

Dostosowanie przedsiębiorstw do wymogów czwartej rewolucji przemysłowej – ujęcie regionalne

Andrzej Sokołowski^a, Małgorzata Markowska^b

Streszczenie. Celem artykułu jest zaproponowanie agregatowego wskaźnika poziomu rozwoju polskich regionów szczebla NUTS 2 w zakresie wdrażania i efektów rozwiązań charakteryzujących czwartą rewolucję przemysłową (Przemysł 4.0) oraz przedstawienie rankingu regionów pod względem dostosowania przedsiębiorstw do wymogów Przemysłu 4.0. Podstawą obliczeń były wyniki badania eksperymentalnego przeprowadzonego przez GUS w 2019 r. Zastosowano dwie metody wyznaczania wskaźnika agregatowego: klasyczną oraz iteracyjną, która uwzględnia ocenę odporności wskaźnika na ewentualne obserwacje odstające. Zakres przedmiotowy obejmował 10 podkryteriów, a w ich ramach – 21 cech statystycznych. Przodującym regionem pod względem wdrażania rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0 okazało się woj. opolskie. Ocena trafności zaproponowanego wskaźnika będzie możliwa na podstawie porównań z wynikami analogicznych badań GUS przeprowadzanych w kolejnych latach.

Słowa kluczowe: Przemysł 4.0, wskaźniki agregatowe, rankingi, regiony NUTS 2

JEL: C38, L16, O14

Adjustment of enterprises to the requirements of the fourth industrial revolution – regional approach

Abstract. The aim of the paper is to propose a composite indicator characterising the level of development of Polish NUTS 2 regions with respect to the implementation and results of the changes the fourth industrial revolution (Industry 4.0) entails, and to present a ranking of regions illustrating the degree to which enterprises have adjusted to the requirements of Industry 4.0. Data used for the calculations have been based on the results of an experimental research conducted by Statistics Poland (GUS) in 2019. Two methods for constructing the composite indicators have been used – classical and iterative which is to assess the indicator's resilience to the influence of any potential outliers. 10 sub-criteria, covered by 21 variables have been taken into account. Opolskie region appeared to be the best NUTS 2 region in Poland in terms of the implementation of the requirements outlined by Industry 4.0. The evaluation of the proposed composite indicator will be possible when comparing it with the results of similar surveys carried out by GUS in the future.

Keywords: Industry 4.0, composite indicators, rating, NUTS 2 regions

^a Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kolegium Ekonomii, Finansów i Prawa, Instytut Metod Ilościowych w Naukach Społecznych / Cracow University of Economics, Faculty of Finance and Law, Institute of Quantitative Methods in Social Sciences. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2787-6665>.

^b Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, Wydział Ekonomii i Finansów, Katedra Gospodarki Regionalnej / Wrocław University of Economics and Business, Faculty of Economics and Finance, Department of Regional Economy. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4879-0112>.

1. Wprowadzenie

Aby ocenić jakiegokolwiek zjawisko zachodzące w gospodarce, bez względu na jego charakter – powolny (ewolucyjny) czy gwałtowny (rewolucyjny) – należy zastosować mierniki, które umożliwiają pomiar zarówno stanu, czyli poziomu tego zjawiska, jak i dynamiki, czyli zmian poziomu. Czwarta rewolucja przemysłowa (Industry 4.0 – Przemysł 4.0) to zjawisko, które wymaga stałego monitoringu i oceny konsekwencji zmian, jakie powoduje. Zmiany te dotyczą m.in. firm, społeczeństw, zagospodarowania przestrzennego i procesów społeczno-gospodarczych w skali międzynarodowej, krajowej i regionalnej. Nazwa Przemysł 4.0, wprowadzona w 2011 r. (European Commission, 2017), wskazuje na kolejny etap rozwoju gospodarczego świata. Każdej rewolucji przemysłowej towarzyszy postęp technologiczny, a nowe technologie produkcji zmieniają warunki pracy i styl życia ludzi (Desoutter, 2020). Obecnie obserwuje się silne oddziaływanie nowych technologii na funkcjonowanie społeczeństw i gospodarek na różnych poziomach, takich jak: jednostka, gospodarstwo domowe, grupa społeczna, firma, branża, sektor, region, kraj czy układ gospodarczy.

Zasoby krajowej i międzynarodowej statystyki publicznej ani bazy organizacji międzynarodowych, zarówno publikowane, jak i niepublikowane, nie są eksplorowane pod kątem możliwości oceny stanu początkowego, zmian w czasie oraz konsekwencji czwartej rewolucji przemysłowej. Liao i in. (2017) dokonali przeglądu publikacji poświęconych temu zagadnieniu na podstawie artykułów i innych opracowań dostępnych online do 2016 r. Autorzy wykazali, że słowo *data* znajduje się w analizowanych pracach wśród 25 najczęściej występujących słów związanych z branżą 4.0, obok takich słów, jak: *system(s)*, *technology(-ies)* i *manufacturing*.

Strategie ukierunkowane na zmiany w duchu czwartej rewolucji przemysłowej przygotowały m.in.:

- kraje, takie jak USA (Advanced Manufacturing Partnership), Niemcy (High-Tech Strategy 2020), Francja (La Nouvelle France Industrielle), Wielka Brytania (Future of Manufacturing), Korea Południowa (Innovation in Manufacturing 3.0), Chiny (Made in China 2025), Japonia (5th Science and Technology Basic Plan), Singapur (Research, Innovation and Enterprise 2020 Plan);
- firmy, np. AT&T, Cisco, General Electric, IBM i Intel (Industrial Internet Consortium – IIC), Siemens, Hitachi, Bosch, Panasonic, Honeywell, Mitsubishi Electric, ABB, Schneider Electric oraz Emerson Electric (IoT and CPS project);
- instytucje, takie jak Komisja Europejska (Factories of the Future – FoF).

W opracowaniach tych, z uwagi m.in. na specyfikę branż, nie występują wskaźniki, które umożliwiałyby ocenę postępów w kraju czy regionie w zakresie wdrażania rozwiązań właściwych dla Przemysłu 4.0 (Kang i in., 2016; Liao i in., 2017).

W Polsce na szczeblu rządowym nie opracowano dotychczas odrębnego dokumentu strategicznego poświęconego funkcjonowaniu przemysłu w dobie czwartej rewolucji przemysłowej. W *Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.)* (2017) Przemysł 4.0 stanowi jeden z priorytetowych elementów i jest wskazywany jako kluczowy dla poprawy konkurencyjnej pozycji gospodarki oraz wsparcia pracy ludzkiej nowoczesnymi technologiami. W ramach obszaru reindustrializacja powstał projekt strategiczny Polska Platforma Przemysłu 4.0 (*Strategia...*, 2017), a następnie powołano Fundację Platforma Przemysłu Przyszłości. Cel działania fundacji to wspieranie „procesów, produktów i modeli biznesowych, wykorzystujących najnowsze osiągnięcia z dziedziny automatyzacji, sztucznej inteligencji, technologii teleinformatycznych oraz komunikacji pomiędzy maszynami oraz człowiekiem a maszynami z uwzględnieniem odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa tych rozwiązań” (Ustawa z dnia 17 stycznia 2019 r. o Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości) oraz kształcenia zawodowego dla potrzeb zmian przemysłu.

Celem niniejszego artykułu jest zaproponowanie agregatowego wskaźnika poziomu rozwoju polskich regionów szczebla NUTS 2 w zakresie wdrażania oraz efektów rozwiązań charakteryzujących Przemysł 4.0 oraz przedstawienie rankingu regionów pod względem dostosowania przedsiębiorstw do wymogów Przemysłu 4.0.

2. Lokalne indeksy agregatowe

Dotychczas nie zaproponowano miar agregatowych dotyczących Przemysłu 4.0, które uzyskałyby aprobatę badaczy i praktyków. Przez pojęcie *indeksy lokalne* należy rozumieć wskaźniki agregatowe mające całościowo oceniać gotowość do wdrażania, wdrażanie lub efekty Przemysłu 4.0. Są one opracowywane przez organizacje konsultingowe lub autorów artykułów naukowych. Przegląd informacji w tym zakresie wskazuje na różnorodność propozycji i ich adresatów. Poniżej przedstawiono wybrane indeksy reprezentujące główne grupy konstrukcji metodologicznych.

W 2014 r. doradcy strategiczni Rolanda Bergera (Blanchet i in., 2014) przedstawili wskaźnik oceny gotowości krajów do wdrożenia Przemysłu 4.0 (Roland Berger Industry 4.0 Readiness Index). Do jego konstrukcji wykorzystano dwie grupy zmiennych:

- doskonałość przemysłu (poziom skomplikowania procesu produkcyjnego, poziom automatyzacji produkcji, gotowość pracowników do wdrażania nowych rozwiązań, intensywność innowacji);
- sieć wartości (wartość dodana tworzona przez zaawansowany przemysł, otwartość przemysłu, sieć innowacji, nowoczesny internet).

Z kolei wskaźnik gotowości do wdrażania inteligentnego przemysłu (Smart Industry Readiness Index – SIRI), przygotowany przez TÜV SÜD (2019), obejmuje trzy sfery, w ramach których uwzględniane są bardziej szczegółowe elementy:

- proces: operacje, łańcuch dostaw, cykl życia produktu;

- technologia: inteligencja kadry, łączność, automatyzacja;
- organizacja: struktura i zarządzanie, wykorzystanie talentów pracowników.

Według tej metodologii grupa Economic Development Board Singapore, w kooperacji z TÜV SÜD, wyliczyła wskaźnik gotowości do wdrożenia Przemysłu 4.0 dla Singapuru (The Singapore Smart Industry Readiness Index; Singapore Economic Development Board, 2017).

Nick i Pongrácz (2016) zaproponowali wskaźnik inteligentnej współpracy (Smart Collaboration Index), zasadniczo przeznaczony do oceny miast, który jednak może być wykorzystywany również w przypadku innych jednostek terytorialnych. Wskaźnik ten obejmuje trzy wymiary:

- działalność i możliwość wzrostu;
- ocenę następujących elementów: przemysł motoryzacyjny, ludzie, środowisko i regulacje ekonomiczne, nauka i ich współdziałanie;
- ocenę elementów wymienionych wyżej w zakresie warunków wstępnych, zarządzania, inteligentnych systemów i wyników działalności.

Grupa acatechSTUDY przedstawiła wskaźnik dojrzałości do Przemysłu 4.0 (Industrie 4.0 Maturity Index) w publikacji o znaczącym podtytule *Zarządzanie cyfrową transformacją firm* (Schuh i in., 2017). Wskaźnik obejmuje cztery obszary strukturalne: zasoby, systemy informacyjne, strukturę organizacyjną oraz kulturę działania, w ramach których określono szczegółowe zagadnienia. Służy do oceny sytuacji danej firmy, a na tej podstawie można ustalić sposób wdrażania rozwiązań Przemysłu 4.0.

Bardzo konkretną propozycję wskaźnika Przemysłu 4.0 (Industry 4.0 Index) przedstawili Atik i Ünlü (2019). Wykorzystali 10 zmiennych (wartości wszystkich zmiennych wyrażone są w procentach liczby przedsiębiorstw ogółem), charakteryzujących następujące przedsiębiorstwa:

- mające systemy ERP (Enterprise Resource Planning – system planowania zasobów przedsiębiorstwa);
- zarządzające relacjami z klientami;
- dzielące się informacjami na temat łańcucha dostaw;
- wykorzystujące urządzenia do mobilnego łączenia się z internetem;
- przyjmujące zamówienia online;
- wykorzystujące programy CRM (Consumer Relationship Management – system zarządzania relacjami z klientami);
- wykorzystujące systemy ERP do wspólnego korzystania z informacji przez różne jednostki funkcjonalne;
- mające dostęp do internetu szerokopasmowego;
- wykorzystujące internet do komunikacji z administracją państwową;
- korzystające z obliczeń w chmurze.

Autorzy wyliczyli wartość wskaźnika dla 33 krajów europejskich. Wykorzystali dane za lata 2015 i 2016 (w niektórych przypadkach również za lata 2013 i 2014) pochodzące z bazy Eurostatu oraz urzędu statystycznego Turcji.

Kleszcz i Nowak (2020) oceniały konkurencyjność krajów Unii Europejskiej ze względu na poziom cyfryzacji. Według autorek „Obecnie, w dobie czwartej rewolucji przemysłowej, wdrażanie nowoczesnych technologii to dla przedsiębiorstw podstawowa szansa na rozwój” (Kleszcz i Nowak, 2020, s. 28). W badaniu wykorzystwały cztery wskaźniki służące do oceny poziomu cyfryzacji:

- europejski wskaźnik gospodarki cyfrowej i społeczeństwa cyfrowego (Digital Economy and Society Index – DESI), obejmujący pięć obszarów: łączność (waga 25%), kapitał ludzki (25%), korzystanie z internetu (15%), integrację technologii cyfrowych (20%) i cyfrowe usługi publiczne (15%);
- filar 9 globalnego wskaźnika konkurencyjności (9th pillar of Global Competitiveness Index – GCI Pillar 9), służący do oceny gotowości technologicznej do wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0;
- wskaźnik gotowości sieciowej (Network Readiness Index – NRI), obejmujący cztery podwskaźniki: stan środowiska społeczno-gospodarczego, stan gotowości do wykorzystania ICT (ang. *information and communication technologies* – technologie informacyjno-komunikacyjne), stan wykorzystania tych technologii oraz skutki ich wykorzystania;
- wskaźnik poziomu dobrobytu w postaci rzeczywistej konsumpcji indywidualnej (Actual Individual Consumption – AIC).

Z powodu braku aktualnych danych informacje wykorzystane w tej pracy pochodziły z okresu 2014–2017.

Analizę zróżnicowania wykorzystania ICT w krajach UE przeprowadziła Wojnar (2020). Autorka przedstawiła szeroki przegląd literatury i wyników badań dotyczących tych technologii. W badaniu wykorzystwała 15 zmiennych opisujących: dostęp do internetu, dostęp do internetu szerokopasmowego, dostęp do internetu poza domem i miejscem pracy za pośrednictwem urządzeń mobilnych, dostęp do komputera w domu, regularne korzystanie z internetu, czytanie internetowych serwisów informacyjnych, wysyłanie i odbieranie poczty elektronicznej, korzystanie z serwisów społecznościowych, zakupy przez internet, korzystanie z bankowości internetowej, wyszukiwanie usług turystycznych przez internet, poszukiwanie pracy przez internet, wyszukiwanie informacji na stronach administracji publicznej, wypełnianie formularzy przez internet i umiejętności cyfrowe. Jak widać, dotyczą one społeczeństwa jako całości, a nie samego przemysłu.

Włoski ośrodek badawczy Antares (2017) zaproponował regionalny wskaźnik Przemysłu 4.0 (Regio-Industry 4.0 Index), przy czym podtytuł lakonicznej (czterostronicowej) publikacji ujawnia, że w istocie chodzi o przygotowanie regionów UE

do wdrożenia Przemysłu 4.0. Analizą objęto 61 wybranych regionów UE z poziomu NUTS 2. Autorzy podają tylko przykładowe zmienne wykorzystane w analizie, tj.: procent zatrudnionych w przemyśle zaawansowanych technologii, procent patentów z zakresu zaawansowanych technologii, przyrost produkcji w tej sferze w latach 2011–2015 oraz zatrudnienie w przemyśle. Wskaźnik globalny wykorzystuje reszty modelu regresji, w którym zmienną objaśnianą jest zatrudnienie w przemyśle zaawansowanych technologii. Ponieważ jednak nie podano szczegółów metodologicznych, trudno rzetelnie ocenić jakość uzyskanych rezultatów.

Firma Horizons ETFs (b.r.) uruchomiła w listopadzie 2018 r. Horizons Industry 4.0 Index ETF, nazwany FOUR, jako wskaźnik giełdowy. Firma, która chce się w nim znaleźć, musi spełniać szereg kryteriów. Jednym z nich jest przeciętny dzienny obrót w wysokości co najmniej 2 mln dolarów, liczony dla jednego miesiąca w okresie ostatniego półrocza. Wskaźnik obejmuje informacje z zakresu czterech kategorii: zaawansowanej robotyzacji, internetu rzeczy, wykorzystania chmury obliczeniowej i big data oraz rozszerzonej rzeczywistości i druku trójwymiarowego.

Vrchota i Pech (2019) zaproponowali wskaźnik gotowości do wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0 dla Czech (Readiness of Enterprises in Czech Republic to Implement Industry 4.0: Index of Industry 4.0). W dwóch seriach badań ankietowych, w latach 2018 i 2019, zebrali informacje łącznie od 276 przedsiębiorstw. Zmienne, które wykorzystali, obejmowały: zbieranie danych przez firmę, przechowywanie danych w chmurze, analizę danych, zatrudnienie właściwych fachowców, infrastrukturę informatyczną, systemy informatyczne, łączność pomiędzy maszynami, wykorzystanie robotów, terminale mobilne, wykorzystanie programów uczących się, dzielenie się danymi z dostawcami oraz wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości. Na podstawie tych zmiennych i po zastosowaniu analizy czynnikowej wyodrębnili trzy czynniki. Cztery z rozpatrywanych zmiennych – pojazdy autonomiczne, druk trójwymiarowy, nanotechnologia oraz stosowanie dronów – nie wniosły istotnego wkładu do żadnego z czynników. Oznacza to, że te zmienne nie są skorelowane z innymi, a zjawiska, które opisują, wywierają niezależny wpływ na gotowość do wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0.

W celu wyliczenia niemieckiego wskaźnika Przemysłu 4.0 (German Industry 4.0 Index) grupa Staufen (2019) przeprowadziła w lipcu 2019 r. badanie obejmujące 323 niemieckie firmy. Wskaźnik ten składa się z dwóch wskaźników częściowych: wskaźnika inteligentnej fabryki oraz wskaźnika inteligentnego biznesu. Obydwa są wyliczane na podstawie odpowiedzi na relatywnie ogólne pytania, a wynik dotyczy całego kraju. Pierwszy ze wskaźników częściowych jest liczony od 2014 r., co pozwala na ocenę rozwoju gospodarki w zakresie wdrażania inteligentnych elementów fabryk. W tym czasie jego wartość wzrosła z 16 do 45. Drugi wskaźnik policzono tylko dla lat 2018 (wartość 35) oraz 2019 (wartość 32).

Wydaje się, że na ogół w literaturze przedmiotu i opracowaniach komercyjnych oraz w środowiskach przemysłowych panuje zgoda co do elementów składających się na zjawisko Przemysłu 4.0. Gorzej jest z gromadzeniem informacji statystycznych dotyczących różnych aspektów Przemysłu 4.0, ujętych w pięć faz:

- stan informatyzacji społeczeństwa;
- gotowość przemysłu do wdrożenia rozwiązań Przemysłu 4.0;
- wdrażanie i stosowanie elementów Przemysłu 4.0;
- efekty obserwowane w przedsiębiorstwach;
- efekty społeczne.

Wiele omawianych wskaźników Przemysłu 4.0 zawiera określenie *gotowość* (*readiness*), a więc koncentruje się na fazie drugiej. Komercyjny charakter większości tych propozycji powoduje jednak, że opisy są bardzo ogólnikowe i trudno doszukać się zbioru konkretnych zmiennych i metodologii konstrukcji wskaźnika.

3. Metoda badania

Przegląd metod wyliczania wskaźników agregatowych oraz sporządzania rankingów, z uwzględnieniem perspektywy historycznej, różnych podejść oraz najnowszych propozycji, przedstawił Sokołowski (2019). W rozważaniach podjętych w niniejszym artykule zastosowano dwie metody – klasyczną i iteracyjną. Pierwsza, ostatnio najpopularniejsza, opisana jest m.in. w podręczniku OECD (2008). Punkt wyjścia stanowi tu ustalenie kryterium ogólnego, według którego ma być sporządzany ranking, ewentualnie również kryteriów (sfer) podrzędnych, stanowiących uszczegółowienie kryterium ogólnego. Potem wybiera się zmienne logicznie powiązane z kryterium ogólnym, których wartości są dostępne. Zazwyczaj takie zmienne diagnostyczne są albo stymulantami (im większe wartości zmiennej, tym lepsza sytuacja obiektów pod kątem kryterium ogólnego), albo destymulantami (preferowane są mniejsze wartości zmiennych). Rzadziej wykorzystuje się nominanty, czyli zmienne o znanym poziomie lub przedziale optymalnym, od którego odchylenie w dowolną stronę jest uważane za niekorzystne. W kolejnym kroku zmienne sprowadza się do form porównywalnych. Najpopularniejsze są trzy podejścia w tym zakresie: normalizacja, standaryzacja i przekształcenia ilorazowe. W niniejszej pracy wykorzystano normalizację prowadzącą do tego, że wartości przekształconej zmiennej należą do przedziału $[0, 1]$, a ponieważ wszystkie zmienne miały charakter stymulant, wzór ma postać

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min_i \{x_{ij}\}}{\max_i \{x_{ij}\} - \min_i \{x_{ij}\}}, \quad (1)$$

gdzie:

i – numer zmiennej,

j – numer obiektu (regionu),

x_{ij} – oryginalna wartość zmiennej.

Kluczowy element w sporządzaniu rankingu stanowi ustalenie wag przypisywanych poszczególnym zmiennym. Najlepszą metodą wiodącą do tego celu jest przyjęcie wag zaproponowanych przez kompetentnych ekspertów, a najgorszą – liczenie wag z danych, szczególnie przy wykorzystaniu współczynnika zmienności. Niewątpliwie najpopularniejszym podejściem jest stosowanie wag równych. W pracy przyjęto równe wagi dla wszystkich podkryteriów (było ich 10), a w ramach podkryterium wagi dzielono przez liczbę zmiennych w danym podkryterium, tak aby suma wag była równa 0,1. Wartość wskaźnika agregatowego ustalano w sposób addytywny, licząc średnią ważoną ze znormalizowanych zmiennych według wzoru

$$W_j = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^*}{\sum_{i=1}^m v_i}, \quad (2)$$

gdzie:

m – liczba zmiennych,

x_{ij}^* – znormalizowana wartość zmiennej,

v_i – waga zmiennej i ,

W_j – wskaźnik agregatowy dla regionu o numerze j .

Wartości odniesienia w procedurze normalizacji, czyli minimalna i maksymalna wartość zmiennej, mogą – przy obserwacjach odstających – powodować niepożądane ważenie cech poprzez wprowadzanie nadmiernej asymetrii (rozkładu i położenia średniej). Ten efekt można wyeliminować dzięki zastosowaniu procedury iteracyjnej (Sokołowski i Markowska, 2017). Jest to procedura krokowa, która rozpoczyna się od znalezienia najlepszego obiektu. Następnie usuwa się go z analizowanego zbioru i ustala kolejny najlepszy obiekt, któremu jest przyporządkowywana ranga 2. W każdym kolejnym kroku ustalony zostaje obiekt najlepszy spośród pozostałych w analizie. Punkty odniesienia (minima i maksima) w procedurze normalizacji mogą (choć nie muszą) się zmieniać. Wartość wskaźnika agregatowego ustalana jest malejąco od wartości obiektu najlepszego w stosunku do wskaźników sąsiednich obiektów w ich ostatnim wspólnym wystąpieniu w malejącym zbiorze procedury iteracyjnej.

Ranking opracowano na podstawie wyników eksperymentalnego badania przeprowadzonego przez GUS w listopadzie 2019 r., którego przedmiotem było dostosowanie przedsiębiorstw do wymogów gospodarczych czwartej rewolucji przemysłowej

i które dotyczyło 2019 r. W raporcie z badania (GUS, 2020) opisano wyróżniki Przemysłu 4.0, trendy inteligentnej produkcji oraz rozwojowe perspektywy badawcze. Szczegółowo i przekonująco uargumentowano dobór podmiotowy działów działalności gospodarczej w ramach sekcji C Przetwórstwo przemysłowe, spośród których wybrano przedsiębiorstwa zatrudniające co najmniej 10 osób, określone mianem *przedsiębiorstw istotnych dla Przemysłu 4.0*. Badanie objęło 5515 jednostek. Z zakresu przedmiotowego badania do agregatowego wskaźnika Przemysłu 4.0 autorzy niniejszego artykułu zdecydowali się wybrać 10 pozycji określanych mianem podkryteriów, a w ramach tych podkryteriów – łącznie 21 zmiennych (zob. zestawienie).

Zestawienie podkryteriów, zmiennych i ich wag wykorzystanych do konstrukcji agregatowego wskaźnika Przemysłu 4.0

Podkryteria	Numer i nazwa zmiennej	Waga
Wykorzystanie oprogramowania typu ERP	1 – przedsiębiorstwa, w których działania ze zbioru obejmującego pełen cykl życia wyrobu są realizowane przez ERP lub inny system informatyczny wdrożony w przedsiębiorstwie	0,100
Wykorzystanie chmury obliczeniowej	2 – przedsiębiorstwa wykorzystujące chmurę obliczeniową ogółem	0,050
	3 – przedsiębiorstwa przechowujące swoje zasoby danych cyfrowych lub korzystające z usług zewnętrznej chmury obliczeniowej kontrolowanej przez dostawców usług internetowych	0,025
	4 – przedsiębiorstwa posiadające własną bazę serwerową, za pomocą której korzystają z technologii chmury	0,025
Wykorzystanie rozwiązań z zakresu internetu rzeczy	5 – przedsiębiorstwa wykorzystujące technologie internetu rzeczy	0,100
Analizowanie dużych woluminów danych	6 – przedsiębiorstwa pozyskujące dane typu big data	0,100
Zastosowanie technologii wykorzystujących sztuczną inteligencję	7 – przedsiębiorstwa wykorzystujące sztuczną inteligencję w działalności produkcyjnej	0,100
Redukcja kosztów związana z wdrożeniem technologii Przemysłu 4.0	8 – redukcja kosztów związana z zastosowaniem chmury obliczeniowej	0,025
	9 – redukcja kosztów związana z zastosowaniem internetu rzeczy	0,025
	10 – redukcja kosztów związana z zastosowaniem big data	0,025
	11 – redukcja kosztów związana z zastosowaniem sztucznej inteligencji	0,025
Zatrudnienie nowych, wysoko wykwalifikowanych specjalistów	12 – zatrudnienie nowych, wysoko wykwalifikowanych specjalistów związane z zastosowaniem chmury obliczeniowej	0,025
	13 – zatrudnienie nowych, wysoko wykwalifikowanych specjalistów związane z zastosowaniem internetu rzeczy	0,025
	14 – zatrudnienie nowych, wysoko wykwalifikowanych specjalistów związane z zastosowaniem big data	0,025
	15 – zatrudnienie nowych, wysoko wykwalifikowanych specjalistów związane z zastosowaniem sztucznej inteligencji	0,025

Zestawienie podkryteriów, zmiennych i ich wag wykorzystanych do konstrukcji agregatowego wskaźnika Przemysłu 4.0 (dok.)

Podkryteria	Numer i nazwa zmiennej	Waga
Zastosowanie rozwiązań indywidualizacji produkcji	16 – przedsiębiorstwa posiadające stronę internetową lub aplikację, która pozwala klientowi elastycznie kształtować indywidualne cechy zamawianego wyrobu i zlecać indywidualne cechy zamawianego wyrobu i zlecać indywidualne komponowanie zamówienia	0,034
	17 – przedsiębiorstwa, w których indywidualnie komponowane zamówienia klientów są automatycznie (bez pośrednictwa człowieka) przetwarzane i zlecane na linię produkcyjną przedsiębiorcy	0,033
	18 – przedsiębiorstwa, których klient ma możliwość śledzenia online postępów realizacji indywidualnie komponowanego zamówienia	0,033
Produkcja maszyn i urządzeń dla Przemysłu 4.0	19 – przedsiębiorstwa produkujące maszyny lub urządzenia o funkcjonalnościach charakterystycznych dla Przemysłu 4.0	0,100
Nakłady inwestycyjne	20 – przedsiębiorstwa, w których poziom nakładów ogółem związanych z wdrożeniem/utrzymaniem/rozbudową technologii charakterystycznych dla Przemysłu 4.0 wzrósł w ciągu ostatnich 2 lat	0,050
	21 – przedsiębiorstwa planujące w ciągu najbliższych 2 lat inwestycję w rozbudowę i rozwój technologii charakterystycznych dla Przemysłu 4.0	0,050

Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS (2020).

Wszystkie zmienne wyrażone są jako odsetek przedsiębiorstw spełniających dane kryterium spośród przedsiębiorstw istotnych dla Przemysłu 4.0, czyli przedsiębiorstw z gałęzi: przemysł elektromaszynowy, przemysł motoryzacyjny, przemysł lotniczy i produkcja AGD.

4. Ranking polskich regionów NUTS 2

W ustalaniu rankingu pod względem wdrażania rozwiązań z zakresu Przemysłu 4.0 przez regiony szczebla NUTS 2 (obecnie wyróżnia się 17 regionów; European Commission, 2016, 2019) wykorzystano klasyczną oraz iteracyjną metodę obliczania wskaźnika agregatowego. Regiony zostały uporządkowane ze względu na dostosowanie przedsiębiorstw do wymogów czwartej rewolucji przemysłowej. Wyniki przedstawiono w tabl. 1.

Jak widać, obie klasyfikacje są niemal identyczne – tylko wojewódzwa dolnośląskie i pomorskie zamieniły się miejscami – co świadczy o pewnej stabilności rankingu, niezależnie od stosowanej metody. Wartości wskaźników agregatowych też były bardzo zbliżone – jedynie w przypadku woj. kujawsko-pomorskiego różnica wynio-

sła 5, a dla pozostałych regionów nie przekraczała 3. Ranking wraz z wartościami wskaźników agregatowych zaprezentowano na wykresie.

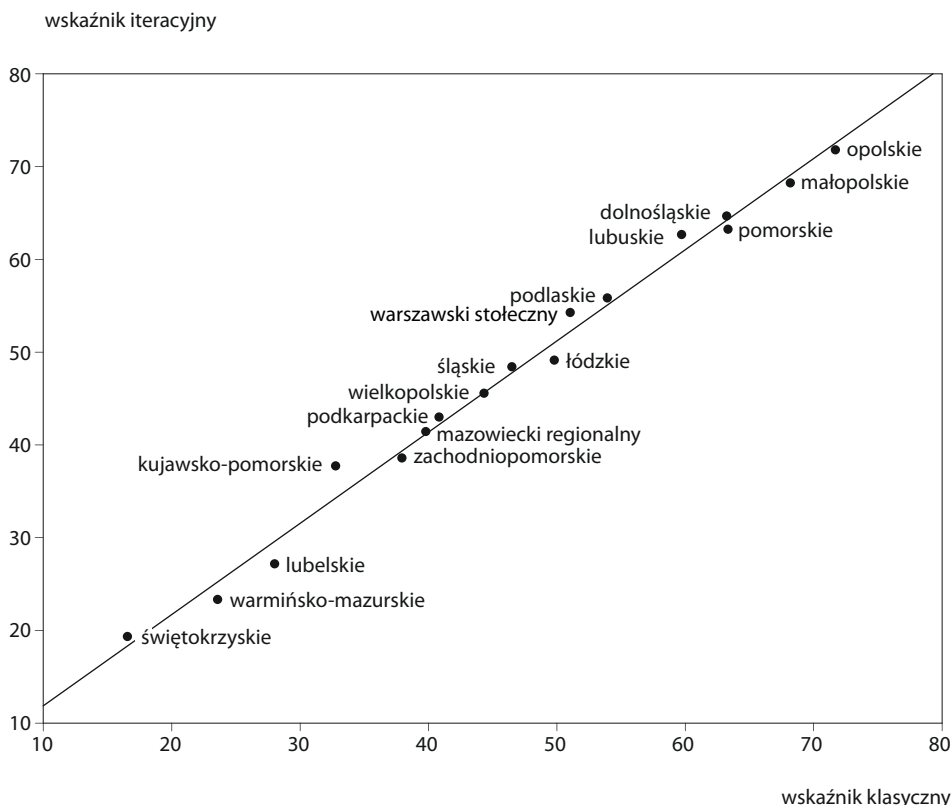
Tabl. 1. Ranking polskich regionów NUTS 2 według stopnia wdrażania rozwiązań charakterystycznych dla Przemysłu 4.0

Regiony (województwa i ich części)	Metoda			
	klasyczna		iteracyjna	
	wskaźnik agregatowy	pozycja	wskaźnik agregatowy	pozycja
Dolnośląskie	63	4	65	3
Kujawsko-pomorskie	33	14	38	14
Lubelskie	28	15	27	15
Lubuskie	60	5	63	5
Łódzkie	50	8	49	8
Małopolskie	68	2	68	2
Warszawski stołeczny	51	7	54	7
Mazowiecki regionalny	40	12	41	12
Opolskie	72	1	72	1
Podkarpackie	41	11	43	11
Podlaskie	54	6	56	6
Pomorskie	63	3	63	4
Śląskie	47	9	48	9
Świętokrzyskie	17	17	19	17
Warmińsko-mazurskie	24	16	23	16
Wielkopolskie	44	10	45	10
Zachodniopomorskie	38	13	39	13

Źródło: obliczenia własne.

Wyniki rankingu są nieco zaskakujące. Dziwić może przede wszystkim pierwsza pozycja woj. opolskiego. W porównaniu z opublikowanym w 2019 r. rankingiem innowacyjności (Regional Innovation Scoreboard – RIS; European Commission, b.r.) niekorzystnie wypadły m.in. regiony: warszawski stołeczny – pierwszy wśród polskich regionów w rankingu RIS (umiarkowany innowator+), woj. podkarpackie, które zajmuje trzecią pozycję w tym rankingu (umiarkowany innowator–), czy wielkopolskie – szóste (umiarkowany innowator). Województwo opolskie znajduje się w tym rankingu na 15. pozycji w grupie polskich regionów szczebla NUTS 2, a wraz z województwami: zachodniopomorskim, lubuskim, podlaskim i warmińsko-mazurskim stanowi niemal najsłabszą z uwagi na poziom innowacyjności grupę nazwaną skromnymi (*modest*) innowatorami.

Wykres. Rozkład polskich regionów NUTS 2 według wskaźników agregatowych



Źródło: opracowanie własne.

Aby wyjaśnić pozycję woj. opolskiego w przedstawionym rankingu, przeprowadzono analizę ekstremalnych wartości poszczególnych zmiennych wskazanych w zestawieniu. Wyniki analizy przedstawiono w tabl. 2.

Tabl. 2. Wartości maksymalne i minimalne zmiennych

Podkryteria i numery zmiennych		Maksimum – region	Minimum – region
Wykorzystanie oprogramowania typu ERP	1	72,9 – opolskie	51,7 – podlaskie
	2	38,3 – zachodniopomorskie	19,0 – podlaskie
Wykorzystanie chmury obliczeniowej	3	29,2 – pomorskie	8,0 – lubelskie
	4	30,9 – pomorskie	9,8 – świętokrzyskie
Wykorzystanie rozwiązań z zakresu internetu rzeczy	5	49,2 – lubuskie	36,9 – kujawsko-pomorskie
Analizowanie dużych woluminów danych	6	22,9 – opolskie	7,8 – świętokrzyskie

Tabl. 2. Wartości maksymalne i minimalne zmiennych (dok.)

Podkryteria i numery zmiennych		Maksimum – region	Minimum – region
Zastosowanie technologii wykorzystujących sztuczną inteligencję	7	17,2 – dolnośląskie	2,0 – świętokrzyskie
	8	22,9 – opolskie	5,6 – warmińsko-mazurskie
Redukcja kosztów związana z wdrożeniem technologii Przemysłu 4.0	9	37,5 – opolskie	9,8 – świętokrzyskie
	10	10,4 – opolskie	0,0 – warmińsko-mazurskie
	11	10,3 – małopolskie	0,0 – świętokrzyskie
Zatrudnienie nowych, wysoko wykwalifikowanych specjalistów	12	8,3 – opolskie	0,0 – lubelskie, mazowiecki regionalny, warmińsko-mazurskie, zachodniopomorskie
	13	6,3 – opolskie	0,0 – świętokrzyskie
	14	3,5 – podlaskie	0,0 – kujawsko-pomorskie, lubelskie, łódzkie, mazowiecki regionalny, pomorskie, śląskie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie
	15	2,1 – małopolskie	0,0 – dolnośląskie, łódzkie, mazowiecki regionalny, opolskie, podlaskie, pomorskie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie
Zastosowanie rozwiązań indywidualizacji produkcji	16	23,0 – mazowiecki regionalny	0,0 – lubelskie
	17	5,2 – podlaskie	0,0 – warmińsko-mazurskie, zachodniopomorskie
	18	7,0 – łódzkie	0,0 – lubelskie
Produkcja maszyn i urządzeń dla Przemysłu 4.0	19	21,7 – pomorskie	10,3 – zachodniopomorskie
Nakłady inwestycyjne	20	41,7 – opolskie	13,0 – warmińsko-mazurskie
	21	62,5 – opolskie	39,2 – świętokrzyskie

Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS (2020).

W woj. opolskim odnotowano najwyższe wartości dziewięciu zmiennych. Szczególną uwagę zwraca najwyższy odsetek przedsiębiorstw ze względu na: redukcję kosztów związaną z wdrożeniem technologii Przemysłu 4.0, takich jak zastosowanie chmury obliczeniowej, internetu rzeczy i big data, zatrudnienie nowych, wysoko wykwalifikowanych specjalistów związane z zastosowaniem chmury obliczeniowej oraz internetu rzeczy, oba wskaźniki z zakresu nakładów inwestycyjnych, wykorzystanie oprogramowania typu ERP, analizowanie dużych woluminów danych. W przypadku wskaźników: zatrudnienie nowych, wysoko wykwalifikowanych specjalistów związane z zastosowaniem big data, przedsiębiorstwa wykorzystujące chmurę obliczeniową oraz przedsiębiorstwa wykorzystujące technologie internetu rzeczy region ten plasował się w pierwszej piątce (odpowiednio na 2., 4. i 5. miejscu).

W opracowaniu Becker (2018), w którym oceniano wykorzystanie ICT w przedsiębiorstwach, region opolski zajął drugie miejsce w rankingu, tuż za mazowieckim

(w obydwu rankingach region świętokrzyski był ostatni). Pod uwagę wzięto takie kryteria, jak:

- infrastruktura ICT: zdalny (przez internet) dostęp do poczty elektronicznej, dokumentów lub aplikacji; dostęp do internetu poprzez łącze szerokopasmowe; wykorzystanie pakietów oprogramowania ERP lub CRM; zakup usług w chmurze obliczeniowej; formalnie zdefiniowana polityka bezpieczeństwa informatycznego;
- outsourcing: utrzymanie infrastruktury ICT; wsparcie w zakresie oprogramowania biurowego; wsparcie w zakresie oprogramowania/systemów zarządzania biznesowego; wsparcie w zakresie rozwiązań typu Web; zapewnienie bezpieczeństwa i ochrona danych;
- funkcje serwisów internetowych: stosowanie polityki prywatności; prezentacja produktów, towarów lub usług oraz cenników; sprawdzanie stanu realizacji online; umożliwienie zamawiania produktów według własnej specyfikacji; personalizacja zawartości strony dla częstych/stałych użytkowników; wysyłanie faktur elektronicznych; prowadzenie e-sprzedaży przez stronę internetową lub aplikacje mobilne;
- elektroniczna wymiana danych z podmiotami zewnętrznymi: wykorzystywanie mediów społecznościowych; wykorzystywanie internetu w kontaktach z administracją publiczną; otrzymywanie faktur elektronicznych; dokonywanie e-zakupów przez stronę internetową, aplikacje mobilne lub wiadomości typu EDI (Electronic Data Interchange – elektroniczna wymiana danych).

Bezpośrednie porównywanie obu rankingów jest nieuprawnione, chociażby z uwagi na prezentację przez GUS danych w obecnym układzie NUTS 2 (European Commission, 2016), w którym woj. mazowieckie podzielone jest na region warszawski stołeczny i mazowiecki regionalny, czy ze względu na przyjęty zestaw zmiennych.

5. Podsumowanie

Wyznaczenie rankingu polskich regionów szczebla NUTS 2 z punktu widzenia wdrażania i efektów rozwiązań charakterystycznych dla Przemysłu 4.0 było możliwe dzięki badaniu przeprowadzonemu przez GUS i opublikowaniu opracowania zawierającego wyniki tego badania również w ujęciu przestrzennym. Badanie GUS miało charakter pilotażowy i tak też należy traktować zaproponowany ranking. Wyniki uzyskane przy zastosowaniu metod klasycznej i iteracyjnej były bardzo zbliżone. Polem do dyskusji jest z pewnością wybór odpowiednich cech oraz wag im przyporządkowanych. W sumie uwzględniono 10 obszarów charakteryzujących Przemysł 4.0, a w ich ramach – 21 cech statystycznych.

Wyniki porządkowania regionów należy uznać za raczej niespodziewane, głównie za sprawą najwyższej pozycji woj. opolskiego. Jednak szczegółowa analiza wartości

zmiennych wykorzystanych do oceny regionów pod względem dostosowania przedsiębiorstw do wymogów czwartej rewolucji przemysłowej wykazała, że w opolskim w przypadku dziewięciu zmiennych były to wartości najwyższe, a w trzech były to udziały plasujące ten region w pierwszej piątce polskich regionów NUTS 2.

W celu dalszej oceny otrzymanego uporządkowania konieczne są analizy z perspektywy dynamicznej, związane m.in. z pozycją poszczególnych regionów. Jednak obecnie w zasobach danych GUS nie ma informacji niezbędnych do porównań dynamicznych – dostępne są jedynie wyniki badania eksperymentalnego, na których oparto obliczenia omówione w niniejszym artykule.

Źródło finansowania

Praca została wykonana w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019–2022, nr projektu: 021/RID/2018/19, kwota dofinansowania 11 897 131,40 zł.

Bibliografia

- Antares. (2017). *Regio-Industry 4.0 Index: How EU regions prepare to Industry 4.0*. Forlì.
- Atik, H., Ünlü, F. (2019). The Measurement of Industry 4.0 Performance through Industry 4.0 Index: An Empirical Investigation for Turkey and European Countries. *Procedia Computer Science*, 158, 852–860. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.123>.
- Becker, A. (2018). Wykorzystanie technologii informacyjno-telekomunikacyjnych w przedsiębiorstwach w ujęciu wojewódzkim. *Wiadomości Statystyczne*, 63(3), 69–82. <https://ws.stat.gov.pl/Article/2018/3/069-082>.
- Blanchet, M., Rinn, T., von Thaden, G., de Thieulloy, G. (2014). *Industry 4.0: The new industrial revolution. How Europe will succeed*. Monachium: Roland Berger Strategy Consultants GmbH. Pobrane z: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_tab_industry_4_0_20140403.pdf.
- Desoutter. (2020). *Rewolucja przemysłowa – od Przemysłu 1.0 do Przemysłu 4.0*. Pobrane z: <https://www.desouttertools.pl/przemysl-4-0/wiadomosci/606/rewolucja-przemyslowa-od-przemyslu-1-0-do-przemyslu-4-0>.
- European Commission. (b.r). *Regional Innovation Scoreboard*. Pobrane z: https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/innovation/regional_en.
- European Commission. (2016). Commission Regulation (EU) 2016/2066 of 21 November 2016 amending the annexes to Regulation (EC) No 1059/2003 of the European Parliament and of the Council on the establishment of a common classification of territorial units for statistics (NUTS). Pobrane z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R2066&from=EN>.
- European Commission. (2017). *Digital Transformation Monitor. Germany: Industrie 4.0*. Pobrane z: https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Industrie%204.0.pdf.

- European Commission. (2019). Commission Delegated Regulation 2019/1755 of 8 August 2019 amending the Annexes to Regulation (EC) No 1059/2003 of the European Parliament and of the Council on the establishment of a common classification of territorial units for statistics (NUTS). Pobrane z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1755&from=EN>.
- Główny Urząd Statystyczny. (2020). *Wypracowanie metodologii oraz badanie stopnia dostosowania wybranych przedsiębiorstw do wymogów gospodarczych, jakie stawia czwarta fala rewolucji przemysłowej (Przemysł 4.0)*. Warszawa. Pobrane z: <https://stat.gov.pl/statystyki-eksperymentalne/badania-i-rozwoj-innowacyjnosc-spoleczenstwo-informacyjne/wypracowanie-metodologii-oraz-badanie-stopnia-dostosowania-wybranych-przedsiębiorstw-do-wymogow-gospodarczych-jakie-stawia-czwarta-fala-rewolucji-przemyslowej-przemysl-4-0,13,1.html>.
- Horizons ETFs. (b.r.). *Horizons Industry 4.0 Index ETF*. Pobrane z: <https://www.horizonsetfs.com/ETF/FOUR>.
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Kim, B. H. (2016). Smart manufacturing: past research, present findings, and future directions. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), 111–128. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>.
- Kleszcz, A., Nowak, E. (2020). Konkurencyjność krajów Unii Europejskiej ze względu na poziom cyfryzacji. *Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician*, 65(5), 27–44. <https://ws.stat.gov.pl/Article/2020/5/027-044>.
- Liao, Y., Deschamps, F., de Freitas Rocha Loures, E., Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 – a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>.
- Nick, G., Pongrácz, F. (2016). How to measure Industry 4.0 readiness of cities. *Scientific Proceedings I International Scientific Conference "Industry 4.0" 2016*, 24(2), 64–68. Pobrane z: <http://industry-4.eu/winter/sbornik/2016/2/16.HOW%20TO%20MEASURE%20INDUSTRY%204.0%20READINESS%20OF%20CITIES.pdf>.
- OECD. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. Pobrane z: <https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M., Wahlster, W. (Eds.). (2017). *Industrie 4.0 Maturity Index: Managing the Digital Transformation of Companies*. Munich: Herbert Utz Verlag. Pobrane z: <https://en.acatech.de/publication/industrie-4-0-maturity-index-managing-the-digital-transformation-of-companies/>.
- Singapore Economic Development Board. (2017). *The Singapore Smart Industry Readiness Index*. Pobrane z: [https://www.edb.gov.sg/content/dam/edb-en/about-edb/media-releases/news/the-smart-industry-readiness-index/the-sg-smart-industry-readiness-index-whitepaper%20\(1\).pdf](https://www.edb.gov.sg/content/dam/edb-en/about-edb/media-releases/news/the-smart-industry-readiness-index/the-sg-smart-industry-readiness-index-whitepaper%20(1).pdf).
- Sokołowski, A. (2019, March 16–20). *Composite Indicators and Rankings* [invited speech]. European Conference on Data Analysis, Bayreuth, Germany.
- Sokołowski, A., Markowska, M. (2017). Iteracyjna metoda liniowego porządkowania obiektów wielocechowych. *Przegląd Statystyczny*, 64(2), 153–162. <https://ps.stat.gov.pl/Article/2017/2/153-162>.

- Staufen. (2019). *German Industry 4.0 Index 2019*. Köngen: Staufen AG. https://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAUFEN.-Study-Industry-4-0-index-2019-en_.pdf.
- Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.)*. (2017). Dokument przyjęty uchwałą Rady Ministrów w dniu 14 lutego 2017 r. Pobrane z: <https://www.gov.pl/web/fundusze-regiony/informacje-o-strategii-na-rzecz-odpowiedzialnego-rozwoju>.
- TÜV SÜD. (2019). *Smart Industry Readiness Index*. Munich: TÜV SÜD. Pobrane z: <https://www.tuvsud.com/ko-kr/-/media/global/pdf-files/brochures-and-infosheets/tuvsud-smart-industry-readiness-index.pdf>.
- Ustawa z dnia 17 stycznia 2019 r. o Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości (Dz.U. 2019 poz. 9).
- Vrchota, J., Pech, M. (2019). Readiness of Enterprises in Czech Republic to Implement Industry 4.0: Index of Industry 4.0. *Applied Sciences*, 9(24). <https://doi.org/10.3390/app9245405>.
- Wojnar, J. (2020). Zróżnicowanie wykorzystania technologii informacyjno-komunikacyjnych w krajach Unii Europejskiej. *Wiadomości Statystyczne. The Polish Statistician*, 65(8), 39–56. <https://ws.stat.gov.pl/Article/2020/8/039-056>.