Wyrobek i in., 2025).

Tabela 2. Uwzględnione w analizie spółki

Farma	Nazwa firmy	Lata	Numer HRB
Gode Wind 1	Gode Wind 1 Offshore Wind Farm GmbH & Co. oHG	2017–2023	HRA 202102
Gode Wind 2	Gode Wind 2 Offshore Wind Farm P/S GmbH & Co. oHG	2016–2023	HRA 201871
Nordsee One	Nordsee One GmbH	2018–2023	HRB 18294 HL
Merkur	Merkur Offshore GmbH	2019–2023	HRB 34552
Trianel Windpark Borkum (I)	Trianel Windkraftwerk Borkum GmbH & Co. KG	2016–2023	Aachen HRA 7190
Trianel Windpark Borkum (II)	Trianel Windkraftwerk Borkum II GmbH & Co. KG	2020–2023	Oldenburg HRA 204558
Borkum Riffgrund 2	Borkum Riffgrund 2 Offshore Wind Farm GmbH & Co. oHG	2019–2023	Aurich HRA 202470
Borkum Riffgrund 1	Borkum Riffgrund 1 Offshore Windpark A/S GmbH & Co. oHG	2016–2023	Aurich HRA 201463
Alpha Ventus	DOTI Deutsche Offshore-Testfeld- und Infrastruktur-GmbH & Co. KG	2012–2023	Oldenburg HRB 200395

Źródło: opracowanie własne na podstawie HRB

Ostatecznie do analizy wybrano następujące farmy wiatrowe: Gode Wind 1, Gode Wind 2, Nordsee 1, Merkur, Borkum Trianel 1, Borkum Trianel 2, Borkum Riffgrund 1, Borkum Riffgrund 2. Ze względu na testowe przeznaczenie projektu zrezygnowano z analizy projektu Alhpa Ventus. Wybrane farmy stanowią 40% uruchomionych do 2020 r. farm w niemieckiej wyłącznej strefie ekonomicznej na Morzu Północnym oraz 41% zainstalowanej mocy.

## CHARAKTERYSTYKA BADANYCH PRZEDSIĘBIORSTW ORAZ DOSTĘPNYCH DANYCH

W badaniu wykorzystano sprawozdania finansowe przedsiębiorstw wymienionych w tabeli 2. Dane pochodziły z niemieckiego rejestru przedsiębiorców ([www.unternehmensregister.de](http://www.unternehmensregister.de)), dotyczyły lat 2016–2023, a zostały zebrane w lipcu 2025 r. Dane te obejmują informacje o rachunku zysków i strat oraz informacje o bilansie. Zawierają ponadto informacje dodatkową, w tym raport o stanie przedsiębiorstwa. Ponadto dają szczegółową informację na temat środków trwałych, jednak nie zawierają zestawienia zmian w kapitale własnym ani rachunku przepływów pieniężnych.

Podstawową cechą analizowanych przedsiębiorstw jest duża kapitałochłonność, w tym skoncentrowanie nakładów w początkowym okresie funkcjonowania przedsiębiorstwa. Jest to cecha powszechna w przypadku projektów OZE, co odróżnia je od konwencjonalnych źródeł energii (Aldersey-Williams, Rubert, 2019; Jansen i in., 2022). Drugą ważną okolicznością jest niewielka samodzielność organizacyjna podmiotów, o czym świadczą brak lub niewielka liczba zatrudnionych pracowników (ograniczająca się do kierownictwa firmy), a także fakt, że środki pieniężne na rachunku bankowym, ze względu na stosowanie cash-poolingu, wchodzą w skład salda należności lub zobowiązań wewnątrzgrupowych. Przedsiębiorstwa te są de facto oddzielnymi pojedynczymi projektami inwestycyjnymi, finansowanymi w ogromnej mierze długiem, a nie kapitałem własnym, które po krótkim okresie bardzo dużych nakładów inwestycyjnych są stałym generatorem środków pieniężnych wypłacanych w postaci dywidend lub spłat pożyczek (także względem właścicieli). Trzecią charakterystyką analizowanych przedsięwzięć są stała, krótsza niż okres funkcjonowania farm wiatrowych, amortyzacja (16 lat – przy pozwoleniu na użytkowanie farmy na 25 lat i spodziewanym wydłużeniu do 35 lat), spadające w czasie odsetki z tytułu pożyczek oraz wpływ subsydiów w pierwszych latach funkcjonowania (wykazywany łącznie w wartości sprzedaży, więc niemożliwy do wykazania wprost). Brak możliwości bezpośredniej oceny wpływu subsydiów na wynik finansowy przedsiębiorców produkujących energię zaobserwowano również w innych badaniach (Luts i in., 2021).

Z powyższych powodów wnioskowanie o zmianach sytuacji finansowej analizowanej grupy przedsiębiorstw na podstawie typowych wskaźników rentowności (np. ROA – *return on assets*, ROE – *return on equity*, ROCE – *return on capital employed*) jest ograniczone, ponieważ w tak specyficznej sytuacji z definicji wskaźniki będą rosły w miarę upływu czasu. Jest tak ze względu na odnoszenie wskaźników do wartości netto aktywów, a nie do ich faktycznej wartości rynkowej. Jednocześnie należy zauważyć, że w badaniach panelowych, bez szczegółowej analizy, wskaźniki te były wykorzystywane (Dopierała i in., 2022; Luts i in., 2019; Wyrobek i in., 2025) – mimo widocznego wpływu kumulującej się amortyzacji na wskaźniki oparte na wartości aktywów (Dopierała i in., 2022). Różnica w podejściu jest jednak uzasadniona specyfiką badanych przedsiębiorstw i wyższym

poziomem dokładności analizy. W przypadku tak niesamodzielnych przedsiębiorstw, jakimi są badane firmy, uznano, że interpretacja wyników i wyciągnięcie poprawnych wniosków byłyby znacznie utrudnione, a korzyści – mniejsze niż koszty związane z utratą dokładności i zrozumiałości analizy. Podobnie ograniczone jest oparcie analizy zmian sytuacji finansowej na rachunku przepływów pieniężnych w przypadku braku informacji na temat salda bankowego.

Badanie obejmuje nienotowane firmy z zakresu odnawialnych źródeł energii. Badania te często wykorzystują dane pochodzące z baz danych Orbis i Amadeus (Dopierała i in., 2022; Luts i in., 2019; Wyrobek i in., 2025), które obejmowały częściowo podobne okresy badawcze. Były to: lata 2011–2019 (Dopierała i in., 2022), lata 2011–2018 (Luts i in., 2021) i lata 2015–2022 (Wyrobek i in., 2025). Wszystkie przytoczone badania nie dokonywały rozróżnienia na morską i lądową energetykę wiatrową. Wszystkie też odnosiły się do zysku netto bez analizy jego składowych (w przypadku opracowania Luts i in. – zysku netto powiększonego o podatek). Analiza wyników finansowych farm wiatrowych wyłącznie z sektora morskiej energetyki wiatrowej jest nowością wnoszoną przez tę pracę. Takie podejście jest uzasadnione ze względu na dużo wyższy udział kosztów operacyjnych w wyrównanym koszcie energii (LCOE) w przypadku morskiej energetyki wiatrowej niż w przypadku energetyki lądowej (Aldersey-Williams, Rubert, 2019; Jansen i in., 2022), co wiąże się z innymi uwarunkowaniami wpływu zmian sytuacji ekonomicznej na wyniki finansowe.

## WYBRANE WSKAŹNIKI TO ANALIZY

Mając na uwadze omówione powyżej problemy z zastosowaniem klasycznych wskaźników do oceny sytuacji finansowej analizowanych farm, zdecydowano się na następujący wybór:

$$W1 = \frac{\text{EBIDTA w roku } x * \text{ współczynnik dyskontujący w roku } x}{\sum_{a=1}^x \text{ wartość nabycia środków trwałych w roku } x * \text{ współczynnik dyskontujący w roku } x}$$

$$W2 = \frac{\text{przychód ze sprzedaży} * \text{ współczynnik dyskontujący w roku } x}{\sum_{a=1}^x \text{ wartość nabycia środków trwałych w roku } x * \text{ współczynnik dyskontujący w roku } x}$$

$$W3 = \frac{\text{pozostałe koszty operacyjne}}{\text{przychody ze sprzedaży}}$$

$$W4 = \frac{\text{zysk netto}}{\text{przychody ze sprzedaży}}$$

Wybór wskaźnika dotyczącego EBIDTA był podyktowany chęcią zniwelowania wpływu przyspieszonej amortyzacji na interpretację wyników. Wybór wskaźników dotyczących wartości sprzedaży oraz kosztów operacyjnych miał na celu analizę struktury rachunku zysków i strat, a uwzględnienie relacji zysku netto miało stanowić odniesienie względem pełnego wyniku finansowego.

W związku z tym, że wskaźniki W1 i W2 dotyczyły danych z różnych lat, zdyskontowano wartości do jednego wspólnego okresu o wskaźnik inflacji – wybrano wskaźnik inflacji konsumenckiej w Niemczech pobrany ze strony niemieckiego Urzędu Statystycznego ([www.destatis.de](http://www.destatis.de)). Rokiem, względem którego zdyskontowano wartości, był rok 2023. Współczynnik dyskontujący wyrażono następującym wzorem:

$$\text{współczynnik dyskontujący w roku } x = \frac{\text{indeks inflacji konsumenta w roku } x}{\text{indeks inflacji konsumenta w roku 2023}}$$

W ten sposób uzyskano wartości dla poszczególnych lat (tabela 3).

Tabela 3. Uwzględnione w pracy współczynniki dyskontujące

2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
1,2349	1,2284	1,2106	1,1896	1,1729	1,1670	1,1319	1,0590	1,0000

Źródło: obliczenia własne

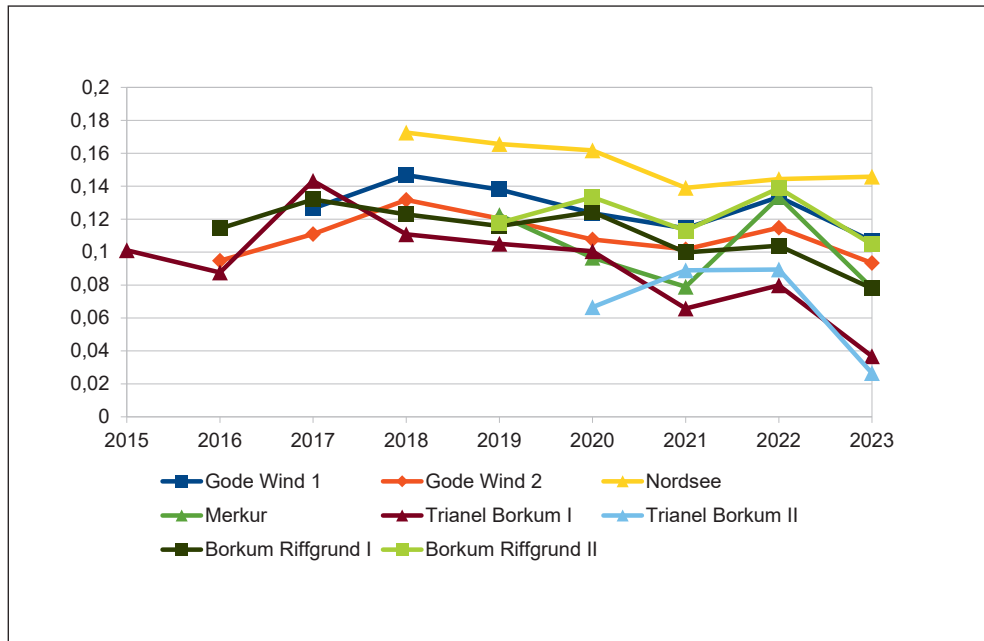
## WYNIKI

Zmiany wskaźnika W1 dla analizowanych farm wiatrowych w latach 2015–2023 przedstawiono na rycinie 2. Zaobserwować można poprawę wyników w początkowym okresie, następnie od 2018 r. widoczny był spadek rentowności. Od tych wyników nastąpiło odbicie w roku w 2022, czyli w roku pełnoskalowej inwazji Federacji Rosyjskiej na Ukrainę.

Powyższe wyniki pokrywają się z wynikami uzyskanym przez innych autorów. Dotyczy to wzrostu rentowności w pierwszym okresie (Dopierała i in., 2022; Luts i in., 2021), skokowego wzrostu rentowności w 2022 r. (Wyrobek i in., 2025) oraz spadku po 2018 r. Spadającą rentowność tłumaczy się w różny sposób. Najważniejszym czynnikiem jest to, że w miarę zwiększania się udziału odnawialnych źródeł energii, które charakteryzują się bliskimi zera kosztami krańcowymi, następują spadki cen energii, zwłaszcza w środku dnia, wywołane konkurencją z fotowoltaiką (Đukan, Kitzing, 2021; Haltunnen i in., 2020; Kell i in., 2023; Malleret i in., 2024). Drugim czynnikiem jest fakt, iż technologia offshore staje się coraz bardziej dojrzała, a więc wymaga mniejszej premii za ryzyko (Botta, 2019; Breitschopf, Alexander-Haw, 2022). Trzecim uwarunkowaniem jest wzrost fizycznych rozmiarów turbin wiatrowych, który przekłada się na wzrost produktywności i spadek kosztów na jednostkę produkowanej energii (Shields i in., 2021; Walgern i in., 2023). Dynamiczny rozwój technologii i spodziewane spadki cen energii są uwzględniane w planach inwestorów (Laskowicz, 2022; Malleret i in., 2024), natomiast sama obecność nowych producentów będących w stanie oferować ten sam produkt po niższej cenie wpływa na presję cenową i dalsze obniżanie zysku. Ma to znaczenie dla farm będących w fazie subsydiowania, ponieważ w Niemczech morskie farmy wiatrowe nie uzyskują minimalnej ceny gwarantowanej w kontraktach różnicowych, jeśli cena na rynku hurtowym będzie ujemna przez więcej niż sześć godzin z rzędu.

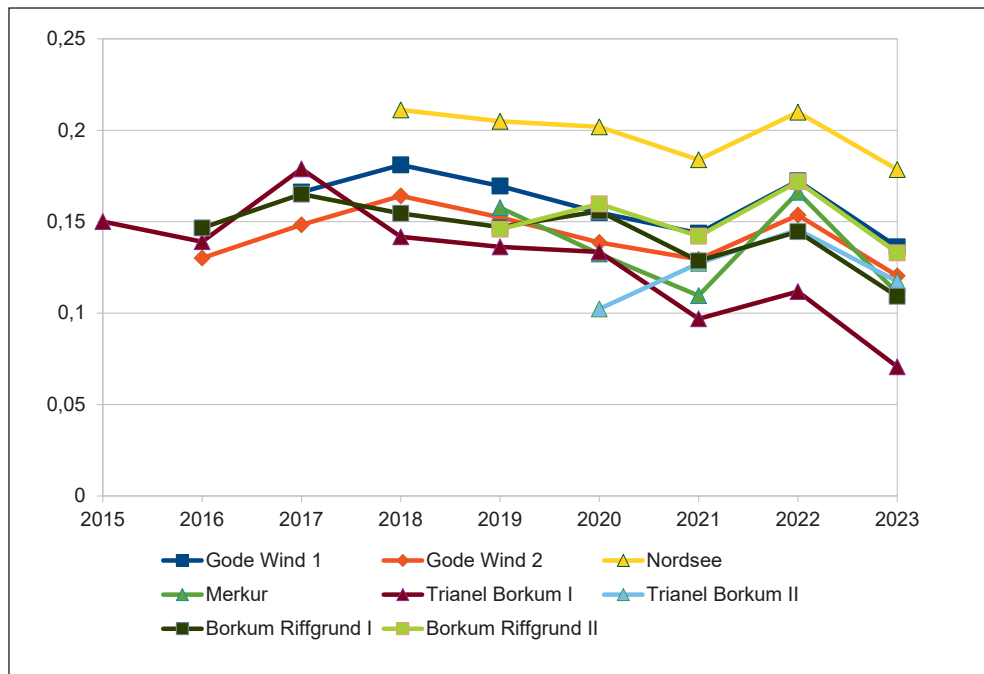
Zmiany wskaźnika W2 dla analizowanych farm wiatrowych w latach 2015–2023 przedstawiono na rycinie 3. Ogólny obraz zmian jest podobny do wskaźnika W1. Zmiany wartości sprzedaży w odniesieniu do wartości środków trwałych były mniejsze niż w przypadku EBIDTA. Należy to wiązać z kwestią subsydiowania sprzedawanej energii elektrycznej, która spadała w latach 2015–2020 (Walgern i in., 2023). Wybicie w 2022 r. jest dużo wyraźniejsze niż w przypadku wskaźnika dotyczącego EBIDTA, co także zostało

Rycina 2. Wskaźnik W1: EBITDA vs skumulowana wartość nabycia środków trwałych



Źródło: opracowanie własne

Rycina 3. Wskaźnik W2: sprzedaż względem skumulowanej wartości nabycia środków trwałych

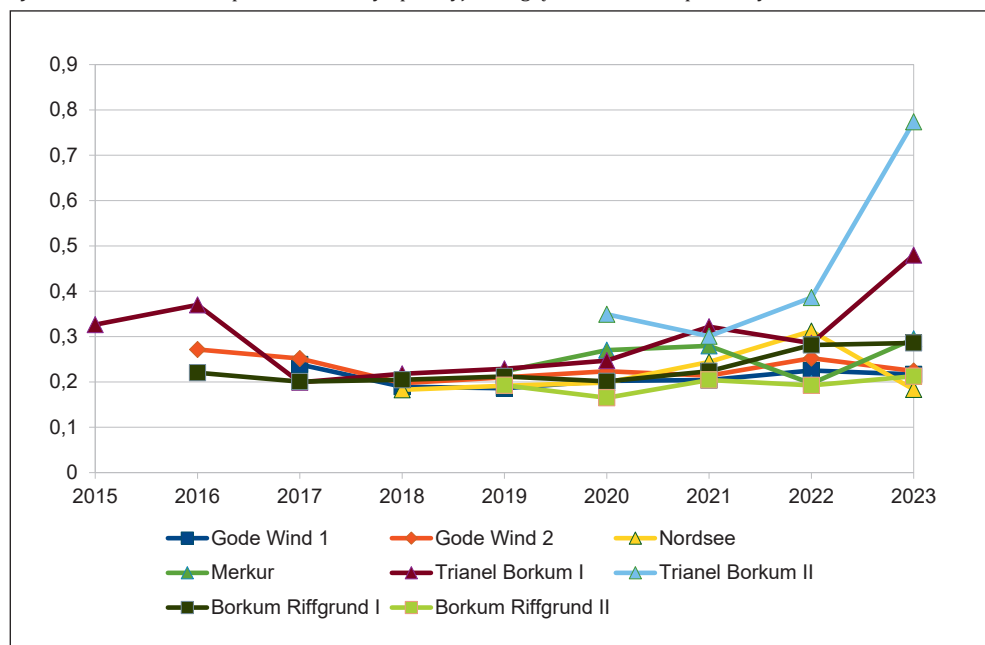


Źródło: opracowanie własne

zaobserwowane u innych autorów (Kubiak i in., 2025; Walgern i in., 2023; Wyrobek i in., 2025).

Zmiany wskaźnika W3 dla analizowanych farm wiatrowych w latach 2015–2023 przedstawiono na rycinie 4. Zmiany przebiegają tu inaczej niż w przypadku dwóch poprzednich wykresów. W pierwszej części analizowanego okresu obserwuje się delikatny spadek relacji, co z punktu widzenia przedsiębiorstw jest zjawiskiem korzystnym. Natomiast lata 2020–2023 to wzrastająca presja na wynik finansowy ze strony kosztów operacyjnych (OPEX). Dla morskiej energetyki wiatrowej, która na tle pozostałych technologii (onshore, fotowoltaika) charakteryzuje się relatywnie dużym udziałem OPEX (Malleret i in., 2024; Wallgern i in., 2023) w ogólnych kosztach wytworzenia energii, jest to sytuacja szczególnie niekorzystna. W latach 2022 i 2023 negatywnie odznaczają się w tym kontekście dwie farmy wiatrowe (Trianel Borkum I i II), których właścicielami i operatorami nie są duże międzynarodowe koncerny będące liderami rozwoju sektora morskiej energetyki wiatrowej.

Rycina 4. Wskaźnik W3: pozostałe koszty operacyjne względem wartości sprzedaży



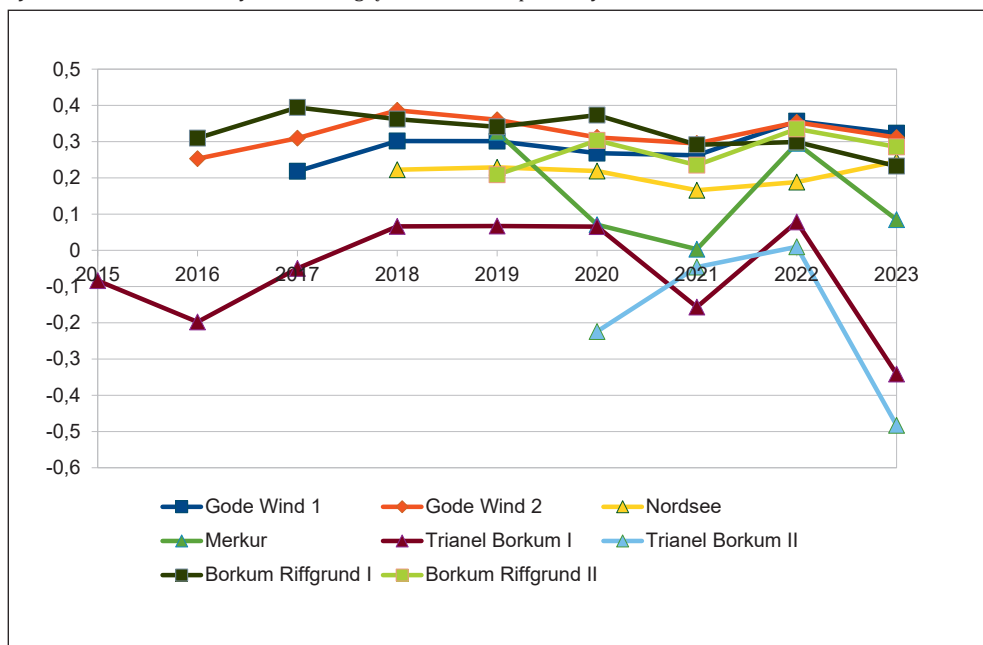
Źródło: opracowanie własne

O ile pandemia spowolniła plany inwestycyjne w zakresie morskiej energetyki wiatrowej (Jansen i in. 2022; Ziemia, 2022), o tyle wybuch konfliktu rosyjsko-ukraińskiego przyczynił się do przyspieszenia planów w zakresie rozwoju morskiej energetyki wiatrowej (Laskowicz, 2022), a przez to – do sptywności podaży do podniesienia kosztów inwestycyjnych (Wyrobek i in., 2025). Dynamiczny rozwój morskiej energetyki wiatrowej ma wpływ nie tylko na koszty inwestycyjne, lecz także na przyszłe koszty operacyjne. Ze względu na dostępność wykwalifikowanych kadr podnosi on bieżące koszty funkcjonowania istniejących farm i stanowić będzie wyzwanie w przyszłości (Laskowicz, 2022). Rosnące koszty bieżącego utrzymania mogą przyczynić się do decyzji o nieprzedłużaniu

terminu eksploatacji morskich farm wiatrowych powyżej nominalnego okresu 25 lat (Walgern i in., 2023). Uwzględniając jednak relatywnie niewielki wiek farm w wyłącznej strefie ekonomicznej Niemiec, nie znalazło to jeszcze pełnego potwierdzenia w danych (stan na grudzień 2025) – pomimo doniesień medialnych odnośnie planów rozbiórki pierwszej farmy wiatrowej na Morzu w Niemczech (Alpha Ventus).

Zmiany wskaźnika W4 dla analizowanych farm wiatrowych w latach 2015–2023 przedstawiono na rycinie 5. Relacja zysku netto względem wartości sprzedaży dla większości projektów utrzymywała się w mniej więcej stałym przedziale i była mniej podatna na zmiany niż poprzednie analizowane wskaźniki. Dla większości projektów wynik finansowy był pozytywny, a więc wskaźnik ten był powyżej zera. Uwagę zwracają znacznie gorsze wyniki finansowe dwóch projektów realizowanych przez inwestorów o mniejszym doświadczeniu, ale też o mniejszej sile rynkowej (Trianel Borkum I i II). Niemcy ze względu na wysoki poziom akceptacji społecznej inwestycji w energetykę wiatrową są krajem o wysokim poziomie rentowności producentów energii (Wyrobek i in., 2025). Jednym z głównych czynników wpływających na dochodowość producentów energii są warunkowane tą akceptacją subsydia (Luts i in., 2021).

Rycina 5. Wskaźnik W4: zysk netto względem wartości sprzedaży



Źródło: opracowanie własne

W interpretacji wskaźnika W4, w tym w szczególności negatywnego lub pozytywnego znaku, należy uwzględnić raportowanie przyspieszonej amortyzacji (16 lat), krótszej niż przewidywany czas funkcjonowania farm, na które wydano zezwolenie (25 lat). Należy podkreślić, że przyspieszona amortyzacja jest jedną z form wsparcia określonej polityki inwestycyjnej przez państwo i stosuje się ją dość powszechnie w różnych zagadnieniach. Podejście do faktycznego przewidywanego okresu eksploatacji jest zróżnicowane. Część autorów opiera się na okresie z pozwoleń, czyli 25 lat (np. Kubiak i in., 2025; Shields i in.,

2021), a część wskazuje 30 lat (Kell i in., 2023) lub ogólnie na prawdopodobną opłacalność przedłużenia funkcjonowania farm powyżej pierwotnego okresu eksploatacji (Walgern i in., 2023). Jako najbardziej prawdopodobny okres podaje się 35 lat.

## KONKLUZJE I DYSKUSJA

Przeprowadzona analiza pozwoliła osiągnąć część założonych celów badawczych. Zaobserwowano trendy w zakresie sytuacji finansowej morskich farm wiatrowych w niemieckiej wyłącznej strefie ekonomicznej na Morzu Północnym. Sytuacja ta w drugiej połowie lat 90. XX w. ulegała poprawie, a w późniejszym okresie – pogorszeniu. Podobne wyniki uzyskali inni autorzy (Dopierała i in., 2022; Luts i in., 2021; Wyrobek i in., 2025). Spadająca dochodowość wynika ze wzrastającej konkurencji na skutek rozwoju technologicznego (Aldersey-Williams, Rubert, 2019; Shields i in., 2021), z wzrostu znaczenia aukcji w finansowaniu i wyborze projektów morskiej energetyki wiatrowej (Jansen i in., 2022; Kell i in., 2023) oraz ze zbyt optymistycznych założeń inwestorów (Đukan, Kitzing, 2021; Malleret i in., 2024; Steffen, 2020), nawet gdy dane projekty wygrały aukcję na kontrakty różnicowe.

W badanym okresie zaobserwowano dwa znaczące szoki ekonomiczne: pandemię oraz wybuch pełnoskalowej wojny rosyjsko-ukraińskiej. Wpływ pandemii wiązał się z pewnym spowolnieniem w zakresie realizacji nowych inwestycji (Jansen i in., 2022; Ziemia, 2021), ale na analizowanych morskich farmach wiatrowych nie zaobserwowano znaczącej bezpośredniej zmiany lub pogłębienia trendów w wynikach finansowych istniejących przedsiębiorstw. Pełnoskalowa inwazja Rosji na Ukrainę znacząco wpłynęła na wyniki finansowe badanych przedsiębiorstw, mimo istotnych utrudnień w łańcuchach logistycznych oraz związanego z tym wzrostu kosztów. Podobne wyniki uzyskali inni autorzy (Wyrobek i in., 2025). Oddziaływanie tego konfliktu, poprzez przyspieszenie inwestycji w morską energetykę wiatrową w Europie (Finserås i in., 2024; Laskowicz, 2022; Kuzemko i in., 2022), będzie miało znaczący wpływ na przyszłe finanse morskich farm wiatrowych. Spodziewane jest zwiększenie kosztów funkcjonowania istniejących przedsiębiorstw wskutek większej konkurencji o ograniczone zasoby wykwalifikowanych pracowników (Laskowicz, 2022).

Przeprowadzona w niniejszym artykule ocena możliwości wykorzystania danych finansowych w badaniach geograficznych dotyczących rozwoju sektora OZE jest pozytywna. Jednocześnie należy mieć świadomość ograniczeń dotyczących informacji zawartej w sprawozdaniach finansowych, której podstawowym celem jest obrót gospodarczy. Dotyczy to w znacznej mierze szczegółowości danych zarówno w wymiarze czasowym (dostępność danych w układzie rocznym), jak i w wymiarze jakościowym (ilość szczegółowej informacji, jej porównywalność między przedsiębiorstwami). Z powodu zbyt ogólnego poziomu dostępnych danych ostatecznie zrezygnowano z analizy efektów cienia (*wake effect*), który jest opisywany w badaniach o charakterze symulacyjnym i technicznym (Kubiak i in., 2025; Palatos-Plexidas i in., 2024; Walgern i in., 2023). Bez szczegółowych danych (np. miesięcznych lub przekrojowych dla całego sektora) uzyskanie odpowiedzi na pytania dotyczące wpływu tego zjawiska na wyniki finansowe farm tylko na podstawie badanych obiektów uznano za niewystarczające. Niemniej w związku ze wzrastającym znaczeniem tego zjawiska wynikającym ze wzrostu rozmiarów turbin (Finserås i in., 2024; Palatos-Plexidas i in., 2024) poszukiwanie tych odpowiedzi będzie zyskiwać na znaczeniu.

## Literatura

## References

- Aldersey-Williams, J., Ruber, T. (2019). Levelised cost of energy – A theoretical justification and critical assessment. *Energy Policy*, 124, 169–179. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.004>
- Bilgili, M., Alphan, H. (2022). Global growth in offshore wind turbine technology. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24(7), 2215–2227. doi: <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02314-0>
- Biniak, P. (2017). Rozwój morskiej energetyki wiatrowej w Polsce – analiza potencjalnych konfliktów społecznych. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 31(4), 157–168. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.314.11>
- Botta, E. (2019). An experimental approach to climate finance: the impact of auction design and policy uncertainty on renewable energy equity costs in Europe. *Energy Policy*, 133, 110839. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.06.047>
- Breitschopf, B., Alexander-Haw, A. (2022). Auctions, risk and the WACC. How auctions and other risk factors impact renewable electricity financing costs. *Energy Strategy Reviews*, 44, 100983. doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100983>
- Czapliński, P. (2015). Przemysł offshore w Polsce – próba definicji, stan i możliwości rozwoju. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 29(4), 103–111.
- Czapliński, P. (2016). Problemy rozwoju morskiej energetyki wiatrowej na południowym Bałtyku. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 30(3), 173–184.
- Dopierała, Ł., Mosionek-Schweda, M., Laskowicz, T., Ilczuk, D. (2022) Financial performance of renewable energy producers: A panel data analysis from the Baltic Sea Region. *Energy Reports*, 8, 11492–11503. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.009>
- Đukan, M., Kitzing, L. (2021). The impact of auctions on financing conditions and cost of capital for wind energy projects. *Energy Policy*, 152, 112197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112197>
- Finserås, E., Anchustegui, I.H., Cheynet, E., Gebhardt, C.G., Reuder, J. (2024). Gone with the wind? Wind farm-induced wakes and regulatory gaps. *Marine Policy*, 159, 105897. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105897>
- Jansen, M., Beiter, P., Riepin, I., Müsgens, F., Guajardo-Fajardo, V.J., Staffell, I., Bulder, B., Kitzing, L. (2022). Policy choices and outcomes for offshore wind auctions globally. *Energy Policy*, 167, 113000. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113000>
- Kell, N.P., van der Weijde, A.H., Li, L., Santibanez-Borda, E., Pillai, A.C. (2023). Simulating offshore wind contract for difference auctions to prepare bid strategies. *Applied Energy*, 334, 120645. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120645>
- Kubiak, M., Bugała, A., Bugała, D., Czekala, W. (2025) Simulation analysis of onshore and offshore Wind Farms Generation Potential for Polish Climatic Conditions. *Energies*, 18, 4087. doi: <https://doi.org/10.3390/en18154087>
- Kuzemko, C., Blondeel, M., Dupont, C., Brisbois, M.C. (2022). Russia's war on Ukraine, European energy policy responses & implications for sustainable transformations. *Energy Research & Social Science*, 93, 102842. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ERSS.2022.102842>
- Laskowicz, T. (2022). Offshore Wind Energy Potential in Europe: A Forecast of Installed Capacities and Costs. *EUROPA XXI*, 42, 129–148.
- Luts, M.-K., Savolainen, J., Collan, M. (2021). Profitability Determinants of Unlisted Renewable Energy Companies in Germany – A Longitudinal Analysis of Financial Accounts. *Sustainability*, 13, 13544. doi: <https://doi.org/10.3390/su132413544>
- Malleret, S., Jansen, M., Laido, A.S., Kitzing, L. (2024). Profitability dynamics of offshore wind from auction to investment decision. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 114450. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114450>
- Palatos-Plexidas, A., Sara Porchetta, S.G., van Beeck, J., De Cruz, L., Munters, W. (2024). A numerical analysis of wind farm wake characteristics in the southern part of the North Sea. *Journal of Physics: Conference Series*, 2767, 092078. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2767/9/092078>

- Steffen, B. (2020). Estimating the cost of capital for renewable energy projects. *Energy Economics*, 88, 104783. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104783>
- Shields, M., Beiter, P., Nunemaker, J., Cooperman, A., Duffy, P. (2021). Impacts of turbine and plant upsizing on the levelized cost of energy for offshore wind. *Applied Energy*, 298, 117189. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117189>
- Wyrobek, J., Zyguła, A., Popławski, Ł., Lula, P., Dziekański, P. (2025). The impact of socio-political factors on the profitability of wind farms in selected European Union Countries. *Economics and Environment*, 2(93), 1–14. doi: <https://doi.org/10.34659/eis.2025.93.2.962>
- Walgern, J., Baumgärtner, D., Fricke, J., Requate, N., Kolios, A., Dörenkämper, M., Meyer, T., Vollmer, L. (2023). Economic feasibility study for continued operation of German offshore wind farms. *Journal of Physics: Conference Series*. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2626/1/012031>
- Ziamba, P. (2022). Uncertain Multi-Criteria analysis of offshore wind farms projects investments – Case study of the Polish Economic Zone of the Baltic Sea. *Applied Energy*, 309, 118232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118232>

**Jan Smutek**, dr, urbanista, geograf i księgowy, Instytut Studiów Regionalnych. Tytuł doktora uzyskał na Uniwersytecie Szczecińskim na podstawie rozprawy dotyczącej wpływu suburbanizacji na finanse samorządowe. Wieloletni praktyk w zakresie regionalnego planowania przestrzennego, a później finansów przedsiębiorstw. Jego zainteresowania badawcze są związane z rozwojem regionalnym, ochroną środowiska, finansami oraz relacjami polsko-niemieckimi. Autor ponad 20 publikacji i redaktor dwóch monografii.

**Jan Smutek**, PhD, Institute of Regional Studies, urban planner, geographer and accountant. PhD in geography defended at the University of Szczecin on impact of suburbanization on commune finances. He worked for many years in regional public administration and later in corporate finance. His research interests are linked to regional development, protection of the environment, finance and Polish-German cooperation.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2774-4996>

**Adres / Address:**

Instytut Studiów Regionalnych  
Aleja Papieża Jana Pawła II 44/2  
70-415 Szczecin, Polska  
e-mail: [jan.smutek@interia.pl](mailto:jan.smutek@interia.pl)

IRENA ŻURAWSKA-BARTOSIK

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Polska / University of Economics in Katowice, Poland

## Fundusze unijne a potencjał endogeniczny w wybranych gminach województwa śląskiego

### EU funds and endogenous potential in selected municipalities of the Silesian Voivodeship

**Streszczenie:** Przedmiotem artykułu są rola funduszy unijnych w kształtowaniu potencjału endogenicznego gmin województwa śląskiego oraz analiza współwystępowania intensywności absorpcji tych środków z miarami peryferyzacji i przedsiębiorczości. Celem były opisowe zidentyfikowanie wzorców współwystępowania i ocena relacji ze wskaźnikiem stabilności budżetowej (WSB). Badanie obejmuje 15 gmin wybranych według średniego udziału funduszy w dochodach własnych (2014–2023). W badaniach zastosowano metody ilościowe (współczynnik Pearsona, proste regresje) oraz analizę opisową i przegląd przypadków. Wyniki wskazują silne dodatnie współwystępowanie między udziałem funduszy a dochodami własnymi, średnie ujemne współwystępowanie z miarami dynamiki rejestracji firm oraz ujemne relacje funduszy z WSB w wielu gminach. Stwierdzono dużą heterogeniczność efektów lokalnych. Wnioski podkreślają charakter korelacyjny badań (brak dowodów przyczynowości) i wskazują na potrzebę badań panelowych oraz kontroli zmiennych zakłócających. Oryginalny wkład artykułu polega na systematycznym połączeniu danych ilościowych, pochodzących z bazy danych projektów, z analizą korelacyjną oraz z przeglądem praktyk alokacyjnych.

**Abstract:** This article examines the role of European Union funds in shaping the endogenous development potential of municipalities in the Silesian Voivodeship and analyses the co-occurrence between the intensity of absorption of these funds and selected measures of peripherality and entrepreneurship. The objective is to descriptively identify patterns of co-occurrence and to assess their relationships with the Budget Stability Index (BSI). The study covers 15 municipalities selected based on the average share of EU funds in own-source revenues over the period 2014–2023. The research applies quantitative methods (Pearson correlation coefficient and simple regression models), complemented by descriptive analysis and a review of selected cases. The results indicate a strong positive co-occurrence between the share of EU funds and own-source revenues, a moderate negative co-occurrence with measures of business registration dynamics, and negative relationships between EU funds and the BSI in many municipalities. A high degree of heterogeneity in local effects is observed. The conclusions emphasise the correlational nature of the analyses, with no evidence of causality, and point to the need for panel studies and for controlling confounding variables. The original contribution of the article lies in the systematic integration of quantitative project-level data with correlational analysis and a review of allocation practices.

**Słowa kluczowe:** fundusze unijne, gminy, peryferyzacja, potencjał endogeniczny, województwo Śląskie  
**Keywords:** EU funds, endogenous, municipalities, potential, peripheralization, Silesian Voivodeship

**Otrzymano:** 17 czerwca 2025

**Received:** 17 June 2025

**Zaakceptowano:** 15 grudnia 2025

**Accepted:** 15 December 2025

**Sugerowana cytacja / Suggested citation:**

Żurawska-Bartosik, I. (2026). Fundusze unijne a potencjał endogeniczny w wybranych gminach województwa śląskiego. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 40(1), 57–72. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.401.4>

## WSTĘP

Współczesna polityka regionalna coraz silniej akcentuje potrzebę realizacji zrównoważonego rozwoju terytorialnego, który wykracza poza klasyczne podejście do wzrostu gospodarczego. Jej głównym celem jest także przeciwdziałanie utrwalaniu nierówności społeczno-ekonomicznych oraz ograniczanie procesów peryferyzacji, szczególnie dotkliwych w kontekście mniej rozwiniętych jednostek samorządu terytorialnego. Problem ten jest szczególnie widoczny w regionach takich jak województwo śląskie, gdzie zróżnicowanie przestrzenne i historyczne przemiany strukturalne prowadzą do silnego zróżnicowania potencjału rozwojowego poszczególnych gmin (Heffner, Gibas, 2014; Spychała, Spychała, 2022; Adamowicz, 2023; Grosel, 2023; Heffner, 2023).

Prezentowane badanie koncentruje się na intensywności wykorzystania funduszy unijnych (mierzonej udziałem w dochodach własnych JST) i na współwystępowaniu tej intensywności z wybranymi wskaźnikami rozwoju lokalnego. W całym tekście konsekwentnie używa się określenia „fundusze unijne”, a nie „środki zewnętrzne”, aby uniknąć nieprecyzyjności terminologicznej. Jednakże ich skuteczność nie jest bezwarunkowa. Jak wskazują liczne badania, efekty interwencji zależą w dużej mierze od zdolności absorpcyjnej JST, jakości zarządzania, zasobów kadrowych oraz stopnia integracji funduszy ze strategicznym planowaniem lokalnym (Biedka, 2021; Churski, 2022; Korenik, 2024). Podobne zależności potwierdzają również prace dotyczące integracji terytorialnej i wykorzystania instrumentów polityki rozwojowej, m.in. Zintegrowanych Inwestycji Terytorialnych (Musiał-Malago, 2022) czy współpracy transgranicznej (Jakubowski i in., 2024).

Badania Adamowicza (2023) oraz Grosela (2023) podkreślają, że marginalizacja obszarów peryferyjnych objawia się nie tylko w ograniczonym dostępie do infrastruktury, lecz także w deficytach kapitału ludzkiego, słabej dostępności usług publicznych, depopulacji oraz braku instytucjonalnej zdolności do kreowania endogenicznego rozwoju (Sitek, 2016; Heffner, Latocha, 2021). Wsparcie z funduszy unijnych może wspomagać procesy rozwojowe, jednak tylko w warunkach strategicznego, długookresowego zarządzania. W niniejszym badaniu aspekt ten został ujęty opisowo, bez empirycznego pomiaru jakości zarządzania. Zjawisko tzw. pułapki dotacyjnej, rozumianej jako trwała zależność JST od środków pomocowych, opisane przez Adamowicza i Zwolińską-Ligaj (2021), wskazuje na ryzyko braku trwałości rezultatów projektów realizowanych bez rozwijania własnych potencjałów endogenicznych.

W badaniach Churskiego (2022) oraz Biedki (2021) zwraca się uwagę na kluczową rolę kompetencji instytucjonalnych, obejmujących zarówno zasoby kadrowe, jak

i umiejętność długofalowego planowania oraz integracji działań finansowych z lokalną wizją rozwoju. Podobne wnioski pojawiają się w literaturze dotyczącej zmian strukturalnych na obszarach wiejskich i ich powiązania z funduszami UE (Heffner, Twardzik, 2022; Sykała, 2023; Biczowska, Biczkowski, 2025). W pracy kompetencje instytucjonalne są traktowane jako kontekst teoretyczny i nie zostały one empirycznie zmierzone. Brak tych kompetencji prowadzi do nieskutecznej alokacji funduszy oraz powierzchownego efektu interwencji.

Kwestia integracji funduszy z procesami innowacyjnymi oraz ze zrównoważonym rozwojem była szczególnie omawiana w pracach Korenika (2023, 2024), który wskazuje, że same inwestycje infrastrukturalne nie przynoszą trwałych efektów, jeśli nie są skorelowane z rozwojem przedsiębiorczości, edukacji i lokalnej aktywności gospodarczej. Potwierdzają to także wyniki badań Biedki (2021) oraz Adamowicza (2023), którzy podkreślają, że inwestycje w kapitał ludzki i inicjatywy prorozwojowe przynoszą długofalowe rezultaty, wpływając realnie na jakość życia mieszkańców i zdolność gmin do samodzielnego rozwoju. Ponadto Heffner i Gibas (2014) oraz Korenik (2024) akcentują, że skuteczność polityki spójności w regionach słabiej rozwiniętych jest ograniczana przez utrzymujący się dualizm rozwojowy, brak integracji funkcjonalnej oraz bariery geograficzne. Procesy peryferyzacji wymagają zatem nie tylko nakładów finansowych, lecz także kompleksowego podejścia strategicznego, uwzględniającego lokalne uwarunkowania i potencjał endogeniczny (Sekuła i in., 2023; Suchodolski, 2023).

Dane wykorzystane w analizie pochodzą przede wszystkim z Banku Danych Lokalnych GUS, ze sprawozdań budżetowych JST oraz z dokumentów planistycznych gmin. Okres badania empirycznego obejmuje lata 2014–2023. Dla konstrukcji WSB wykorzystano dane za lata 2014–2022 (tabela 6). W analizie wskaźniki przedsiębiorczości zostały znormalizowane na 10 tys. mieszkańców, nie wprowadzono jednak deflacji wartości budżetowych, co stanowi ograniczenie, które należy uwzględnić w interpretacji długookresowych trendów nominalnych.

## METODYKA BADAŃ (HIPOTEZY, CELE, METODY I OBSZAR BADAWCZY)

Celem głównym artykułu jest opisowe zidentyfikowanie roli funduszy unijnych w kształtowaniu potencjału endogenicznego gmin oraz badanie współwystępowania intensywności ich absorpcji z wybranymi wskaźnikami peryferyzacji społeczno-ekonomicznej. Badanie wpisuje się w nurt współczesnych analiz regionalnych, koncentrujących się na relacji między mechanizmami interwencji finansowej a zdolnością jednostek samorządu terytorialnego (JST) do kształtowania trwałych i zrównoważonych ścieżek rozwoju. Zgodnie z założeniami badanie realizuje trzy cele szczegółowe:

1. Ocena współwystępowania intensywności wykorzystania funduszy unijnych (mierzonej udziałem w dochodach własnych JST) z wybranymi wskaźnikami rozwoju endogenicznego (m.in. przedsiębiorczość).
2. Badanie zależności między intensywnością wykorzystania funduszy unijnych a wskaźnikami peryferyzacji społeczno-ekonomicznej.
3. Ocena współwystępowania intensywności wykorzystania funduszy unijnych z wskaźnikiem stabilności budżetowej JST (WSB) w kontekście długookresowej samodzielności finansowej.

W artykule sformułowano dwie hipotezy badawcze, przy czym podkreśla się, że ich weryfikacja ma charakter korelacyjno-opisowy i nie prowadzi do wnioskowania przyczynowego.

Pierwsza hipoteza (H1) zakłada, że intensywność absorpcji funduszy unijnych występuje z poziomem rozwoju potencjału endogenicznego gmin; charakter tej relacji zależy od zdolności absorpcyjnej JST i od jakości zarządzania (zmienne te traktowane są jako kontekst teoretyczny i nie były empirycznie mierzone).

Druga hipoteza (H2) zakłada, że intensywność absorpcji funduszy unijnych występuje ze zróżnicowanym stopniem peryferyzacji społeczno-ekonomicznej, przy czym obserwowane są odmienne wzorce lokalne.

W artykule zastosowano podejście eksploracyjno-opisowe, łączące metody ilościowe i jakościowe. Metody ilościowe obejmują:

- analizę korelacyjną (współczynnik Pearsona  $r$ ) do opisu współwystępowania między intensywnością wykorzystania funduszy unijnych a wybranymi wskaźnikami (dochody własne JST, liczba zarejestrowanych podmiotów, nowe rejestracje, wyrejestrowania, działalność osób fizycznych),
- proste regresje liniowe ( $\beta_1$ ) ilustrujące kierunek i orientacyjną siłę związku (bez kontroli zakłócających zmiennych).

Z kolei metody jakościowe obejmują:

- analizę opisową wybranych gmin (dokumenty planistyczne, raporty) o charakterze deskryptywnym, bez procedur kodowania jakościowego,
- przegląd praktyk alokacji funduszy (dobrych i złych praktyk) o charakterze eksploracyjnym.

Zastosowane metody korelacyjne i opisowe nie pozwalają jednak na wykazanie związków przyczynowo-skutkowych. Wnioski odnoszą się wyłącznie do współwystępowania zmiennych i nie przesądzają o kierunku ani mechanizmie zależności. W przyszłych badaniach rekomendujemy zastosowanie analiz panelowych, modeli quasi-eksperymentalnych (np. DID, EFA/CFA czy SEM) oraz kontroli zmiennych makro- i lokalnych, aby lepiej odróżnić korelację od wpływu.

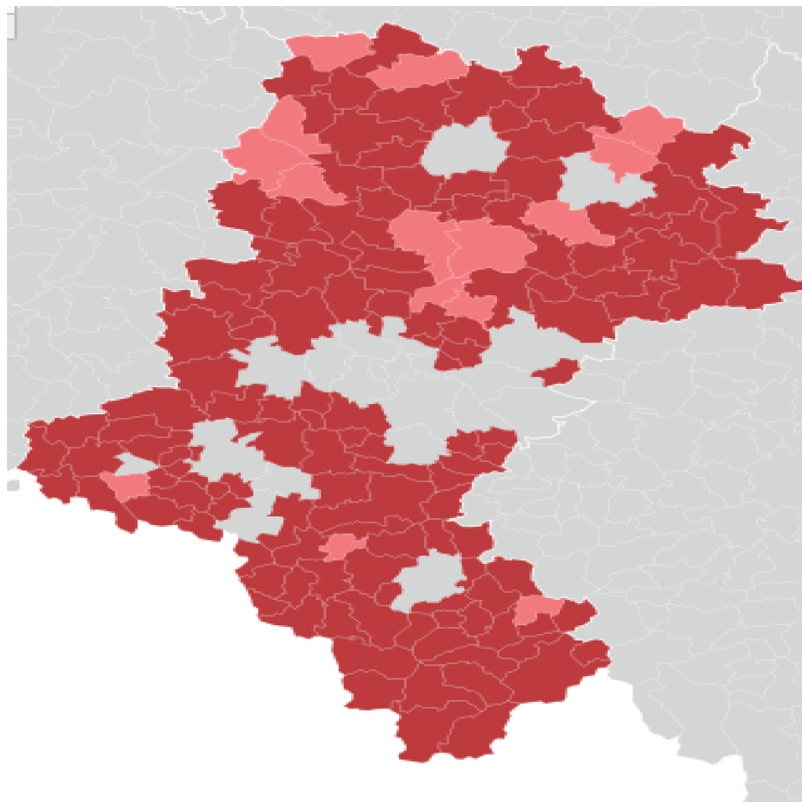
Badanie dotyczy wybranych gmin województwa śląskiego, które zostały wyselekcjonowane na podstawie operacjonalizowanego kryterium: średni udział funduszy unijnych w dochodach własnych JST w latach 2014–2023 powyżej średniej wojewódzkiej (punkt odniesienia stanowiła analiza wszystkich 148 gmin województwa, rycina 1). Selekcja na podstawie udziału funduszy oznacza, że próba jest ukierunkowana na jednostki o ponadprzeciętnej absorpcji, co ogranicza generalizację wyników na wszystkie gminy województwa (tabela 1).

Tabela 1. Średni udział funduszy unijnych w budżetach gmin w latach 2014–2023

Rodzaj gminy	Średni udział funduszy unijnych
Gminy o wysokim finansowaniu (> 30%)	Kornowac, Kroczyce, Ożarówice, Przystajń
Gminy o umiarkowanym finansowaniu (30–25%)	Mierzęcice, Chybie, Żarki, Ciasna, Przysrów, Koziegłowy, Dąbrowa Zielona, Łękawica
Gminy o niskim finansowaniu (< 24%)	Woźniki, Lipie, Kochanowice

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Rycina 1. Średni udział funduszy unijnych w dochodach własnych gmin w latach 2014–2023



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Absorpcja funduszy unijnych została określona na podstawie średniego udziału tych środków w dochodach własnych w latach 2014–2023. Klasyfikacja peryferyzacji (niski/średni/wysoki) ma charakter opisowy i opiera się na kryteriach takich jak położenie geograficzne, dostępność transportowa, struktura gospodarcza i poziom przedsiębiorczości, przy czym nie wykorzystano syntetycznego indeksu peryferyzacji. Należy traktować tę klasyfikację jako pomocniczą i interpretować ją z pewną ostrożnością (tabela 2).

Tabela 2. Podział gmin według poziomu absorpcji funduszy unijnych i peryferyzacji

Gmina	Średnia absorpcja środków UE (2014–2023)	Poziom peryferyzacji	Charakterystyka peryferyzacji i absorpcji środków UE
Chybie	28%	średni	Dobre połączenie z aglomeracją bielską, ale problem z odpływem ludności i ZE starzeniem się społeczeństwa.
Ciasna	24%	wysoki	Położenie na obrzeżach województwa śląskiego, ograniczone inwestycje prywatne.
Dąbrowa Zielona	24%	wysoki	Gmina o niskiej gęstości zaludnienia, silna zależność od rolnictwa.
Kochanowice	21%	wysoki	Brak większych inwestycji infrastrukturalnych, odpływ ludności.

Kornowac	38%	średni	Bliskość Rybnika, ale problem z migracją ludności i ograniczonym rynkiem pracy.
Koziegłowy	24%	średni	Dobre położenie przy DK1, ale niski poziom rozwoju usług i przemysłu.
Kroczyce	37%	średni	Turystyka (Jura Krakowsko-Częstochowska), ale słaba infrastruktura i niska mobilność zawodowa.
Lipie	22%	wysoki	Silna peryferyzacja, dominacja rolnictwa, niska dynamika inwestycji prywatnych.
Łękawica	24%	wysoki	Gmina położona w obszarze podgórskim, słaba dostępność komunikacyjna.
Mierzęcice	29%	niski	Korzystna lokalizacja blisko Katowic i Pyrzowic. Duże inwestycje w infrastrukturę transportową.
Ożarówice	34%	niski	Sąsiedztwo międzynarodowego lotniska, rozwój transportu i logistyki.
Przyrów	24%	wysoki	Wysoka peryferyzacja, niewielki rynek pracy, ograniczona infrastruktura.
Przystajń	30%	średni	Wiejska gmina z dobrą absorpcją środków, ale wysokim stopniem uzależnienia od rolnictwa.
Woźniki	23%	średni	Bliskość Katowic, problem z aktywizacją zawodową mieszkańców.
Żarki	25%	średni	Silny rozwój turystyki i sektora MŚP, ale ograniczona dostępność komunikacyjna.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS oraz literatury

Tabela 3. Podział gmin według typu administracyjnego i odległości od najbliższego miasta powiatowego oraz Katowic (jako głównego ośrodka metropolitalnego regionu)

Gmina	Typ gminy	Miasto powiatowe	Odległość od miasta powiatowego (km)	Odległość od Katowic (km)
Kornowac	wiejska	Rybnik	11	58
Kroczyce	wiejska	Zawiercie	14	67
Ożarówice	wiejska	Tarnowskie Góry	14	28
Przystajń	wiejska	Kłobuck	21	89
Mierzęcice	wiejska	Będzin	15	32
Chybie	wiejska	Cieszyn	12	80
Żarki	miejsko-wiejska	Myszków	8	52
Ciasna	wiejska	Lubliniec	13	89
Przyrów	wiejska	Częstochowa	34	92
Koziegłowy	miejsko-wiejska	Myszków	12	46
Dąbrowa Zielona	wiejska	Częstochowa	37	105
Łękawica	wiejska	Żywiec	8	84
Woźniki	miejsko-wiejska	Lubliniec	16	42
Lipie	wiejska	Kłobuck	11	97
Kochanowice	wiejska	Lubliniec	10	85

Źródło: opracowanie własne

## WYNIKI – ANALIZA KORELACJI MIĘDZY FUNDUSZAMI UNIJNYMI A WSKAŹNIKAMI PRZEDSIĘBIORCZOŚCI I STABILNOŚCI BUDŻETOWEJ

W kontekście badań korelacji między poziomem otrzymanego finansowania zewnętrznego (fundusze unijne) a stopniem peryferyzacji społeczno-ekonomicznej gmin za najbardziej trafne i diagnostyczne wskaźniki uznano liczbę podmiotów wpisanych do rejestru REGON na 10 tys. mieszkańców oraz liczbę nowo zarejestrowanych jednostek gospodarczych w rejestrze REGON na 10 tys. mieszkańców. Wskaźniki te w sposób pośredni, lecz bardzo istotny odzwierciedlają ogólną aktywność gospodarczą danego obszaru, a tym samym stanowią istotną miarę jego potencjału endogenicznego oraz zdolności generowania lokalnego wzrostu i zatrudnienia. Wysoka liczba aktywnych i nowo powstających podmiotów gospodarczych może świadczyć o korzystnym klimacie inwestycyjnym, odpowiedniej strukturze usługowo-produkcyjnej oraz sprzyjających warunkach instytucjonalnych i infrastrukturalnych.

Z perspektywy badania relacji między alokacją funduszy unijnych a ograniczaniem procesów peryferyzacyjnych wybrane wskaźniki pozwalają uchwycić nie tylko efekty bezpośrednie (np. wynikające z dotacji inwestycyjnych), lecz także efekty pośrednie, przejawiające się w aktywizacji lokalnego rynku pracy i przedsiębiorczości. Ich zastosowanie umożliwia więc kompleksową ocenę współwystępowania zmiennych związanych z interwencją funduszy unijnych i stanem rozwoju lokalnego.

W celu pogłębienia analizy relacji między wykorzystaniem funduszy unijnych a poziomem aktywności gospodarczej jednostek samorządu terytorialnego uwzględniono zestaw dodatkowych wskaźników, które stanowią istotne uzupełnienie głównych miar przedsiębiorczości oraz potencjału endogenicznego regionów.

Pierwszym z nich jest liczba jednostek wykreślonych z rejestru REGON na 10 tys. mieszkańców, która może stanowić wskaźnik problemów strukturalnych lokalnego rynku – wysoka wartość tego wskaźnika często wskazuje na niekorzystne warunki prowadzenia działalności gospodarczej, niską trwałość firm oraz ograniczoną zdolność przetrwania na konkurencyjnym rynku.

Drugim wskaźnikiem jest liczba osób fizycznych prowadzących działalność gospodarczą na 10 tys. mieszkańców. Miara ta obrazuje skalę samozatrudnienia, które w kontekście obszarów peryferyjnych pełni często funkcję kompensacyjną wobec deficytów zatrudnienia etatowego i może świadczyć o poziomie lokalnej inicjatywy gospodarczej oraz elastyczności rynku pracy.

Trzecim wskaźnikiem jest udział podmiotów wyrejestrowanych w ogólnej liczbie jednostek wpisanych do rejestru REGON, który może być interpretowany jako współczynnik stabilności sektora gospodarczego. Wysoki poziom tego wskaźnika może sygnalizować nadmierną fluktuację działalności gospodarczej i brak trwałości firm, co w ujęciu długofalowym osłabia zdolność JST do utrzymania zrównoważonego rozwoju.

Aby określić statystyczne zależności między poziomem funduszy unijnych a aktywnością przedsiębiorczą, zastosowano współczynnik korelacji liniowej Pearsona ( $r$ ), który pozwala ocenić siłę i kierunek współwystępowania zmiennymi ilościowymi. W przeprowadzonej analizie (tabela 4) jako zmienną zależną przyjęto wskaźnik przedsiębiorczości – liczbę nowo zarejestrowanych podmiotów gospodarczych na 10 tys. mieszkańców, natomiast zmiennymi niezależnymi były: udział funduszy unijnych w dochodach własnych JST (%) oraz wartość dochodu własnego JST.

Tabela 4. Analiza korelacji między funduszami unijnymi, dochodem własnym a nowo zarejestrowanymi firmami

Gmina	r (fundusze UE vs nowe firmy)	r (dochód własny vs nowe firmy)	r (fundusze UE vs dochód własny)
Ożarówice	-0.42	0.11	0.87
Kornowac	-0.55	-0.32	0.91
Kroczyce	-0.60	-0.44	0.88
Chybie	-0.50	-0.30	0.93
Koziegłowy	0.24	0.58	0.81
Ciasna	0.05	0.31	0.79
Przystajń	-0.45	-0.33	0.85
Kochanowice	0.19	0.35	0.73
Mierzęcice	-0.58	-0.40	0.92
Przyrów	-0.37	-0.29	0.81
Łękawica	0.22	0.48	0.78
Żarki	-0.18	0.21	0.83
Dąbrowa Zielona	-0.33	-0.27	0.87
Woźniki	-0.51	-0.45	0.89

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

W badanej próbie wystąpiła średnia ujemna korelacja między udziałem funduszy unijnych a wybranymi miarami dynamiki rejestracji podmiotów gospodarczych ( $r = -0,37$ ). Jest to opis obserwowanego współwystępowania, a nie dowód wpływu przyczynowego. Możliwe interpretacje tego wzorca (w sensie hipotez wymagających dalszych badań przyczynowych) obejmują m.in. dominację projektów infrastrukturalnych o małym komponentcie dla sektora MŚP, strukturalne braki kapitału ludzkiego w gminach peryferyjnych oraz cykliczny charakter inwestycji.

Korelacja między dochodami własnymi JST a miarami przedsiębiorczości była słaba ( $r = -0,19$  w ujęciu ogólnym), co interpretuje się wyłącznie jako współwystępowanie w danych. Aby uzyskać pełniejszy obraz, należałoby kontrolować strukturę dochodów (np. podatkową i niefiskalną), wielkość gminy i inne czynniki.

Korelacja między udziałem funduszy unijnych a dochodami własnymi JST okazała się wysoka i dodatnia ( $r = 0,87$ ). To opis współwystępowania: gminy o wyższym udziale funduszy unijnych w dochodach jednocześnie wykazywały wyższe dochody własne w badanym okresie. Interpretacja mechanizmu wymaga jednak ostrożności – korelacja nie przesądza bowiem o kierunku zależności ani o jej przyczynowości.

W badaniu zastosowano współczynnik korelacji Pearsona (tabela 5), obejmując m.in. relacje między:

- funduszami unijnymi a rozwojem firm (nowe rejestracje, ogólna liczba zarejestrowanych, jednoosobowa działalność),
- dochodem własnym JST a przedsiębiorczością,
- udziałem wyrejestrowanych firm a liczbą nowych rejestracji.

Interpretacja uzyskanych wartości opierała się na standardowej skali oceny siły korelacji, uwzględniającej zarówno dodatnie, jak i ujemne współwystępowania między badanymi zmiennymi. Wyniki wykazują heterogeniczność wzorców między gminami i dowodzą potrzeby stosowania badań uzupełniających (metody przyczynowe, analizy panelowe, analizy jakościowe ze ścisłym opracowaniem procedur), aby wyjaśnić mechanizmy leżące u podstaw współwystępowania.

Tabela 5. Współwystępowania funduszy unijnych, dochodu własnego JST i wskaźników przedsiębiorczości

Gmina	r (fundusze UE i nowe firmy)	r (fundusze UE i liczba firm)	r (fundusze UE i firmy osób fiz.)	r (dochód JST i nowe firmy)	r (wyrejestrowania vs nowe firmy)
Ożarówice	-0.42	-0.29	-0.35	0.11	-0.47
Koziegłowy	0.24	0.31	0.38	0.58	-0.35
Żarki	-0.18	-0.12	-0.21	0.21	-0.50
Mierzęcice	-0.58	-0.44	-0.52	-0.40	-0.60
Woźniki	-0.51	-0.37	-0.45	-0.45	-0.55
Lipie	-0.29	-0.18	-0.26	-0.22	-0.41
Kochanowice	0.19	0.27	0.33	0.35	-0.48
Kornowac	-0.55	-0.43	-0.51	-0.32	-0.57
Przystajń	-0.45	-0.35	-0.42	-0.33	-0.52
Chybie	-0.50	-0.41	-0.44	-0.30	-0.60
Kroczyce	-0.60	-0.50	-0.53	-0.44	-0.61
Ciasna	0.05	0.14	0.21	0.31	-0.42
Przyrów	-0.37	-0.27	-0.34	-0.29	-0.49
Dąbrowa Zielona	-0.33	-0.28	-0.31	-0.27	-0.62
Łękawica	0.22	0.30	0.34	0.48	-0.39

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Testowanie korelacyjne nie wykazuje pozytywnego związku funduszy unijnych z rozwojem przedsiębiorczości. W przeważającej liczbie przypadków zależności między wysokością pozyskanych środków a liczbą nowych firm, firm ogółem oraz działalnością osób fizycznych są ujemne, co sugeruje, że finansowanie zewnętrzne nie przekłada się na wzrost aktywności gospodarczej.

Wyniki wykazują heterogeniczność, ponieważ w niektórych gminach (np. Koziegłowy, Kochanowice, częściowo Łękawica) obserwowano słabe dodatnie współwystępowania między udziałem funduszy a miarami przedsiębiorczości, podczas gdy w większości jednostek dominowały współwystępowania ujemne. Takie zróżnicowanie sugeruje istnienie efektów lokalnych, które nie zostały ujęte w prostych analizach korelacyjnych.

Dochody własne JST częściej niż fundusze UE wykazują pozytywny związek z liczbą nowych firm, jednak siła tych zależności pozostaje umiarkowana. Może to sugerować, że stabilność finansowa gmin jest ważniejszym czynnikiem rozwoju przedsiębiorczości niż poziom absorpcji funduszy unijnych.

Wyniki ogólne wskazują więc, że zewnętrzne finansowanie częściej wzmacnia potencjał budżetowy JST niż bezpośrednio stymuluje sektor MŚP, a w wielu gminach wskaźniki przedsiębiorczości pozostają słabe lub ulegają pogorszeniu mimo wysokiego poziomu pozyskanych środków.

## EKONOMETRYCZNA ANALIZA RELACJI FUNDUSZY UNIJNYCH I STABILNOŚCI BUDŻETOWEJ JST

Celem przeprowadzonej analizy było opisanie współwystępowania między intensywnością wykorzystania funduszy unijnych a wskaźnikiem stabilności budżetowej (WSB). Badanie miało charakter opisowy i korelacyjny (tabela 6). Nie zastosowano metod

umożliwiających wnioskowanie przyczynowo-skutkowe. Dane użyte do obliczeń pochodzą z GUS za lata 2014–2022 i zostały wykorzystane do konstrukcji wskaźnika WSB.

W celu uchwycenia relacji zastosowano wskaźnik stabilności budżetowej (WSB), który jest definiowany następująco:

$$WSB = \frac{\text{dochody własne}}{\text{wydatki majątkowe inwestycyjne}}$$

Wskaźnik ten obrazuje stopień pokrycia wydatków inwestycyjnych dochodami własnymi JST. Niższe wartości WSB sugerują większe finansowanie inwestycji z zewnętrznych źródeł (w tym funduszy unijnych), lecz interpretacja takiego wyniku wymaga uwzględnienia cyklu inwestycyjnego: okresy intensywnej inwestycji obniżają WSB, co niekoniecznie oznacza trwałą niestabilność budżetu. Ponadto WSB nie uwzględnia elementów takich jak amortyzacja, przychody ze sprzedaży aktywów czy struktura zadłużenia, dlatego wskaźnik ten ma charakter opisowy i nie stanowi pełnej miary stabilności finansowej.

Tabela 6. Analiza ekonometryczna relacji dochodów własnych do wydatków inwestycyjnych (2014–2022)

Gmina	r (UE vs. WSB)	$\beta_1$ (regresja)	p-wartość
Ożarówice	-0.76	-0.98	0.003
Koziegłowy	-0.63	-0.75	0.012
Żarki	-0.58	-0.68	0.018
Mierzęce	-0.81	-1.02	0.002
Woźniki	-0.69	-0.83	0.009
Lipie	-0.52	-0.58	0.032
Kochanowice	-0.40	-0.46	0.076
Kornowac	-0.74	-0.93	0.005
Przystajń	-0.67	-0.79	0.011
Chybie	-0.65	-0.77	0.013
Kroczyce	-0.80	-1.05	0.002
Ciasna	-0.59	-0.72	0.019
Przyrów	-0.53	-0.61	0.029
Dąbrowa Zielona	-0.46	-0.50	0.051
Łękawica	-0.35	-0.41	0.082

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Tabela przedstawia ujemne współwystępowania między udziałem funduszy unijnych a wskaźnikiem stabilności budżetowej (WSB) w badanych gminach. Siła współwystępowania jest zróżnicowana (od bardzo silnej i istotnej statystycznie do słabej i nieistotnej), co wskazuje na potrzebę dalszych analiz przyczynowych i kontrolujących zmienne zakłócające.

Na podstawie siły współwystępowania i poziomu istotności można wyróżnić cztery grupy gmin:

- Bardzo silne i istotne ujemne współwystępowanie ( $r \leq -0,75$ ;  $p < 0,01$ ).
- Silne i istotne ujemne współwystępowanie ( $-0,74 < r \leq -0,60$ ;  $p < 0,05$ ).
- Umiarkowane ujemne współwystępowanie ( $-0,59 < r \leq -0,50$ ;  $p < 0,05$ ).
- Słabe lub nieistotne współwystępowanie ( $r > -0,50$  lub  $p > 0,05$ ).

W badanych gminach zaobserwowano ujemne współwystępowania między udziałem funduszy unijnych a WSB – współczynnik  $r$  przyjmuje wartości ujemne, a w większości przypadków proste regresje liniowe ( $\beta_1$ ) wskazują ujemną orientację związku (wiele wyników jest statystycznie istotnych,  $p < 0,05$ ). W okresach silnej absorpcji funduszy unijnych relatywny udział dochodów własnych w wydatkach inwestycyjnych był niższy – to obserwacja korelacyjna. Aby ocenić wpływ funduszy na stabilność, potrzebne są analizy panelowe z kontrolą struktury finansowania (środki krajowe, środki własne, zadłużenie) oraz modelowanie opóźnień czasowych.

## BAZA DANYCH I CHARAKTERYSTYKA PROJEKTÓW DLA WYBRANYCH GMIN WOJEWÓDZTWA ŚLĄSKIEGO

Utworzenie bazy danych dotyczącej funduszy unijnych dla wybranych gmin województwa śląskiego stanowi istotny element analizy potencjału rozwojowego jednostek samorządu terytorialnego. Zebranie i usystematyzowanie informacji na temat typów projektów, programów finansujących oraz obszarów wsparcia umożliwi ocenę struktur i kierunków wykorzystania funduszy. Interpretacje w tabeli sformułowano opisowo – kierunki finansowania i dominujące obszary, bez twierdzeń o wpływie przyczynowym. Kluczowe dane przedstawiono w tabeli 7, natomiast tabela 8 zawiera zestawienie liczby pozyskanych projektów oraz wartości dofinansowania w latach 2014–2023, co pozwala na identyfikację poziomu aktywności inwestycyjnej poszczególnych gmin. Dane o pozostałych źródłach finansowania w tabeli 8 obejmują przykładowe programy krajowe i inne źródła współfinansowania w analizowanym okresie – nie stanowią one pełnej listy możliwości finansowania.

Tabela 7. Kluczowe informacje o programach i typach projektów finansowanych w wybranych gminach województwa śląskiego

Gmina	Typ projektów	Typ programu	Interpretacja
Kornowac	infrastruktura drogowa, edukacja	Rządowy Fundusz Rozwoju Dróg RFRD (dawniej Fundusz Dróg Samorządowych), Fundusze UE (Infrastruktura i Środowisko, Wiedza Edukacja Rozwój)	Silna zależność od środków unijnych i rządowych na modernizację infrastruktury.
Kroczyce	turystyka, ochrona środowiska	Fundusze UE (Regionalny Program dla województwa śląskiego), NFOŚiGW	Wsparcie związane z rozwojem turystyki.
Ożarówce	transport, infrastruktura techniczna	Fundusze UE (Fundusz Spójności), Rządowy Fundusz Polski Ład	Bliskość lotniska Pyrzowice sprzyja rozwojowi infrastruktury.
Przystajń	gospodarka wodno-ściekowa, drogi	Fundusze UE (Program Rozwoju Obszarów Wiejskich (PROW)), Rządowy Fundusz Rozwoju Dróg	Gmina o dużym udziale rolnictwa, inwestycje w infrastrukturę wiejską.

Mierzęcice	infrastruktura transportowa, energetyka	Fundusze UE (Fundusz Spójności), NFOŚiGW	Wsparcie projektów transportowych związanych z dostępnością lotniska Katowice-Pyrzowice.
Chybie	ochrona środowiska, infrastruktura społeczna	Fundusze UE (Regionalny Program dla województwa śląskiego), NFOŚiGW	Projekty dotyczące ochrony wód i gospodarki odpadami.
Żarki	rewitalizacja, turystyka, drogi	Fundusze UE (Fundusz Spójności), Rządowy Program Odbudowy Zabytków	Rozwój lokalny poprzez inwestycje w infrastrukturę turystyczną i historyczną.
Ciasna	oświata, odnawialne źródła energii	Fundusze UE (Europejski Fundusz Społeczny, Infrastruktura i Środowisko) NFOŚiGW, POiŚ	Projekty edukacyjne oraz związane z transformacją energetyczną.
Przyrów	gospodarka wodna, infrastruktura publiczna	PROW, Rządowy Fundusz Inwestycji Lokalnych	Wiejska gmina inwestująca w podstawową infrastrukturę publiczną.
Koziegłowy	infrastruktura drogowa, ekologia	RFRD, Fundusze UE (RPO, POiŚ)	Modernizacja dróg i rozwój ekologicznego transportu.
Dąbrowa Zielona	gospodarka wodna, odnawialne źródła energii	PROW, NFOŚiGW	Wsparcie dla gmin wiejskich w zakresie infrastruktury wodnej i OZE.
Łękawica	ochrona środowiska, infrastruktura społeczna	Fundusze UE (RPO, EFS), NFOŚiGW	Wsparcie projektów ekologicznych i modernizacja budynków publicznych.
Woźniki	transport, oświata, cyfryzacja	RFRD, Fundusze UE (Polska Cyfrowa)	Inwestycje w poprawę dostępności transportowej i cyfryzację JST.
Lipie	infrastruktura komunalna, OZE	Fundusze UE (RPO, PROW), NFOŚiGW	Rozwój gospodarki niskoemisyjnej w gminach peryferyjnych.
Kochanowice	rewitalizacja, odnawialne źródła energii	Rządowy Program Odbudowy Zabytków, NFOŚiGW	Koncentracja na ochronie dziedzictwa i zielonej transformacji.

Źródło: opracowanie własne na podstawie dokumentów planistycznych

Tabela 8. Liczba pozyskanych projektów i wartości dofinansowania (2014–2023)

Gmina	Liczba pozyskanych projektów UE	Środki unijne (mln zł)	Pozostałe programy finansowania
Przystajń	6	12,5	PROW, RFRD, Rządowy Fundusz Inwestycji Lokalnych
Mierzęcice	10	21,1	Fundusz Spójności, NFOŚiGW, RFRD
Chybie	7	14,8	NFOŚiGW, Polski Ład, PROW
Żarki	15	32,4	Fundusz Spójności, Rządowy Program Odbudowy Zabytków
Ciasna	4	8,7	NFOŚiGW, Polski Ład, PROW
Przyrów	3	5,2	PROW, Polski Ład
Koziegłowy	9	18,6	Fundusz Spójności, RFOZ, RFRD
Dąbrowa Zielona	4	7,8	PROW, Polski Ład
Łękawica	5	10,3	Fundusz Spójności, NFOŚiGW
Woźniki	11	25,1	Fundusz Spójności, RFOZ, RFRD

Lipie	6	13,4	PROW, Polski Ład, RFRD
Kochanowice	7	16,5	NFOŚiGW, Polski Ład, RFRD
Kornowac	8	15,4	RFRD, Polski Ład, PROW
Kroczyce	7	13,2	NFOŚiGW, Fundusz Spójności
Ożarówice	12	28,7	Fundusz Spójności, Polski Ład, NFOŚiGW

Źródło: opracowanie własne na podstawie dokumentów planistycznych

## PRZEGLĄD DOBRZYCH I ZŁYCH PRAKTYK W ZAKRESIE ALOKACJI ŚRODKÓW UNIJNYCH DLA WYBRANYCH GMIN WOJEWÓDZTWA ŚLĄSKIEGO

Przeгляд dobrych i złych praktyk ma charakter opisowy i eksploracyjny, a także służy identyfikacji powtarzalnych schematów alokacji funduszy unijnych, bez formułowania twierdzeń o skutkach przyczynowych realizowanych projektów (tabela 9).

Tabela 9. Przeгляд dobrych i złych praktyk w alokacji funduszy unijnych

Gmina	Dobre praktyki	Zastrzeżenia / obszary wymagające poprawy
Kornowac	Skuteczna modernizacja infrastruktury drogowej przy wykorzystaniu programów krajowych i unijnych (np. RFRD, RPO)	Brak spójnej strategii długoterminowej integrującej inwestycje z rozwojem lokalnym
Kroczyce	Wykorzystanie programów unijnych na rozwój turystyki i ochrony środowiska	Problemy z trwałością niektórych projektów (np. ograniczona promocja infrastruktury turystycznej)
Ożarówice	Inwestycje infrastrukturalne związane z dostępnością lotniska Katowice–Pyrzowice	Wysoki udział finansowania zewnętrznego w strukturze inwestycji; ograniczona dywersyfikacja źródeł (opis współwystępowania, nie twierdzenie o przyczynowości)
Przystajń	Wykorzystanie PROW na rozwój infrastruktury wiejskiej	Ograniczona aktywność w pozyskiwaniu programów ukierunkowanych na rozwój przedsiębiorczości
Mierzęcice	Kompleksowe inwestycje w infrastrukturę i gospodarkę wodno-ściekową	Słaba efektywność projektów społecznych i edukacyjnych
Chybie	Projekty ekologiczne, np. ochrona wód i gospodarka odpadami	Słabe powiązanie inwestycji infrastrukturalnych z lokalnym rynkiem pracy
Żarki	Rewitalizacja obszarów miejskich, rozwój funkcji turystycznych	Opóźnienia w realizacji niektórych projektów z RPO
Ciasna	Wsparcie dla edukacji i projektów OZE w ramach programów krajowych i UE	Niska absorpcja środków na transport publiczny
Przyrów	Inwestycje w gospodarkę wodną i infrastrukturę komunalną	Niewystarczająca aktywność w pozyskiwaniu nowych programów unijnych
Koziegłowy	Inwestycje w ekologiczną mobilność i drogi	Brak kompleksowego planu modernizacji infrastruktury miejskiej
Dąbrowa Zielona	Projekty OZE i infrastruktura wodna	Trudności we wdrażaniu projektów społecznych i cyfryzacyjnych
Łękawica	Projekty ekologiczne wspierane przez NFOŚiGW i programy UE	Niska absorpcja środków UE na rozwój gospodarczy
Woźniki	Inwestycje w cyfryzację i poprawę dostępności transportowej	Problemy z utrzymaniem nowo powstałych obiektów publicznych

Lipie	Wsparcie dla przedsiębiorczości lokalnej i infrastruktury rolniczej	Niska aktywność w projektach edukacyjnych i społecznych
Kochanowice	Rewitalizacja obiektów zabytkowych	Ograniczone inwestycje w transport i komunikację

Źródło: opracowanie własne na podstawie dokumentów planistycznych

Z wyników zebranych w tabeli wynika, że gminy z najlepszymi praktykami w alokacji funduszy unijnych charakteryzują się zintegrowanym wykorzystaniem programów na rozwój infrastruktury, gospodarki wodno-ściekowej i cyfryzacji, co w analizowanym okresie kojarzyło się z dłuższymi okresami użytkowania wybudowanych obiektów. Gminy z problematycznymi aspektami alokacji częściej wykazywały trudności w przekładaniu dostępnych środków na rozwój przedsiębiorczości i innowacji. Gminy realizujące inwestycje bez spójnych strategii długoterminowych częściej notowały słabsze powiązanie inwestycji z lokalnym rynkiem pracy. Natomiast gminy o wysokim udziale finansowania zewnętrznego w strukturze inwestycji cechowały się wyższym stopniem zależności od źródeł zewnętrznych.

## ZAKOŃCZENIE

Na podstawie przeprowadzonych badań empirycznych o charakterze opisowym i korelacyjnym, obejmujących metody zarówno ilościowe, jak i jakościowe, sformułowano następujące wnioski:

- Współwystępowanie: w badanych gminach udział funduszy unijnych występował z wyższymi dochodami własnymi JST (średnia korelacja  $r = 0,87$ ). Jest to obserwacja korelacyjna.
- Brak jednoznacznej dodatniej korelacji z przedsiębiorczością: w próbie odnotowano średnie ujemne współwystępowanie między udziałem funduszy a wybranymi miarami przedsiębiorczości ( $r = -0,37$ ). Możliwe wyjaśnienia obejmują dominację projektów infrastrukturalnych, brak komponentów wspierających MŚP, cykliczność inwestycji oraz odwrotną zależność. Hipotezy te wymagają badań przyczynowych.
- Struktura alokacji: obserwowano koncentrację środków na inwestycjach infrastrukturalnych przy relatywnie mniejszym udziale programów bezpośrednio ukierunkowanych na wspieranie przedsiębiorczości, co stanowi obserwację wymagającą dalszej weryfikacji.
- Stabilność budżetowa (WSB): w wielu gminach występowały ujemne współwystępowania między intensywnością absorpcji funduszy unijnych a WSB (w niektórych przypadkach  $r < -0,70$ ). Taka obserwacja może oznaczać większe wykorzystanie źródeł zewnętrznych do finansowania inwestycji, lecz interpretacja wymaga uwzględnienia cyklu inwestycyjnego i struktury finansowania JST.
- Praktyczne rekomendacje: wyniki badania mogą być wykorzystane przez decydentów i urzędników JST odpowiedzialnych za zarządzanie rozwojem lokalnym, a także przez interesariuszy procesu programowania i wdrażania interwencji funduszy Unii Europejskiej, w szczególności w zakresie lepszego dopasowania instrumentów wsparcia do lokalnych uwarunkowań, dywersyfikacji źródeł finansowania oraz wzmocnienia kompetencji instytucjonalnych.

Oryginalny wkład artykułu polega na systematycznym połączeniu danych ilościowych pochodzących z bazy danych projektów z analizą korelacyjną oraz przeglądem

praktyk alokacji funduszy unijnych, co pozwoliło na identyfikację zróżnicowanych lokalnie wzorców efektywności absorpcji środków.

Przeprowadzona analiza wykazała złożone i zróżnicowane współwystępowania między poziomem absorpcji funduszy unijnych, dochodami własnymi jednostek samorządu terytorialnego (JST) i wskaźnikami przedsiębiorczości lokalnej w badanych gminach województwa śląskiego. Pomimo silnych dodatnich korelacji między udziałem funduszy unijnych a dochodami własnymi JST ( $\text{śr. } r = 0,87$ ) nie zaobserwowano jednoznacznego, powszechnego współwystępowania prowadzącego do wzrostu liczby nowo rejestrowanych podmiotów gospodarczych ( $\text{śr. } r = -0,37$  dla wybranych miar przedsiębiorczości) oraz do rozwoju przedsiębiorczości.

Ewidencjonowanie i uporządkowanie danych o funduszach unijnych dla wybranych gmin umożliwiło identyfikację dominujących obszarów inwestycyjnych oraz typów programów wykorzystywanych w latach 2014–2023. Przegląd dobrych i złych praktyk wskazał, że gminy prowadzące działania wpisane w długofalowe strategie rozwoju i integrujące środki unijne z polityką lokalną częściej obserwowały pozytywne rezultaty użytkowe inwestycji. Natomiast w jednostkach pozbawionych spójnej wizji strategicznej występowały trudności z przekładaniem dostępnych funduszy na trwały rozwój lokalny.

## Literatura

## References

- Adamowicz, M. (2023). Lokalny model rozwoju jako element zrównoważonej strategii rozwojowej. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Ekonomia i Organizacja Logistyki*, 8(1), 9–33.
- Adamowicz, M., Zwolińska-Ligaj, M. (2021). *Lokalne strategie innowacji jako instrument kreowania innowacyjności i wspierania rozwoju*. Biała Podlaska: Wydawnictwo PSW im Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej.
- Biczkowska, M., Biczkowski, M. (2025). Wzmocnienie sektora usług na obszarach wiejskich Dolnego Śląska w świetle wdrażania funduszy Unii Europejskiej. *Czasopismo Geograficzne*, 96(1), 73–104. doi: <https://doi.org/10.12657/czageo-96-04>
- Biedka, W. (2021). Inwestycje w kapitał ludzki w ramach polityki spójności a rozwój regionalny. *Prace Geograficzne*, 164, 105–126.
- Churski, P. (2022). *Prawo do miasta a wyzwania polityki miejskiej w Polsce*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe Scholar.
- Grosel, M. (2023). Ku nowej definicji peryferyjności. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 63, 73–87.
- Heffner, K. (2023). Trendy migracyjne i ich znaczenie dla strategii rozwoju regionalnego – przykład województwa opolskiego. W: B. Solga (red.), *Migracje i rozwój regionu. Materiały z III Kongresu Demograficznego*. Cz. 7. Warszawa: Rządowa Rada Ludnościowa, 67–93.
- Heffner, K., Gibas, P. (2014). Regiony słabiej rozwinięte a efekty polityki spójności w Polsce. W: E. Pancer-Cybulska, E. Szostak (red.), *Polityka spójności w okresie 2014–2000*. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 36–52.
- Heffner, K., Latocha, A. (2021). Depopulacja i zanikające wsie w strukturze obszarów wiejskich pogranicza polsko-czeskiego. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 55, 67–89.
- Heffner, K., Twardzik, M. (2022). Rural areas in Poland – changes since joining the European Union. *European Countryside*, 14(2), 420–438.
- Jakubowski, A., Dołzbłasz, S., Komornicki, T., Matczak, R., Raczyk, A., Wiśniewski, R., Zaucha, J. (2024). Nowe kierunki współpracy transgranicznej w Polsce w kontekście zmieniających się uwarunkowań: perspektywy programowania 2021–2027 oraz po 2027 roku. *Komitet Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN*, 6, 1–9.
- Korenik, S. (2023). Nowa gospodarka a rozwój regionalny. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 67(3), 30–37.

- Korenik, S. (2023). The New Economy and Regional Development. *Research Papers of Wrocław University of Economics and Business*, 67(3). doi: <https://doi.org/10.15611/pn.2023.3.04>
- Korenik, S. (2024). *Czynniki i bariery rozwoju regionalnego w nowych uwarunkowaniach*. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.
- Musiak-Malago, M. (2022). Zintegrowane inwestycje terytorialne jako narzędzie wsparcia miejskich obszarów funkcjonalnych – studium przypadku. W: A. Martyka, D. Jopek, *Region, miasto, miasteczko. Nowe impulsy rozwojowe*. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 49–68.
- Sekuła, A., Miszczuk, A., Wojciechowska-Solis, J., Nucińska, J. (2023). *Zrównoważony rozwój lokalny. Podstawy teoretyczne i działania praktyczne*. Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.
- Sitek, S. (2016). *Uwarunkowania rozwoju lokalnego na obszarach przygranicznych*. Katowice: Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.
- Spychała, M., Spychała, J. (2022). Zróżnicowanie rozwoju regionalnego w Polsce, Czechach i na Słowacji. *Przegląd Prawno-Ekonomiczny*, 3, 131–149. doi: <https://doi.org/10.31743/ppe.13420>
- Suchodolski, M. (2023). Przedsiębiorczość na obszarach wiejskich Polski Wschodniej a migracje ludności-wzajemne relacje i skutki ekonomiczne. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Rzeszowski.
- Sykała, Ł. (2023). Miejsce odnowy wsi w systemie polityk rozwojowych i programów wsparcia obszarów wiejskich w Polsce. *Wieś i Rolnictwo*, 200(3), 73–97.

**Irena Żurawska-Bartosik**, dr, adiunkt, Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Wydział Gospodarki Przestrzennej i Transformacji Regionów, Katedra Gospodarki Przestrzennej i Środowiskowej. Zainteresowania naukowe autorki koncentrują się na problematyce rozwoju lokalnego i regionalnego, ze szczególnym uwzględnieniem uwarunkowań kształtowania bazy noclegowej w kontekście rozwoju turystyki. Obszary badawcze obejmują ponadto analizę determinant rozwoju gmin/powiatów, zagadnienia związane ze zrównoważonym rozwojem oraz z funkcjonowaniem gospodarki nieruchomościami w wymiarach lokalnym i regionalnym.

**Irena Żurawska-Bartosik**, PhD, University of Economics in Katowice, Poland, Faculty of Spatial Economy and Regions in Transition, Department of Spatial and Environmental Economy. Her research interests focus on issues of local and regional development, with particular emphasis on the determinants shaping the accommodation base in the context of tourism development. The research areas also include the analysis of factors influencing the development of municipalities and counties, issues related to sustainable development, and the functioning of the real estate economy at the local and regional levels.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6121-6564>

**Adres / Address:**

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach  
Wydział Gospodarki Przestrzennej i Transformacji Regionów  
Katedra Gospodarki Przestrzennej i Środowiskowej  
ul. ks. bpa S. Adamskiego 7  
40-069 Katowice, Polska  
e-mail: irena.zurawska-bartosik@uekat.pl

MONIKA NOVIELLO

Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Polska / University of the National Education Commission, Krakow, Poland

## Zastosowanie technologii Digital Twin w edukacji zawodowej jako odpowiedź na wyzwania Przemysłu 4.0

### The use of Digital Twin technology in vocational education as a response to the challenges of Industry 4.0

**Streszczenie:** Artykuł podejmuje analizę przemian zachodzących w obszarze Przemysłu 4.0 oraz ich implikacji dla kształcenia w szkołach branżowych, ze szczególnym uwzględnieniem technologii cyfrowego bliźniaka (Digital Twin, DT). W opracowaniu wskazano na rosnące znaczenie nowych kompetencji zawodowych oraz na wyzwania stojące przed uczniami w kontekście dynamicznego rozwoju technologii cyfrowych. Celem pracy jest przedstawienie możliwości integracji technologii cyfrowego bliźniaka z procesem dydaktycznym w szkołach branżowych jako istotnego elementu wspierającego rozwój kompetencji przyszłości. W artykule omówiono również rozwój technologii DT i przykładowe obszary jej zastosowań w Przemysle 4.0. Ponadto przedstawiono zmieniającą się rolę i wymagany zakres kompetencji, jakie powinni posiadać nauczyciele szkół branżowych, a także zaproponowano sposoby włączenia wybranych rozwiązań DT do programów nauczania. Badania oparto na analizie literatury przedmiotu, studiach przypadków wdrożeń technologii DT w szkołach w Niemczech oraz analizie rezultatów międzynarodowego projektu DiTwin. Wyniki potwierdzają zasadność i potrzebę wdrażania technologii DT w edukacji zawodowej jako narzędzia wspierającego nauczanie praktyczne oraz rozwój kompetencji technicznych i miękkich uczniów.

**Abstract:** The article examines the transformations taking place within the framework of Industry 4.0 and their implications for vocational education, with particular emphasis on Digital Twin (DT) technology. It highlights the growing importance of emerging occupational competences and the challenges faced by learners in the context of the rapid advancement of digital technologies. The aim of the study is to present the potential for integrating DT technology into the teaching and learning process in vocational schools as a key element supporting the development of future-oriented competences. The paper discusses the evolution of DT technology and selected areas of its application within Industry 4.0. It also explores the changing role of vocational school teachers and the expanded range of competences required in response to technological transformation. Furthermore, the study proposes practical approaches to incorporating selected DT solutions into vocational curricula. The research is based on a comprehensive review of the relevant literature, case studies of DT technology implementation in vocational schools in Germany, and an analysis of the outcomes of the international DiTwin project. The findings confirm the validity and necessity of implementing DT technology in vocational education as an effective tool for enhancing practical training and fostering the development of both technical and transversal (soft) skills among learners.

**Słowa kluczowe:** cyfrowy bliźniak, Projekt Erasmus, Przemysł 4.0, szkoły branżowe  
**Keywords:** Digital Twin, Erasmus Project, Industry 4.0, Vocational Schools

**Otrzymano:** 30 grudnia 2025

**Received:** 30 December 2025

**Zaakceptowano:** 18 lutego 2026

**Accepted:** 18 February 2026

**Sugerowana cytacja / Suggested citation:**

Noviello, M. (2026). Zastosowanie technologii Digital Twin w edukacji zawodowej jako odpowiedź na wyzwania Przemysłu 4.0. *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 40(1), 73--90. doi: <https://doi.org/10.24917/20801653.401.5>

## WSTĘP

Współczesne przemiany technologiczne, określane szeroko mianem Przemysłu 4.0, wprowadzają nowe wymagania wobec procesów produkcyjnych, systemów zarządzania oraz kompetencji zawodowych. Jednym z kluczowych narzędzi wspierających te zmiany jest technologia cyfrowego bliźniaka (Digital Twin, DT), która umożliwia tworzenie wirtualnych odpowiedników rzeczywistych systemów, maszyn czy procesów. Rozwój DT początkowo koncentrował się na sektorze przemysłowym, gdzie stanowił instrument optymalizacji produkcji, monitorowania operacji oraz przewidywania awarii. Stopniowo jednak technologia ta zaczęła znajdować zastosowanie w obszarze edukacji, oferując nowe możliwości kształcenia praktycznego, problemowego i kontekstualnego.

W edukacji zawodowej cyfrowe bliźniaki umożliwiają uczniom bezpieczne eksperymentowanie w środowisku symulacyjnym, testowanie procedur, diagnozowanie problemów oraz obserwację skutków podejmowanych decyzji, co sprzyja zastosowaniu teorii w praktyce. W kontekście systemów kształcenia zawodowego (VET) integracja DT pozwala na dostosowanie ścieżek edukacyjnych do indywidualnych potrzeb uczniów, rozwój kompetencji cyfrowych i operacyjnych oraz przygotowanie do pracy w złożonych, w pełni zautomatyzowanych środowiskach przemysłowych.

Artykuł podejmuje problematykę konieczności, jaka stoi przed szkołami branżowymi w związku z rozwojem Przemysłu 4.0 oraz towarzyszącej mu technologii DT. W pracy wskazano zarówno na potencjał wprowadzenia tej technologii do nauczania, jak i na wyzwania związane z dostępem do narzędzi, przygotowaniem kadry oraz dostosowaniem programów nauczania do wymogów Przemysłu 4.0. Ponadto omówione zostały strategie integracji DT w systemach VET, współpraca szkół z przemysłem, pedagogiczne metody nauczania z wykorzystaniem cyfrowych bliźniaków oraz kompetencje przyszłości, które uczniowie i nauczyciele VET powinni rozwijać, aby sprostać wymaganiom cyfrowej transformacji rynku pracy.

## CEL I METODY BADAŃ

Celem niniejszego artykułu jest wskazanie na przemiany zachodzące w obszarze Przemysłu 4.0 oraz ocena ich implikacji dla systemu kształcenia zawodowego, w szczególności w szkołach branżowych. W związku z powyższym artykuł jest również próbą identyfikacji mechanizmów dydaktycznych opartych na DT, które to w toku badań pilotażowych okazały się najbardziej adekwatne dla kształcenia zawodowego. Poza tym zidentyfikowano

warunki instytucjonalne dla wdrożenia DT w VET oraz bariery systemowe w implementacji DT w sektorze edukacji.

Mając na uwadze wzrost znaczenia technologii DT i prowadzone w tym zakresie projekty pilotażowe (w Polsce m.in. projekt DiTwin), pojawia się pytanie o możliwości implementacji modeli nauczania wykorzystujących technologię DT w realiach polskich szkół branżowych. W obszarze tych rozważań należy uwzględnić bardzo szeroko rozumiane wsparcie, jakiego potrzebują szkoły branżowe w Polsce do wdrożenia tego rodzaju rozwiązań. Jest to szczególnie ważne, gdyż dynamiczny rozwój nowoczesnych technologii, takich jak automatyzacja, robotyzacja, Internet Rzeczy (Internet of Things, IoT) czy sztuczna inteligencja, prowadzi do istotnych zmian w sposobie funkcjonowania przedsiębiorstw przemysłowych, a tym samym – generuje nowe wymagania wobec kompetencji przyszłych pracowników. Pracownikami przyszłego sektora Przemysłu 4.0 są w znacznej mierze obecni uczniowie szkół branżowych, którzy już teraz powinni być zaznajamiani z nowoczesnymi technologiami. Jedną z kluczowych jest technologia DT, która umożliwia tworzenie wirtualnych odwzorowań obiektów, procesów i systemów fizycznych oraz ich analizę i optymalizację w czasie rzeczywistym.

Prezentowane wyniki mają na celu wskazanie możliwości włączenia technologii DT do procesu dydaktycznego w szkołach branżowych jako istotnego elementu sprzyjającego rozwijaniu kompetencji przyszłości. Artykuł koncentruje się na identyfikacji obszarów, w których DT może wspierać nauczanie praktyczne, problemowe i kontekstowe, a także na określeniu potencjału tej technologii w rozwijaniu zarówno kompetencji technicznych (m.in. programowania, obsługi systemów IoT, automatyki i robotyki), jak i kompetencji miękkich (takich jak krytyczne myślenie, współpraca zespołowa czy kreatywność). Istotnym elementem celu badawczego jest również wskazanie wyzwań stojących przed nauczycielami i uczniami szkół branżowych w kontekście przygotowania młodych osób do funkcjonowania na rynku pracy Przemysłu 4.0.

Realizacja założonego celu została oparta na wieloetapowej metodologii badawczej o charakterze jakościowym. W pierwszym etapie przeprowadzono analizę literatury przedmiotu, obejmującą publikacje naukowe, raporty branżowe dotyczące Przemysłu 4.0 oraz rozwoju i prób wdrożenia technologii cyfrowego bliźniaka w przemyśle. Analiza ta pozwoliła na ustalenie istoty technologii DT, kierunków jej rozwoju oraz najczęściej wskazywanych obszarów zastosowań w nowoczesnym przemyśle. Na tej podstawie stwierdzono konieczność wprowadzenia zmian w zakresie przygotowania nauczycieli, uczniów, programów nauczania i infrastruktury, które pozwolą na implementację DT do edukacji zawodowej.

W kolejnej części przedstawiono studia przypadków wdrożeń technologii cyfrowego bliźniaka w szkołach zawodowych i technicznych w Niemczech. Analiza ta miała na celu identyfikację wyzwań oraz dobrych praktyk w zakresie wykorzystania DT w procesie dydaktycznym, określenie form i zakresu integracji tej technologii z programami nauczania oraz ocenę jej wpływu na efektywność kształcenia praktycznego i rozwój kompetencji uczniów. Doświadczenia niemieckie mogą być zatem traktowane jako wskazania działań do wdrożenia DT w szkołach branżowych w Polsce.

Przeprowadzone badania obejmowały także analizę wyników międzynarodowego projektu DiTwin, realizowanego przez konsorcjum partnerów z Polski, Hiszpanii, Irlandii, Włoch oraz Grecji. Projekt ten miał na celu przygotowanie rozwiązań dydaktycznych, narzędzi i technik nauczania opartych na technologii cyfrowego bliźniaka, możliwych do implementacji w szkołach branżowych. Analizie poddano wypracowane w projekcie

materiały, scenariusze zajęć oraz modele integracji DT z edukacją zawodową, traktując je jako adekwatne przygotowanie młodzieży do aktualnych i przyszłych potrzeb Przemysłu 4.0.

## TECHNOLOGIA CYFROWEGO BLIŹNIAKA – POCZĄTKI ROZWOJU I OBSZARY ZASTOSOWANIA

Początki koncepcji, która dziś znana jest jako technologia cyfrowego bliźniaka, sięgają lat 60. XX w. W tym okresie NASA tworzyła fizyczne repliki statków kosmicznych, aby analizować ich zachowanie w różnych warunkach jeszcze przed wysłaniem rzeczywistych obiektów na orbitę. Modele te umożliwiały testowanie potencjalnych scenariuszy i ograniczanie ryzyka związanego z misjami kosmicznymi. Ich znaczenie szczególnie uwidoczniło się w 1970 r. podczas misji Apollo 13, kiedy eksplozja na pokładzie statku zagroziła życiu załogi. Inżynierowie NASA, korzystając z replik znajdujących się na Ziemi, analizowali możliwe warianty działań ratunkowych i opracowali skuteczną strategię bezpiecznego powrotu astronautów (Allen, 2021). Choć w tym okresie wykorzystywano fizyczne modele, a nie wirtualne symulacje, działania te stworzyły podstawy dla późniejszego rozwoju idei cyfrowych bliźniaków.

Współczesne rozumienie DT zaczęło kształtować się na początku XXI w. W 2002 r. Michael Grieves zaproponował koncepcję zarządzania cyklem życia produktu (Product Lifecycle Management, PLM), która zakładała ścisłe powiązanie fizycznego produktu z jego wirtualnym odpowiednikiem poprzez ciągłą wymianę danych. Model ten, określany mianem *mirror spaces*, stanowił przełom w myśleniu o integracji świata rzeczywistego i cyfrowego oraz umożliwiał monitorowanie i optymalizację produktu na każdym etapie jego istnienia (Grieves, 2002). Jednak termin DT został oficjalnie wprowadzony w 2010 r. przez Johna Vickersa z NASA, który użył go w technicznej mapie drogowej agencji, rozwijając wcześniejsze założenia koncepcji Grievesa. Od tego momentu technologia cyfrowego bliźniaka zaczęła dynamicznie ewoluować, przechodząc od narzędzia stosowanego głównie w sektorze kosmicznym i inżynieryjnym do uniwersalnego rozwiązania wykorzystywanego w przemyśle, medycynie, infrastrukturze oraz zarządzaniu złożonymi systemami społeczno-technicznymi.

Technologia ta odnosi się do tworzenia dynamicznych, wirtualnych reprezentacji obiektów, systemów lub procesów fizycznych, które są ściśle powiązane ze swoimi rzeczywistymi odpowiednikami za pomocą danych. Jak podaje de Kerckhove (2021), jedną z najkrótszych i jednocześnie najbardziej precyzyjnych definicji cyfrowego bliźniaka jest ta sformułowana przez Thomasa van Zutphena (2018), który określa go jako cyfrową reprezentację danych w stosunku 1:1 fizycznego produktu lub procesu w całym jego cyklu życia (de Kerckhove, 2018). Definicja ta trafnie podkreśla dwie kluczowe cechy technologii DT: dążenie do możliwie wiernego odwzorowania rzeczywistości oraz uwzględnienie pełnej historii funkcjonowania obiektu.

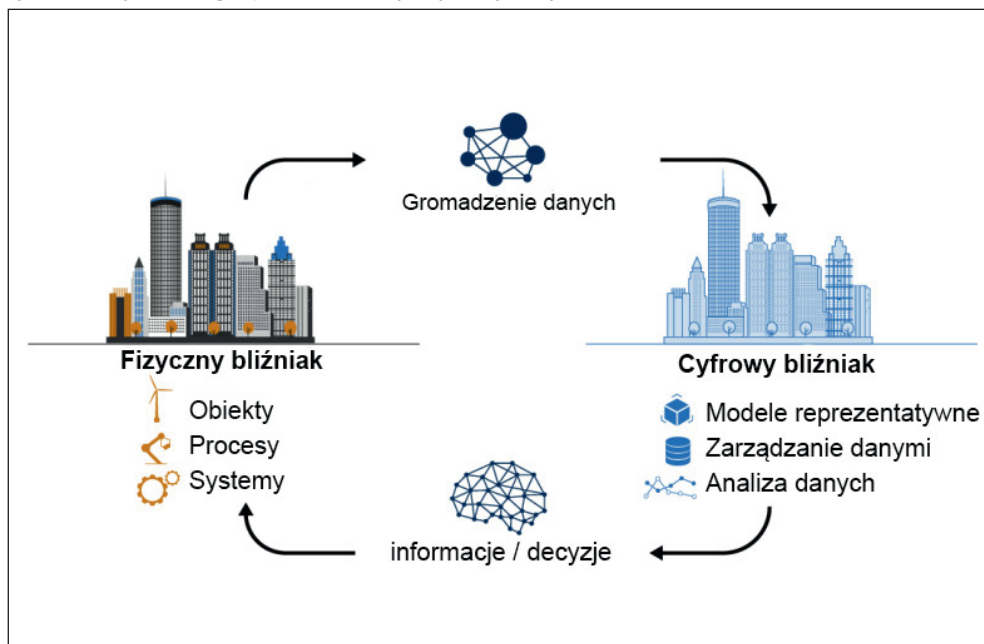
Rozszerzone ujęcie cyfrowego bliźniaka, zaproponowane przez zespół IEEE, wskazuje na inżynieryjne korzenie tej koncepcji. Zgodnie z nim cyfrowy bliźniak umożliwia integrację Internetu Rzeczy (IoT) z analityką danych poprzez stworzenie połączonej pary – obiektu fizycznego i jego wirtualnego odpowiednika. Takie środowisko pozwala na szybkie analizy oraz podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym na podstawie precyzyjnych danych analitycznych (Fuller i in., 2019). Kluczową rolę odgrywa tu stały

przepływ informacji z czujników zainstalowanych na obiekcie fizycznym do systemów przetwarzania, które aktualizują model cyfrowy.

Ze względu na coraz szersze zastosowanie technologii cyfrowego bliźniaka również sama definicja tego pojęcia ewoluowała, a badacze zdefiniowali elementy składowe DT. Wynikiem podjętych prac było ustalenie, że technologia DT składa się z trzech podstawowych elementów: (a) fizycznych obiektów funkcjonujących w przestrzeni rzeczywistej, (b) wirtualnych obiektów istniejących w przestrzeni cyfrowej, (c) połączeń danych i informacji, które integrują oba te światy (Grieves, 2015). W ciągu kilkunastu lat od powstania tej idei obserwuje się rosnący postęp w zakresie ilości, jakości i szczegółowości danych opisujących zarówno obiekty fizyczne, jak i ich wirtualne odpowiedniki.

Sz szczególnie istotny stał się rozwój badań z obszaru możliwości wdrożenia tej technologii do życia codziennego (Bauernhansl i in., 2018; Grzesik, 2023; Jones i in., 2020; Kumar, 2020; Kusiak, 2018; Kritzinger i in., 2018; Qi i in., 2021; Lu i in., 2019; O'Sullivan, 2020; Raza i in., 2020; Singh i in., 2021; Tomczyk, van der Valk, 2022; Wang i in., 2019; Yang i in., 2021). Jak wskazują prowadzone w różnych ośrodkach badawczych analizy, dynamiczny rozwój technologii cyfrowego bliźniaka sprawił, że jego zastosowanie znacznie wykroczyło poza klasyczne zadania inżynierskie. Obecnie tworzone są cyfrowe bliźniaki przedsiębiorstw, organizacji, miast, a nawet całych regionów (rycina 1). Koncepcja ta znajduje również zastosowanie w działaniach podejmowanych na poziomie globalnym, takich jak inicjatywa „Digital Twin Earth”, której celem jest monitorowanie aktywności człowieka i zmian klimatycznych w skali całej planety (Hazeleger i in., 2024; Le Moigne i in., 2024).

Rycina 1. Przykład integracji bliźniaków fizycznych i cyfrowych



Źródło: opracowanie własne na podstawie GAO (2023)

Tak szerokie wykorzystanie technologii DT wpisuje się w jej rosnącą rolę jako narzędzia wspierającego zarządzanie złożonymi systemami społeczno-technicznymi. Znaczący wkład w rozwój technologii cyfrowego bliźniaka ma firma IBM. Zgodnie z jej definicją cyfrowy bliźniak jest „żyjącym” modelem obliczeniowym, który jest stale aktualizowany na podstawie danych pochodzących z obiektu fizycznego. Dzięki temu możliwe jest zdalne monitorowanie, utrzymanie oraz prognozowanie zachowania systemu, a także testowanie alternatywnych scenariuszy bez ingerencji w rzeczywistość. Dane generowane przez cyfrowe bliźniaki są coraz częściej analizowane z wykorzystaniem sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego, co dodatkowo zwiększa ich wartość predykcyjną i decyzyjną (IBM, 2025).

Technologia cyfrowego bliźniaka odgrywa również istotną rolę w działaniach realizowanych w interesie publicznym. Jak wskazują analizy GAO (2023), cyfrowe bliźniaki są coraz częściej wykorzystywane do modelowania i łagodzenia skutków katastrof naturalnych, takich jak powodzie. Tworzenie wirtualnych scenariuszy zdarzeń ekstremalnych pozwala decydentom lepiej zrozumieć ryzyko, ocenić skuteczność interwencji oraz zwiększyć gotowość i odporność społeczności na zagrożenia.

#### CYFROWY BLIŹNIAK JAKO SZANSA NA WSPARCIE ROZWOJU PRZEMYSŁU 4.0

Przemysł 4.0 odnosi się do współczesnego etapu transformacji przemysłowej, którego istotą jest pogłębiona integracja świata fizycznego i cyfrowego. Opiera się on na wykorzystaniu zaawansowanych technologii informacyjno-komunikacyjnych, takich jak Internet Rzeczy, sztuczna inteligencja, uczenie maszynowe, analiza dużych zbiorów danych (Big Data, BD), rzeczywistość rozszerzona (Extended Reality, XR) oraz cyfrowe bliźniaki (Digital Twin, DT). Celem tej koncepcji jest zwiększenie efektywności, elastyczności i odporności systemów produkcyjnych oraz infrastrukturalnych poprzez automatyzację, inteligentne sterowanie i podejmowanie decyzji na podstawie danych. W literaturze międzynarodowej oraz praktyce przemysłowej Przemysł 4.0 bywa często utożsamiany z koncepcją *Industrial Internet of Things* (IIoT; Voigt i in., 2018), przy czym pojęcie to nie ma jednej, powszechnie akceptowanej definicji. Coraz częściej podkreśla się również, że Przemysł 4.0 nie stanowi rewolucji w sensie porównywalnym z mechanizacją, elektryfikacją czy automatyzacją, lecz ma charakter ewolucyjny, polegający na dalszym rozwoju i integracji rozwiązań trzeciej rewolucji przemysłowej (Roll, Ifenthaler, 2020). Okazuje się, że szczególnie istotną rolę w realizacji holistycznej wizji Przemysłu 4.0 odgrywa technologia cyfrowego bliźniaka. Jej znaczenie nie wynika z zastosowania zupełnie nowych narzędzi technologicznych, lecz z całościowego podejścia do w pełni usieciwionego systemu tworzenia wartości, w którym ludzie, maszyny i procesy są ze sobą powiązani za pośrednictwem Internetu. Cyfrowe bliźniaki umożliwiają pionową integrację danych w przedsiębiorstwie – od poziomu strategicznego zarządzania po operacje realizowane na hali produkcyjnej – oraz integrację poziomą wzdłuż całego łańcucha, a coraz częściej także sieci wartości (Gebhardt, Grimm, Neugebauer i in., 2015; Hecklau i in., 2016). Stanowią one dynamiczne, wirtualne modele obiektów, systemów lub procesów fizycznych, zasilane danymi w czasie rzeczywistym, co pozwala na monitorowanie stanu systemów, prognozowanie ich zachowania oraz symulowanie alternatywnych scenariuszy działania.

Jak wskazano powyżej, podstawą funkcjonowania cyfrowych bliźniaków są cyberfizyczne systemy (CPS), integrujące komponenty fizyczne i cyfrowe poprzez czujniki, aktuatory oraz sieci komunikacyjne. CPS rejestrują dane w czasie rzeczywistym,

przetwarzają je cyfrowo i oddziałują zwrotnie na procesy fizyczne (Spöttl i in., 2016), a dzięki sieciowej architekturze, interfejsom człowiek – maszyna oraz zdolnościom autonomicznego reagowania umożliwiają inteligentne sterowanie złożonymi systemami produkcyjnymi (Vogel-Heuser, Bayrak, Frank, 2012; Acatech, 2016). W tym kontekście cyfrowy bliźniak pełni funkcję warstwy analityczno-decyzyjnej, wspierającej symulację, optymalizację i predykcyjne zarządzanie procesami w różnego rodzaju przedsiębiorstwach. Badania wskazują, że jego zastosowanie w sieciach wartości zwiększa zdolność przedsiębiorstw do reagowania na dynamiczne i nieprzewidywalne zmiany otoczenia (Hecklau i in., 2016), prowadząc do redukcji redundancji procesów, ograniczenia kosztów magazynowania i transportu oraz bardziej efektywnego wykorzystania zasobów. Jednocześnie umożliwia realizację masowej produkcji wyrobów zindywidualizowanych oraz testowanie wariantów produkcyjnych w środowisku wirtualnym, co sprzyja innowacjom i rozwojowi nowych modeli biznesowych (Gebhardt i in., 2015).

Znaczenie Przemysłu 4.0 i cyfrowych bliźniaków wykracza jednak poza sektor przemysłowy, a jego potencjał stale rośnie. Pomimo tego wdrażanie rozwiązań Przemysłu 4.0 wiąże się z istotnymi wyzwaniami. Transformacja cyfrowa jest uznawana przez przedsiębiorstwa za jedno z kluczowych zadań rozwojowych, jednak jedynie niewielka ich część jest w stanie efektywnie funkcjonować w zintegrowanych sieciach wartości (Schäffer, Weber, 2018). Do najczęściej identyfikowanych barier należą kwestie bezpieczeństwa informatycznego, obejmujące zarówno infrastrukturę produkcyjną, jak i złożone systemy IT, co stanowi szczególne wyzwanie dla małych i średnich przedsiębiorstw (Thames, Schaefer, 2017; Sommer, 2015). Dodatkowo zdolność do opanowania złożoności technologii, w tym cyfrowych bliźniaków, jest silnie uzależniona od kapitału ludzkiego, co sprzyja dużym organizacjom, a dla MŚP stanowi istotną barierę inwestycyjną (Sommer, 2015). W tym kontekście kluczowe znaczenie mają kompetencje pracowników. Przemysł 4.0 implikuje zmiany w kulturze uczenia się oraz konieczność rozwoju szerokich kompetencji cyfrowych (Ifenthaler, 2018; Wilbers, 2017). Odpowiedzią na to jest rozwój koncepcji *Multidisciplinary Digital Competence* (MDC), która obejmuje nie tylko umiejętności techniczne, lecz także kompetencje informacyjne, bezpieczeństwo cyfrowe, współpracę online, postawy wobec technologii oraz zdolność rozwiązywania problemów i refleksji (Fraillon i in., 2014; Ferrari, 2013; Carretero, Vuorikari, Punie, 2017; Eseryel i in., 2011). Roll i Ifenthaler (2020) definiują MDC jako gotowość i zdolność jednostki do odpowiedzialnego działania w cyfrowym kontekście zawodowym, społecznym i prywatnym, co stanowi warunek efektywnego i odpowiedzialnego wykorzystania technologii cyfrowego bliźniaka w Przemysle 4.0.

## ROLA NAUCZYCIELA I WYZWANIA EDUKACYJNE W DOBIE ROZWOJU PRZEMYSŁU 4.0

Rozwój Przemysłu 4.0, oparty na zaawansowanych technologiach cyfrowych, automatyzacji, sztucznej inteligencji oraz integracji systemów cyberfizycznych, wywiera istotny wpływ na funkcjonowanie współczesnej szkoły oraz zmianę roli nauczyciela. Jak wskazują badania D. Siemienieckiej i B. Siemienieckiego (2019), edukacja, aby odpowiadać na potrzeby społeczeństwa i gospodarki opartej na wiedzy, musi podlegać głębokim przeobrażeniom obejmującym zarówno cele, treści, metody kształcenia, jak i kompetencje kadry pedagogicznej. Oznacza to, że w dobie edukacji na rzecz rozwoju Przemysłu 4.0, nauczyciel przestaje być wyłącznie transmisyjnym źródłem wiedzy, a coraz częściej

pełni funkcję koordynatora procesu uczenia się oraz mentora wspierającego uczniów w krytycznym przetwarzaniu informacji dostępnych w przestrzeni cyfrowej. Ponadto powszechny dostęp do informacji powoduje, że kluczowym zadaniem nauczyciela staje się organizowanie środowiska edukacyjnego sprzyjającego przekształcaniu informacji w wiedzę oraz wiedzy w praktyczne wskazówki i kompetencje użyteczne społecznie (Rak, 2020). Uczeń w takich warunkach przyjmuje rolę aktywnego uczestnika procesu dydaktycznego, współtwórcy wiedzy, realizującego interdyscyplinarne projekty rozwijające kompetencje odpowiadające potrzebom społeczeństwa, dla którego Przemysł 4.0 ma coraz większe znaczenie.

Badania w zakresie przemian w edukacji będących odpowiedzią na potrzeby Przemysłu 4.0 potwierdzają, że nowe technologie, takie jak druk 3D, robotyka edukacyjna, programowanie czy narzędzia oparte na sztucznej inteligencji, stwarzają szerokie możliwości dydaktyczne. Okazuje się jednak, że ich efektywne wykorzystanie wymaga od nauczyciela zaawansowanych kompetencji cyfrowych i metodycznych. Przykład zastosowania drukarek 3D pokazuje, że nauczyciel powinien dysponować nie tylko wiedzą techniczną dotyczącą obsługi urządzeń, lecz także umiejętnością integrowania tych narzędzi z celami kształcenia, rozwijania myślenia przestrzennego, projektowego i problemowego uczniów. Brak takich kompetencji prowadzi do powierzchownego lub pozornego wykorzystania technologii w edukacji (Siemieniecka, 2021).

Transformacja edukacji w kierunku modelu odpowiadającego Przemysłowi 4.0 wymaga również zmian systemowych, obejmujących politykę edukacyjną, finansowanie infrastruktury cyfrowej, standaryzację kompetencji metodyczno-cyfrowych nauczycieli oraz stworzenie efektywnego systemu kształcenia ustawicznego. Szczególne znaczenie ma zapewnienie wysokiej jakości szkoleń dla nauczycieli i dyrektorów szkół, a także wsparcia doradczego umożliwiającego dostosowanie rozwiązań technologicznych do realnych potrzeb placówek edukacyjnych (Glomb, 2020). Z tego względu istotnym obszarem wyzwań pozostaje kształcenie zawodowe. Szkoły branżowe powinny w coraz większym stopniu odpowiadać na potrzeby rynku pracy rozwijającego się w dobie Przemysłu 4.0. Jest to możliwe dzięki rozwijaniu kierunków kształcenia wymagających kompetencji cyfrowych oraz dzięki współpracy z przedsiębiorstwami w zakresie praktycznej nauki zawodu. Jak zaznacza K. Glomb (2020), wymaga to pozyskania nauczycieli o odpowiednich kwalifikacjach (lub przeszkolenia własnej kadry) oraz wprowadzenia obowiązkowych, cyklicznych szkoleń branżowych realizowanych w środowisku przemysłowym.

Mając na uwadze powyższe, coraz ważniejsza okazuje się konieczność integracji sektora edukacji, a szczególnie szkół branżowych, z wymaganiami, jakie stawia postępujący rozwój Przemysłu 4.0. Rozwijająca się w jego obszarze technologia cyfrowego bliźniaka jest jednym z tych rozwiązań, które mogą być szansą dla szkół branżowych w zakresie systemów cyberfizycznych i pracy opartej na danych. Szkoły te mierzą się dzisiaj z tego rodzaju wyzwaniami. Ponadto nadal problemem pozostaje przygotowanie kadry dydaktycznej oraz uczniów do funkcjonowania w zintegrowanych, sieciowych środowiskach produkcyjnych. Wymaga to bowiem rozwijania szerokich, interdyscyplinarnych kompetencji cyfrowych, wykraczających poza tradycyjne umiejętności techniczne. Jednocześnie ograniczenia organizacyjne, finansowe i kompetencyjne, zwłaszcza w mniejszych placówkach, mogą utrudniać pełne wykorzystanie potencjału nowych technologii (w tym cyfrowego bliźniaka) w edukacji zawodowej.

## SZKOŁY BRANŻOWE A TRANSFORMACJA CYFROWA – WYZWANIA I ROZWIĄZANIA DLA EDUKACJI W KONTEKŚCIE TECHNOLOGII DT

Dynamiczny rozwój technologii Przemysłu 4.0, w tym cyfrowych bliźniaków, stawia przed szkołami branżowymi istotne wyzwania systemowe, organizacyjne i dydaktyczne. Jak podkreśla Heyse (2018), epoka cyfrowa wymusza zasadnicze zmiany zarówno w polityce oświatowej, jak i w praktykach nauczania. W szczególności dotyczy to szkół branżowych i technicznych, których podstawowym zadaniem jest przygotowanie uczniów do funkcjonowania w realnym środowisku pracy, coraz silniej zdominowanym przez technologie cyfrowe i cyberfizyczne systemy produkcyjne. Koniecznym okazało się zatem wdrażanie na poziomie poszczególnych krajów takich rozwiązań, które przybliżą uczniów do dynamicznie zmieniającej się rzeczywistości Przemysłu 4.0, zaznajamiając ich tym samym ze stosowanymi technologiami. I tak np. począwszy od 2017 r., niemieckie szkoły branżowe w Badenii-Wirtembergii zostały objęte programem Learning Factories 4.0 (LF 4.0) wspieranym przez Ministerstwo Gospodarki oraz Ministerstwo Edukacji (Scheid, 2018). Przedsięwzięcie to miało na celu stworzenie warunków dydaktycznych umożliwiających uczniom nabywanie kompetencji odpowiadających wymaganiom Przemysłu 4.0, w tym umiejętności pracy z rozwiązaniami zbliżonymi do cyfrowych bliźniaków. Od tego czasu Learning Factories 4.0 są sukcesywnie instalowane w szkołach zawodowych, a w kolejnych latach liczba placówek wyposażonych w tego typu nowoczesną infrastrukturę rokrocznie wzrastała. Niemieckie doświadczenia potwierdziły, że jednym z kluczowych wyzwań dla szkół branżowych jest jednak wysoki poziom złożoności technologicznej Learning Factories 4.0, który bezpośrednio przekłada się na trudności dydaktyczne. LF 4.0 nie mają jednolitej struktury technicznej, ponieważ ich konfiguracja jest dostosowywana do profilu danej szkoły oraz do oferowanych kierunków kształcenia. W rezultacie niektóre placówki koncentrują się na zagadnieniach automatyki i sterowania, inne na integracji z systemami informatycznymi, a jeszcze inne na procesach wytwórczych (Scheid, 2018). Taka heterogeniczność utrudnia standaryzację programów nauczania oraz porównywanie efektów kształcenia, co stanowi istotną barierę w systemowym wdrażaniu kompetencji związanych z cyfrowymi bliźniakami. Kolejnym wyzwaniem jest struktura samych Learning Factories 4.0, które zazwyczaj obejmują dwa komplementarne, lecz różniące się poziomem złożoności komponenty. Pierwszym z nich jest modułowe laboratorium podstawowe, umożliwiające nauczanie fundamentów technicznych w zakresie automatyki, elektrotechniki, mechatroniki lub robotyki. Laboratoria te pozwalają uczniom na bezpośrednią interakcję z technologią, jednak ich główną funkcją jest przygotowanie do pracy z bardziej zaawansowanymi systemami (Scheid, 2018). Drugim, bardziej złożonym elementem jest całościowa inteligentna fabryka, oparta na cyberfizycznym systemie produkcyjnym (CPS), integrującym fizyczne procesy wytwórcze z oprogramowaniem sterującym, systemami MES oraz ERP. Tego typu środowiska dydaktyczne w istocie modelują funkcjonowanie nowoczesnych zakładów produkcyjnych, w tym produkcję jednostkową (*batch size one*) oraz skutki sieciowej organizacji procesów (Scheid, 2018). Z perspektywy szkół branżowych wdrażanie takich rozwiązań rodzi istotne wyzwania kadrowe i metodyczne. Nauczyciele muszą dysponować nie tylko wiedzą techniczną z zakresu automatyki, robotyki czy IT, lecz także kompetencjami umożliwiającymi projektowanie sytuacji dydaktycznych opartych na symulacji, integracji danych i myśleniu systemowym – czyli kluczowych elementach podejścia charakterystycznego dla technologii cyfrowego bliźniaka. Tymczasem, jak

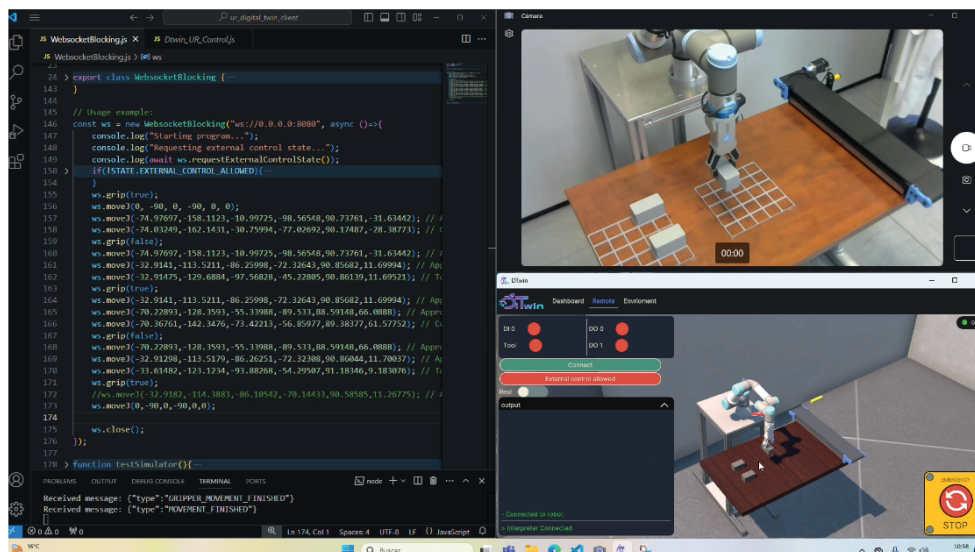
zauważa Scheid (2018), literatura przedmiotu dotycząca Learning Factories 4.0 rzadko koncentruje się na rozwoju kompetencji uczniów szkół zawodowych, a empiryczne badania dokumentujące rzeczywiste korzyści dydaktyczne wynikające z wykorzystania LF 4.0 są nadal nieliczne.

W konsekwencji szkoły branżowe stają przed wyzwaniem nie tylko inwestycyjnym, lecz także konceptualnym: konieczne staje się opracowanie spójnych modeli dydaktycznych i rozwiązań z zakresu *instructional design*, które pozwolą efektywnie wykorzystywać infrastrukturę Learning Factories 4.0 do kształcenia kompetencji związanych z Przemysłem 4.0 i technologią cyfrowych bliźniaków. Brak takich modeli grozi sprowadzeniem zaawansowanych technologicznie środowisk edukacyjnych do roli kosztownych laboratoriów demonstracyjnych, których potencjał edukacyjny nie jest w pełni wykorzystywany.

Odpowiedzią na rosnące potrzeby wdrażania technologii cyfrowego bliźniaka w edukacji zawodowej są inicjatywy realizowane w międzynarodowych konsorcjach, które umożliwiają opracowanie narzędzi, metod i praktyk wspierających integrację nauki na poziomie ponadkrajowym. Jednym z takich przedsięwzięć jest projekt DiTwin – Digital Twin for VET Schools, dwuletni projekt partnerski w sektorze kształcenia zawodowego (KA220-VET) finansowany w ramach programu Erasmus+. Projekt realizowano w okresie styczeń 2024 – styczeń 2026 przez międzynarodowe konsorcjum instytucji edukacyjnych, badawczych i organizacji wspierających innowacje. W jego skład wchodzi: Learnable – społeczność ekspertów rozwijających innowacyjne i inkluzywne metodologie edukacyjne w Europie; ETN Training Vision Ireland – doświadczony organizator programów stażowych i edukacyjnych w obszarze kształcenia zawodowego; Uniwersytet w Maladze wraz z Instytutem IMECH i laboratorium robotyki medycznej – zaplecze badawcze w zakresie mechatroniki, systemów cyberfizycznych i cyfrowych bliźniaków; Málaga TechPark – jeden z kluczowych europejskich ekosystemów innowacji technologicznych; Innovation Frontiers IKE – firma specjalizująca się w edtech, grywalizacji i badaniach edukacyjnych; Digital Smart – włoski dostawca VET oferujący zaawansowane szkolenia dla Przemysłu 4.0; Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie – renomowana uczelnia wyższa prowadząca badania i kształcenie na poziomie akademickim i współpracująca z licznymi szkołami branżowymi w Polsce. Głównym celem projektu jest zwiększenie skuteczności programów kształcenia zawodowego przez rozwój kompetencji wymaganych w erze Przemysłu 4.0 oraz wypełnienie luk w wyposażeniu szkół w zaawansowane narzędzia i maszyny dzięki wykorzystaniu technologii cyfrowych bliźniaków. Technologia DT umożliwia realizację praktycznych zajęć opartych na doświadczeniu, zgodnych z najnowszymi trendami przemysłowymi, co wspiera adaptację programów VET do aktualnych potrzeb rynku pracy. Projekt pozwala szkołom, które nie mają dostępu do zaawansowanych laboratoriów i urządzeń, wdrażać praktyczne formy nauki umożliwiające osiągnięcie kompetencji wymaganych w Przemysle 4.0. Ponadto inicjatywa przyczynia się do podniesienia cyfrowych kompetencji nauczycieli, umożliwiając im prowadzenie zajęć opartych na cyfrowych bliźniakach i wspierając rozwój umiejętności cyfrowych uczniów (rycina 2).

Jednym z kluczowych rezultatów projektu są opracowane ramy kompetencji (*Competence Framework*) odnoszące się do 11 profili zawodowych niezbędnych w Przemysle 4.0. Są nimi m.in.: technik druku 3D, technik CNC, projektant CAD/CAM, specjalista ds. automatyzacji, analityk danych czy technik IoT i robotyki (DiTwin, 2025). Profile te zostały opracowane na podstawie wiedzy, umiejętności i kompetencji uczniów kończących poziom 4. i 5. EQF, z uwzględnieniem standardowych programów nauczania w krajach partnerskich (Włochy, Hiszpania, Irlandia, Grecja, Polska). Dokument stanowi zatem

Rycina 2. Przykładowe zastosowanie technologii cyfrowego bliźniaka – praca ramienia robota



Źródło: DiTwin (2025)

wsparcie dla szkół branżowych i nauczycieli w rozwijaniu kompetencji zgodnych z wymaganiami Przemysłu 4.0, ułatwiając integrację programów nauczania z aktualnymi potrzebami rynku pracy oraz wspierając proces przejścia uczniów z edukacji do zatrudnienia.

W ramach projektu stworzono także platformę DiTwin dla nauczycieli, oferującą moduły szkoleniowe umożliwiające praktyczne testowanie technologii cyfrowego bliźniaka. Moduły obejmują m.in. obsługę druku 3D, podstawy automatyzacji i sterowania procesami przemysłowymi, a także programowanie i obsługę robotów przemysłowych. Nauczyciele mogą uczestniczyć w zajęciach demonstracyjnych, rejestrując się online i korzystając z systemu zdalnego dostępu do laboratoriów, co umożliwia naukę i testowanie systemów w czasie rzeczywistym<sup>1</sup>.

Kolejnym istotnym rezultatem projektu jest podręcznik DiTwin (*DiTwin Handbook*), zawierający kompleksowe materiały edukacyjne: wprowadzenie do technologii cyfrowych bliźniaków, znaczenie DT w edukacji zawodowej, strategię pedagogiczne, szczegółowe instrukcje dotyczące modułów DiTwin, studia przypadków oraz perspektywy rozwoju zawodowego w obszarze cyfrowych bliźniaków. Podręcznik ma kluczowe znaczenie dla szkół branżowych, zapewniając nauczycielom i uczniom możliwość systematycznego zapoznawania się z technologią DT krok po kroku i efektywnego wdrażania jej w procesie dydaktycznym.

Projekt DiTwin stanowi więc przykład nowoczesnej, międzynarodowej inicjatywy wspierającej rozwój kompetencji cyfrowych w edukacji zawodowej oraz integrację technologii cyfrowego bliźniaka w praktyce szkolnej, przyczyniając się do zwiększenia gotowości uczniów do pracy w środowisku Przemysłu 4.0.

<sup>1</sup> Szczegółowe informacje dotyczące możliwości testowania przygotowanych narzędzi znajdują się na stronie [https://www.ditwin.eu/ditwin-platform\\_pl/](https://www.ditwin.eu/ditwin-platform_pl/).

## DT W EDUKACJI ZAWODOWEJ – KONIECZNE ZMIANY W PROCESIE NAUCZANIA?

Technologia DT, definiowana jako wirtualna replika fizycznych systemów, urządzeń lub procesów, znajduje coraz szersze zastosowanie w kształceniu zawodowym. W szkołach branżowych integracja DT umożliwia tworzenie immersyjnych środowisk edukacyjnych, w których uczniowie mogą eksperymentować z maszynami, instalacjami pilotażowymi czy laboratoriami w całkowicie wirtualnych warunkach. Takie rozwiązania pozwalają na eliminację ryzyka operacyjnego oraz kosztów związanych z wykorzystaniem rzeczywistego sprzętu, jednocześnie umożliwiają one obserwację natychmiastowych konsekwencji podejmowanych decyzji. W kontekście nauczania problemowego uczniowie mają możliwość diagnozować usterki, modyfikować parametry procesów i weryfikować skutki swoich działań. Przyczynia się to do efektywnego zamknięcia cyklu teoria–praktyka, co skutecznie może oddziaływać na zwiększenie motywacji do nauki.

W kontekście kształcenia zawodowego integracja DT oznacza zatem znaczącą transformację tradycyjnego, teoretycznego nauczania w kierunku nauki immersyjnej, interaktywnej i doświadczeniowej (Experiential Learning). Uczniowie mogą aktywnie uczestniczyć w symulacjach odwzorowujących rzeczywiste scenariusze przemysłowe, wchodząc w interakcje z wirtualnymi maszynami, procesami produkcyjnymi czy instalacjami. Takie podejście zwiększa motywację i odpowiedzialność, a także wspiera współpracę równoległą i umożliwia dynamiczną ocenę postępów. Inne mechanizmy dydaktyczne obejmują naukę opartą na badaniach (Inquiry-Based Learning), które polegają na analizie wirtualnie stworzonego problemu i dążeniu do jego rozwiązania poprzez krytyczne myślenie i eksperymentalne rozumowanie. Realizacja zajęć dydaktycznych z wykorzystaniem długoterminowych projektów opartych na DT pozwala na projektowanie, testowanie i optymalizację rozwiązań. W takiej konfiguracji określony problem do rozwiązania nie kończy się wraz z zakończeniem lekcji dydaktycznej, ale pozwala on nauczycielowi na stopniowe zwiększanie poziomu złożoności zadań i poddanie ich analizie systemu w celu uzyskania informacji zwrotnej w czasie rzeczywistym (Scaffolding & Adaptive Learning).

Istotną w edukacji VET wykorzystującej technologię DT jest postawa otwartości na zmiany w sektorze przemysłu, elastyczność i personalizacji nauczania, gdyż treści szkoleniowe powinny być dostosowane do poziomu umiejętności i celów zawodowych uczniów, umożliwiając tworzenie zindywidualizowanych ścieżek nauki oraz włączanie modułów interdyscyplinarnych. Ponadto DT sprzyjają rozwojowi kompetencji zarówno technicznych, jak i cyfrowych, obejmujących obsługę paneli HMI, nawigację w środowiskach 3D, analizę danych oraz pracę w zespołach cyfrowych. Rozwój tych umiejętności przygotowuje uczniów do pracy w nowoczesnych, zautomatyzowanych środowiskach cyberfizycznych, jednocześnie rozwijając kompetencje miękkie, takie jak krytyczne myślenie, rozwiązywanie problemów czy efektywna komunikacja. Poza tym uczenie kontekstowe i proceduralne poprzez DT umożliwia na kolejnych etapach uczenia się (studia wyższe) praktyczne zrozumienie skomplikowanych systemów przemysłowych, obserwowanie konsekwencji modyfikacji i błędów oraz zdobywanie wiedzy systemowej. Na przykład student mechatroniki programujący wirtualne ramię robota w interakcji z linią montażową może zdobywać doświadczenie bez ryzyka fizycznego. Jednocześnie DT umożliwiają ćwiczenie diagnostyki, konserwacji predykcyjnej, reagowania w sytuacjach awaryjnych i kontroli parametrów procesów, co wspiera utrwalanie umiejętności przed

wejściem na rynek pracy. Ocena umiejętności w czasie rzeczywistym jest kolejną istotną funkcją DT. Technologie te umożliwiają przeprowadzanie oceny kształtującej i sumującej w środowisku wirtualnym, dostarczając obiektywnych danych dotyczących kompetencji technicznych i operacyjnych uczniów. W połączeniu z adaptacyjnym nauczaniem i informacją zwrotną w czasie rzeczywistym DT umożliwiają personalizację procesu nauki i stopniowe wprowadzanie złożoności.

Badania pilotażowe (listopad 2025 – styczeń 2026) przeprowadzone w szkołach branżowych w krajach partnerskich projektu DiTwin potwierdzają, że w każdym z krajów istnieją jeszcze bariery systemowe utrudniające implementację DT w edukacji. Bariery te obejmują: (1) szytywne programy nauczania VET, gdzie zbyt mało czasu i przestrzeni poświęca się na integrację zaawansowanych technologii, co znacznie ogranicza ich praktyczne wdrożenie; (2) niewystarczający poziom współpracy (lub jej brak) między sektorem edukacji a przemysłem – na skutek tego szkoły m.in. nie mają dostępu do aktualnych trendów rozwoju przedsiębiorstw lokalnych, przez co uczniowie nie znają realiów zastosowań technologii, o której uczą się w szkołach; (3) ograniczenia infrastrukturalne i generowanie znacznych kosztów w zakresie wsparcia technicznego, potrzebnego oprogramowania i narzędzi potrzebnych do efektywnego prowadzenia zajęć dydaktycznych; (4) luki kompetencyjne personelu dydaktycznego, na które wskazano w części poświęconej roli nauczyciela w edukacji z zastosowaniem DT.

Ponadto na podstawie wywiadów przeprowadzonych wśród nauczycieli szkół branżowych, gdzie prowadzony był pilotaż wśród uczniów<sup>2</sup>, można uznać, że jednym z głównych wyzwań w kształceniu zawodowym jest luka kompetencyjna między umiejętnościami absolwentów a wymaganiami rynku<sup>3</sup>. Wyniki badania pilotażowego, zebrane opinie nauczycieli i uczniów biorących udział w zajęciach testowych pozwalają na stwierdzenie, że DT stanowi skuteczne narzędzie do jej niwelowania, umożliwiając realistyczne odwzorowanie środowiska pracy, maszyn i procesów w wirtualnym kontekście. Uczniowie mogą w ten sposób zdobywać doświadczenie praktyczne, rozwijać kompetencje techniczne i cyfrowe oraz uczestniczyć w interdyscyplinarnych projektach problemowych. W rezultacie zajęcia dydaktyczne stają się bardziej zgodne z aktualnymi praktykami przemysłowymi, a absolwenci są lepiej przygotowani do wejścia na rynek pracy. Poza tym DT wspierają rozwój zaawansowanych kompetencji technicznych, w tym obsługi narzędzi cyfrowych, interpretacji danych IoT, operowania wirtualnymi instalacjami i podejmowania decyzji operacyjnych. Jednocześnie sprzyjają rozwijaniu umiejętności miękkich, takich jak współpraca zespołowa, rozwiązywanie problemów czy myślenie krytyczne, co jest niezbędne w złożonych środowiskach przemysłowych.

Rozwiązania wypracowane przez Zespół DiTwin wskazują na obszary i metody skutecznego wdrożenia DT w edukacji zawodowej, które wymagają bliskiej współpracy między szkołami a przedsiębiorstwami. W tym celu wypracowano dwie główne strategie działań, pozwalające na wdrożenie tej technologii do edukacji zawodowej. Są nimi:

---

<sup>2</sup> W Polsce były to następujące szkoły: Zespół Szkół Mechanicznych nr 2 w Krakowie, Zespół Szkół im. Emila Godlewskiego w Piotrkowicach Małych, Technikum Nr 13 działające w Zespole Szkół Geodezyjno-Technicznych w Łodzi, Centrum Kształcenia Zawodowego i Ustawicznego nr 2 w Przemyśle.

<sup>3</sup> Podobne luki kompetencyjne określono w badaniach prowadzonych w latach 2023–2025 przez Zespół Badań Edukacji w Zakresie Przedsiębiorczości UKEN w Krakowie. Wyniki badań zostały opublikowane w formie monografii: *Kształtowanie kompetencji przedsiębiorczych w Polsce jako odpowiedź na potrzeby współczesnego rynku pracy* (2025).

Strategia integracji DT w systemach VET i współpracy z przemysłem, która obejmuje pięć kluczowych obszarów: (1) współprojektowanie programów nauczania z uwzględnieniem aktualnych potrzeb rynku i technologii DT, IoT oraz AI; (2) tworzenie laboratoriów i środowisk symulacyjnych, dostępnych zarówno dla uczniów, jak i dla partnerów przemysłowych; (3) programy nauki w miejscu pracy, takie jak staże, praktyki i system dualny, wspierające rozwój kompetencji technicznych i miękkich; (4) budowanie lokalnych sieci i partnerstw strategicznych, umożliwiających wymianę doświadczeń i dostępu do nowoczesnych technologii; (5) wykorzystanie platform cyfrowych do zarządzania projektami edukacyjnymi, monitorowania postępów i organizacji współpracy między uczniami a sektorem przemysłu (w szczególności Przemysłu 4.0).

Pedagogiczne strategie nauczania z DT, w których obszarze zidentyfikowano siedem zagadnień: (1) uczenie doświadczeniowe oparte na cyklu Kolba; (2) uczenie przez dociekanie i projekty, sprzyjające krytycznemu myśleniu i interdyscyplinarnej współpracy; (3) uczenie problemowe, umożliwiające rozwiązywanie realistycznych problemów w środowisku DT; (4) *scaffolding* i nauka adaptacyjna, stopniowe wprowadzanie złożoności i dodatkowych danych analitycznych; (5) uczenie refleksyjne i współpraca grupowa, w tym dzienniki refleksji, *peer review* i minihackathony; (6) grywalizacja i integracja z odwróconą klasą, wykorzystanie wyzwań, odznak, materiałów przygotowawczych i analiz przed zajęciami i po zajęciach; (7) ocena i informacja zwrotna w czasie rzeczywistym.

Ocenia się, że realizacja założeń tych strategii daje szansę na efektywne wdrożenie technologii DT do szkół branżowych w Polsce, co jest szczególnie ważne w związku z rozwojem kompetencji stojących u podstaw nowych zawodów, jakimi są: inżynier DT, specjalista IoT, inżynier AI/ML, ekspert ds. cyberbezpieczeństwa czy deweloper symulacji. Wymagane kompetencje obejmują umiejętności zarówno techniczne (programowanie, modelowanie systemów, analiza danych, chmura, AI/ML, IoT, cyberbezpieczeństwo), jak i miękkie (krytyczne myślenie, współpraca, inicjatywa, elastyczność i gotowość do uczenia się). Szkoły branżowe powinny również promować ciągłe kształcenie poprzez certyfikacje, kursy online oraz współpracę z przemysłem, co w przyszłości pozwoli absolwentom na pewniejsze wejście na rynek pracy.

## WNIOSKI

Integracja DT w edukacji zawodowej nie jest jedynie trendem, lecz koniecznością wynikającą z wymagań rynku pracy i rozwoju Przemysłu 4.0. DT umożliwiają immersyjne, praktyczne i bezpieczne nauczanie, rozwijają kompetencje techniczne i cyfrowe, a także umiejętności miękkie, które są niezbędne w nowoczesnych środowiskach pracy. Współpraca między szkołami a przemysłem, laboratoria, platformy cyfrowe oraz metody pedagogiczne oparte na doświadczeniu, projektach i problemach pozwalają na skuteczne przygotowanie uczniów do wyzwań przyszłości, zwiększając ich zatrudnialność i gotowość do pracy w cyfrowych, złożonych systemach.

DT są zatem nie tylko wirtualnymi kopiami systemów przemysłowych, lecz także narzędziem umożliwiającym tworzenie innowacyjnego, adaptacyjnego i zrównoważonego ekosystemu edukacyjnego. Ich rosnące zastosowanie otwiera perspektywy w obszarach sztucznej inteligencji, zdalnych operacji, zrównoważonego rozwoju oraz inteligentnych fabryk, oferując zarówno studentom, jak i instytucjom edukacyjnym nowe możliwości kształcenia i rozwoju zawodowego. Przeprowadzone analizy wskazują na duże możliwości

wdrożenia technologii DT do szkół branżowych, a przygotowane w ramach projektu DiTwin narzędzia i techniki wdrożenia mogą w znaczny sposób ułatwić ten proces.

## Literatura

## References

- Allen, B.D. (2021). *Digital Twins and Living Models at NASA*. Pozyskano z: [https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210023699/downloads/ASME%20Digital%20Twin%20Summit%20Keynote\\_final.pdf](https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210023699/downloads/ASME%20Digital%20Twin%20Summit%20Keynote_final.pdf) (dostęp: 10.11.2025).
- Bauernhansl, T., Hartleif, S., Felix, T. (2018). The digital shadow of production – a concept for the effective and efficient information supply in dynamic industrial environments. *Procedia CIRP*, 72, 69–74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.188>.
- Carretero, S., Vuorikari, R., Punie, Y. (2017). *The digital competence framework for citizens with eight proficiency levels and examples of use*. European Union. doi: <https://doi.org/10.2760/38842>
- de Kerckhove, D. (2021). The personal digital twin, ethical considerations. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 379(2207), 1–12. Pozyskano z: <https://www.jstor.org/stable/27100810> (dostęp: 10.11.2025).
- DiTwin. (2025). <https://www.ditwin.eu/home-ditwin-polski/> (dostęp w okresie 20.03.2025 – 30.12.2025).
- Eseryel, D., Ge, X., Ifenthaler, D., Law, V. (2011). Dynamic modeling as a cognitive regulation scaffold for developing complex problem-solving skills in an educational massively multiplayer online game environment. *Journal of Educational Computing Research*, 45(3), 265–286. doi: <https://doi.org/10.2190/EC.45.3.a>
- Ferrari, A. (2013). DIGCOMP: A Framework For Developing and Understanding Digital Competence in Europe. W: Y. Punie, B.N. Brečko (red.), *Borrador. INTEF*. European Union. doi: <https://doi.org/10.2788/52966>
- Fraillon, J., Ainley, J., Schulz, W., Friedman, T., Gebhardt, E. (2014). *Preparing for Life in a Digital Age*. Heidelberg: Springer Science + Business Media. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-14222-7>
- Fuller, A., Zhong, F., Day, C., Barlow, C. (2019). Digital twin: enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access*. Piscataway, NJ: IEEE. Pozyskano z: <https://arxiv.org/abs/1911.01276> (dostęp: 29.12.2025).
- GAO. (2023). Digital Twins – Virtual Models of People and Objects, *Science & Tech Spotlight*. Pozyskano z: <https://www.gao.gov/products/gao-23-106453> (dostęp: 10.11.2025).
- Gebhardt, J., Grimm, A., Neugebauer, L.M. (2015). Developments 4.0 – Prospects on future requirements and impacts on work and vocational education. *Journal of Technical Education*, 3(2), 117–133.
- Grieves, M. (2015). *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. Pozyskano z: [https://www.researchgate.net/publication/275211047\\_Digital\\_Twin\\_Manufacturing\\_Excellence\\_through\\_Virtual\\_Factory\\_Replication](https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication) (dostęp: 27.12.2025).
- Grzesik, W. (2023). Cyfrowy bliźniak w procesach wytwórczych. Część I. Stan zagadnienia, architektura i zastosowania. *Mechanik*, 1. Pozyskano z: [https://www.mechanik.media.pl/pliki/do\\_pobrania/artykuly/23/2023\\_01\\_s0008.pdf](https://www.mechanik.media.pl/pliki/do_pobrania/artykuly/23/2023_01_s0008.pdf) (dostęp: 22.12.2025).
- Hazeleger, W., Aerts, J.P.M., Bauer, P. i in. (2024). Digital twins of the Earth with and for humans. *Commun Earth Environ*, 5, 463. doi: <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01626-x>
- Hecklau, F., Galeitzke, M., Flachs, S., Kohl, H. (2016). Holistic approach for human resource management in industry 4.0. *Procedia CIRP*, 54, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.102>
- Heyse, V. (2018). Mittelstand 4.0 im Spannungsfeld des digitalen Wandels. W: V. Heyse, J. Erpenbeck, S. Ortmann, S. Coester (red.), *Mittelstand 4.0: Eine digitale Herausforderung*. Münster: Waxmann, 9–15.
- IBM. (2025). *What is a digital twin?* Pozyskano z: <https://www.ibm.com/think/topics/digital-twin> (dostęp: 15.12.2025).
- Ifenthaler, D. (2018). How we learn at the digital workplace. W: D. Ifenthaler (red.), *Digital Workplace Learning – Bridging formal and informal learning with digital technologies*,

- 3–8). New York – Berlin – Heidelberg: Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46215-8>
- Jones, D., Snider, Ch., Nassehi, Y., Yon, J., Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 29A, 36–52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.02.002>
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjens, J., Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51/11, 1016–1022. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- Kumar, S., Patil, S., Bongale, A., Kotecha, K., Bongale, M. (2020). Demystifying artificial intelligence based digital twins in manufacturing – a bibliometric analysis of trends and techniques. *Library Philosophy and Practice* (e-journal), Library University of Nebraska. Pożyczono z: <https://www.researchgate.net/publication/346057367> (dostęp: 12.11.2025).
- Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56, 1–2, 508–517. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- Le Moigne, J., Smith, B., Little, M., Morris, R., Rogers, L., Ranson, J., Oz, N. (2024). *Technology for Earth System Digital Twins*. NASA Earth Science Technology Office (ESTO). Pożyczono z: <https://destination-earth.eu/wp-content/uploads/2024/05/Technology-for-Earth-System-Digital-Twins-.pdf> (dostęp: 15.11.2025).
- Lu, Y., Liu C., Wang, K.I., Huang, H., Xu, X. (2019). Digital twin-driven smart manufacturing: connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 61, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101837>
- O’Sullivan, J. (2020). A case-study in the introduction of a digital- twin in a large-scale manufacturing facility. *Cork Open Research Archive (CORK)*. Pożyczono z: <http://hdl.handle.net/10468/11867> (dostęp: 13.11.2025).
- Qi, Q., Tao, F., Hu, T., Anwer, N., Liu, A., Wei, Y., Wang, L., Nee, A. (2021). Enabling technologies and tools for digital twin. *Journal of Manufacturing Systems*, 58B, 3–21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.001>
- Raza, M., Kumar, P., Hung, D., Davis, W., Nguyen, H., Trestian, R. (2020). *A Digital Twin Framework for Industry 4.0 Enabling Next-Gen Manufacturing*. Conference paper. doi: <https://doi.org/10.1109/ICITM48982.2020.9080395>
- Roll, M.J.J., Ifenthaler, D. (2020a). The Impact of Learning Factories on Multidisciplinary Digital Competencies. W: E. Wuttke, J. Seifried, H. Niegemann (red.), *Vocational Education and Training in the Age of Digitization: Challenges and Opportunities*, 1. Verlag Barbara Budrich, 23–38. doi: <https://doi.org/10.2307/j.ctv18dvv1c.5>
- Roll, M., Ifenthaler, D. (2020b). Lernortübergreifende Kompetenzentwicklung in der Industrie 4.0: Die Entwicklung digitaler Handlungskompetenz in der dualen Berufsausbildung aus der Ausbilderperspektive. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 29, 185–209.
- Schäffer, U., Weber, J. (2018). Digitalisierung Ante portas. *Controlling*, 30, 4–11.
- Scheid, R. (2018). Learning factories in vocational schools: Challenges for designing and implementing learning factories at vocational schools. W: D. Ifenthaler (red.), *Digital workplace learning: Bridging formal and informal learning with digital technologies*. New York: Springer, 271–289.
- Singh, S., Weeber, M., Birke, K.-P. (2021). Advancing digital twin implementation: a toolbox for modelling and simulation. *Procedia CIRP*, 99, 567–572. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.03.078>
- Sommer, L. (2015). Industrial revolution – Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(5), 1512–1532. doi: <https://doi.org/10.3926/jiem.1470>
- Spöttl, G., Gorltd, C., Windelband, L., Grantz, T., Richter, T. (2016). Industrie 4.0: Auswirkungen auf Aus- und Weiterbildung in der M+E Industrie. *bayme – Bayerischer Unternehmensverband Metall und Elektro e.V.*
- Thames, L., Schaefer, D. (2017). *Cybersecurity for industry 4.0*. New York: Springer.
- Tomczyk, T., van der Valk, H. (2022). Digital Twin Paradigm Shift. *The Journey of the Digital Twin Definition*. Pożyczono z: <https://www.researchgate.net/publication/360195802> (dostęp: 18.11.2025).
- Van Zutphen, T. (2018) The Digital Twin, Ethical Issues and Mechanical Morality. *T-Systems Customer Magazine*, 3.

- Vogel-Heuser, B., Bayrak, G., Frank, U. (2012). *Forschungsfragen in „Produktionsautomatisierung der Zukunft“*. Diskussionspapier Für Die Acatech Projektgruppe „ProCPS – Production CPS”. München: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- Voigt, K.-I., Müller, J.M., Veile, Johannes, W., Becker, W. (2018). Industrie 4.0 – Risiken für kleine und mittlere Unternehmen. In W. Becker, B. Eierle, A. Fliaster, B. Ivens, A. Leischnig, A. Pflaum, E. Sucky (red.), *Geschäftsmodelle in der digitalen Welt*. Wiesbaden: Springer Gabler, 517–534.
- Wang, J., Ye L., Gao, R.X., Li, C., Zhang, L. (2019): Digital Twin for rotating machinery fault diagnosis in smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 57, 12, 3920–3934. doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1552032>
- Wilbers, K. (2017). Industrie 4.0 und Wirtschaft 4.0: Eine Chance für die kaufmännische Berufsbildung. W: K. Wilbers (red.), *Industrie 4.0: Herausforderungen für die kaufmännische Bildung*, 9–52. Berlin: epubli GmbH. doi: [https://doi.org/10.1007/-978-3-658-04883-9\\_4](https://doi.org/10.1007/-978-3-658-04883-9_4)
- Yang, D., Karimi, H., Kaynak, O., Yin, S. (2021). Developments of digital twin technologies in industrial, smart city and healthcare sectors: a survey. *Complex Engineering Systems*, 1, 3. doi: <https://doi.org/10.20517/ces.2021.06>.

Autorka składa podziękowania partnerom projektu DiTwin: Learnable, ETN Training Vision Ireland, Uniwersytetowi w Maladze (wraz z Instytutem IMECH i Laboratorium Robotyki Medycznej), Málaga TechPark, Innovation Frontiers IKE, Digital Smart oraz Uniwersytetowi Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie za owocną współpracę przy realizacji projektu finansowanego przez Unię Europejską (nr 2023-1-IT01-KA220-VET-000154611).

**Monika Noviello**, dr, Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie, Instytut Dziennikarstwa i Stosunków Międzynarodowych, Katedra Studiów Włoskich i Śródziemnomorskich. Geograf i doktor nauk o Ziemi w dyscyplinie geografia społeczno-ekonomiczna i gospodarka przestrzenna. Od 2016 r. jest członkiem Polskiego Towarzystwa Geopolitycznego, a od 2018 r. pracuje jako nauczyciel akademicki na Uniwersytecie Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie. Od 2023 r. pełni funkcję zastępcy redaktora naczelnego „Przeglądu Geopolitycznego”, a od 2024 r. należy do Stowarzyszenia Geografów Włoskich (A. Ge.I.). Współpracuje z Uniwersytetem Suor Orsola Benincasa w Neapolu oraz Uniwersytetem Sapienza w Rzymie. Jej zainteresowania badawcze obejmują klasyczną geografii regionalną, społeczności włoskie w kontekście współczesnego zróżnicowania regionalnego, problemy społeczno-gospodarcze Włoch, geopolitykę XX i XXI w. oraz gospodarkę przestrzenną, ze szczególnym uwzględnieniem konfliktów przestrzennych.

**Monika Noviello**, PhD, University of the National Education Commission, Krakow, Institute of Journalism and International Relations, Department of Italian and Mediterranean Studies. A geographer and who holds a PhD in Earth Sciences in the field of socio-economic geography and spatial management. Since 2016, she has been a member of the Polish Geopolitical Society, and since 2018, she has been an academic lecturer at the Commission of National Education University in Kraków. Since 2023, she has served as Deputy Editor-in-Chief of the *Przegląd Geopolityczny (Geopolitical Review)*, and since 2024, she has been a member of the Italian Geographers' Association (A. Ge.I.). She also collaborates with the Suor Orsola Benincasa University in Naples and Sapienza University in Rome. Her research interests include classical regional geography, Italian communities in the context of contemporary regional diversity, socio-economic issues in Italy, 20th- and 21st-century geopolitics, and spatial management, with a particular focus on spatial conflicts.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8570-8840>

#### Adres / Address:

Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie  
Instytut Dziennikarstwa i Stosunków Międzynarodowych  
Katedra Studiów Włoskich i Śródziemnomorskich  
ul. Podchorążych 2  
30-084, Kraków, Polska  
e-mail: [monika.noviello@uken.krakow.pl](mailto:monika.noviello@uken.krakow.pl)



## SPIS TREŚCI

Wprowadzenie .....	3
JAKUB KWAŚNY, ARKADIUSZ MROCZEK, MARTA ULBRYCH Regional resilience and anti-fragility in the EU .....	7
DOMINIK SIKORSKI Wrocław i aglomeracja wrocławska jako ośrodek przemysłowy w latach 2008–2024: dynamika i przestrzenne kierunki zmian.....	23
JAN SMUTEK Wpływ dużych ekonomicznych szoków na wyniki finansowe morskich farm wiatrowych na przykładzie farm na Morzu Północnym w wyłącznej strefie ekonomicznej Niemiec.....	43
IRENA ŻURAWSKA-BARTOSIK Fundusze unijne a potencjał endogeniczny w wybranych gminach województwa śląskiego.....	57
MONIKA NOVIELLO Zastosowanie technologii Digital Twin w edukacji zawodowej jako odpowiedź na wyzwania Przemysłu 4.0 .....	73

## CONTENTS

Introduction.....	5
JAKUB KWAŚNY, ARKADIUSZ MROCZEK, MARTA ULBRYCH Regional resilience and anti-fragility in the EU.....	7
DOMINIK SIKORSKI Wrocław and its agglomeration as an industrial center in 2008–2024: dynamics and spatial directions of change.....	23
JAN SMUTEK The impact of large economic shocks on the financial results of offshore wind farms, as exemplified by North Sea farms in the German exclusive economic zone .....	43
IRENA ŻURAWSKA-BARTOSIK EU funds and endogenous potential in selected municipalities of the Silesian Voivodeship.....	57
MONIKA NOVIELLO The use of Digital Twin technology in vocational education as a response to the challenges of Industry 4.0.....	73